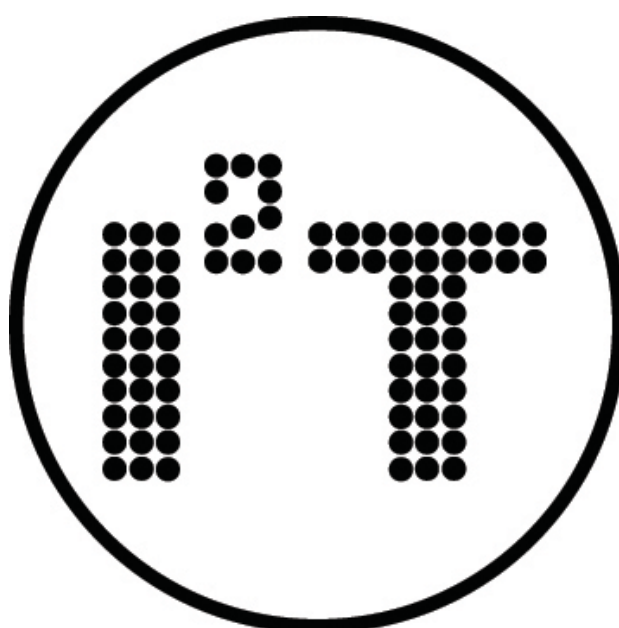


**International Scientific – Practical Conference  
«INNOVATIVE INFORMATION  
TECHNOLOGIES»**



**PART 2  
INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES IN  
SCIENCE**

**Prague – 2013  
April 22-26**

К 32.97  
УДК 681.3; 681.5  
И 64

И 64 Инновационные информационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции. Том 2. / Гл. ред. С.У. Увайсов; Отв. ред. И.А. Иванов–М.:МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013, 596 с.

I 64 Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific – practical conference. Part 2. /Ed. Uvaysov S. U., Ivanov I. A. –M.: MIEM NRU HSE, 2013, 596 p.

ISSN 2303-9728

Представлены материалы второй международной научно-практической конференции, отражающие современное состояние инновационной деятельности в образовании, науке, промышленности и социально-экономической сфере с позиций внедрения новейших информационных технологий.

Представляет интерес для широкого круга научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов и специалистов в области инноватики и современных информационных технологий.

The materials of The Second International Scientific – Practical Conference is presented below. The Conference reflects the modern state of innovation in education, science, industry and social-economic sphere, from the standpoint of introducing new information technologies.

Digest of Conference materials is presented in 4 parts. It is interesting for a wide range of researchers, teachers, graduate students and professionals in the field of innovation and information technologies.

#### **Редакционная коллегия:**

А.Е. Абрамешин, О.А. Авдеюк, В.Н. Азаров, А.В. Белов, К.И. Бушмелева, Г.А. Воробьев, Л.А. Гамза, А.П. Горбунов, Е.Г. Гридина, В.В. Губарев, А.Л.Деньщиков, А.П. Журков, И.А. Иванов, В.А. Камаев, Л.Н. Кечиев, А.Ф.Коперко, Ю.Н. Кофанов, А.Е. Краснов, В.П. Кулагин, В.А. Левин, Б.Г. Львов, В.И. Нефедов, Н.Н. Новиков, Е.Д. Пожидаев, И.В. Роберт, Ю.А. Романенко, С.Ю.Рощин, А.Н. Савкин, В.С. Саенко, А.С. Сигов, В.П. Симонов, А.П.Смоляков, А.Н. Тихонов, С.Р. Тумковский, С.У. Увайсов (гл. ред.), С.П. Халютин, Е.Н.Черемисина, Н.К.Юрков.

ISSN 2303-9728

ББК 32.97

© Оргкомитет конференции  
© МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013

## **СБОРНИК СОДЕРЖИТ**

- сведения об организаторах
- материалы конференции

## **МЕРОПРИЯТИЯ КОНФЕРЕНЦИИ**

### **Секция 1**

#### **ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ**

**«INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION»**

### **Секция 2**

#### **ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ**

**«INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES IN SCIENCE»**

### **Секция 3**

#### **ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**«INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES IN INDUSTRY»**

### **Секция 4**

#### **ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ И СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ**

**«INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGY IN ECONOMY AND SOCIAL  
SPHERE»**

### **Секция 5**

#### **ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОХРАНЕ ТРУДА**

**«INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES IN OCCUPATIONAL SAFETY»**

#### **МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФЕСТИВАЛЬ «ЭЛЕКТРОННОЕ БУДУЩЕЕ – 2013»**

**«INTERNATIONAL FESTIVAL «DIGITAL FUTURE - 2013»**

#### **КРУГЛЫЕ СТОЛЫ, СЕМИНАРЫ, МАСТЕР-КЛАССЫ**

**ROUND TABLES, WORKSHOPS, MASTER CLASSES**

## **АДРЕС ОРГКОМИТЕТА**

**109028, г. Москва, Б. Трехсвятительский пер., д.3, МИЭМ НИУ ВШЭ,  
каф. РЭТ,**

**Тел.: +7 (495)-9168813**

**+7 (903)-2030503**

**+7 (926)-3830740**

**Е-mail: [i2t@diag.ru](mailto:i2t@diag.ru)**

**ВНИМАНИЕ! Информация о конференции отображается на сайте  
WWW.DIAG.RU**



**Секция 2**

**ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ**

**ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕЖБЛОЧНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Авдеюк О.А., Муха Ю.П., Крохалев А.В., Шведов Е.Г.  
*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Предложен подход к методам определения погрешности системного интерфейса сложных информационно-измерительных систем.

**The problem of definition of errors interblock connections during the design of complex information-measuring systems. Avdeuk O.A., Mukha Y.P., Krokhaliev A.V.**

In this report we discussed the approach to methods of determining the accuracy of the system interface of complex information-measuring systems is offered.

Одним из важнейших этапов проектирования сложных информационно-измерительных систем (СИИС) является определение полной погрешности системы. Традиционно полную погрешность находят суммированием погрешностей отдельных узлов (функциональных блоков) системы [12], не учитывая составляющей погрешности, возникающей при преобразовании информации в интерфейсных узлах. Известно, что СИИС имеют большое количество каналов, по которым передается информация об измеренных величинах. При передаче измерительной информации через интерфейсные блоки возможны, например, временные задержки и ошибки при передаче информации вследствие воздействия помех на сигналы. Поэтому, при расчете полной погрешности СИИС необходимо учитывать погрешность, вносимую функциональными блоками (ФБ) (измерительными)  $\Delta\text{ФБ}$  и погрешность операций, выполняемых интерфейсными блоками  $\Delta\text{ИБ}$ , осуществляющими взаимодействие функциональных блоков:

$$\Delta\text{СИИС} = \Delta\text{ФБ} + \Delta\text{ИБ} . \quad (1)$$

В настоящее время довольно детально проработан вопрос метрологического анализа средств и алгоритмов измерений [2,12]. Изучение литературы по измерительным интерфейсам [10,11] позволило сделать вывод, что вопросы метрологии в этой области практически не затрагивались, что и привело к необходимости в рассмотрении вопроса оценки метрологических характеристик межблочных системных интерфейсов. Под межблочным системным интерфейсом (системным измерительным интерфейсом) будем понимать совокупность методов и средств, предназначенных для организации внутрисистемного обмена в СИИС[8].

Известно, что системный измерительный интерфейс представляет собой сложную программно- аппаратную систему[1,3]. Тогда для метрологического анализа целесообразно разбить системный измерительный интерфейс на отдельные подсистемы, реализующие каналы связи между измерительными блоками.

Минимальной процедурой межблочного системного интерфейса является установление связи двух функциональных блоков, один из которых в дискретный момент времени является приемником, а другой – источником информации. Под

погрешностью межблочной связи ( $\Delta_{МС}$ ) необходимо понимать разность между значением передаваемой величины на входе ФБ- приемника ( $X_{пр}$ ) и выходе ФБ-передатчика ( $X_{прд}$ ), т.е.

$$\Delta_{МС} = X_{пр} - X_{прд} . \quad (2)$$

Источниками погрешностей на этапе установления межблочных связей являются наличие несогласования ФБ между собой (например, по форме представления информации на входах и выходах блоков, по роду физических величин и т. д.). Процесс согласования блоков в системе имеет довольно сложный характер, и чем эффективней он будет реализован, тем меньше будет значение  $\Delta_{МС}$ .

Большое количество программных и аппаратных ресурсов, а также возможность программной реконфигурации, делает системный измерительный интерфейс виртуальным, т. е. существующим лишь во время выполнения передачи информации в данном канале. В связи с этим, для системного измерительного интерфейса применим лишь поканальный метод определения метрологических характеристик, при котором канал передачи информации рассматривается как независимое средство. При передаче по каналу информация претерпевает ряд преобразований (например, аналоговый сигнал трансформируется в помехоустойчивый код), не трудно предположить, что погрешность преобразований при этом имеет иерархический характер, т.е. она тоже преобразуется (накапливается) от слоя к слою. Таким образом, определить процесс накопления погрешностей и вид коррекции возможно лишь структурными методами [3,4,5,6,7,8].

### Литература

1. Авдеюк, О.А. Общие подходы к проектированию специализированных высокоэффективных интерфейсов для многофункциональных медицинских систем/ О.А. Авдеюк, Р.А. Холопкин // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002.–№ 4,С.39-43.
2. Алиев, Т.М. Измерительная техника: учеб. пособие для техн. вузов/Т.М. Алиев, А.А. Тер-Хачатуров. – М. Высш.шк.,1991, 384 с.
3. Авдеюк, О.А. Общие подходы к метрологическому анализу межблочного системного интерфейса при проектировании сложных информационно-измерительных систем/ О.А. Авдеюк // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах», выпуск 10, № 3, 2011 – С.34-37.
4. Авдеюк, О.А. Структурно-аналитический подход к проектированию системного интерфейса сложных медицинских комплексов на базе нейронных сетей/ О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника (ISSN 1560-4136),№ 4, 2004 г. – С.42-50.
5. Авдеюк, О.А. Теория и практика синтеза системного интерфейса сложных систем/ О.А. Авдеюк, Ю.П. Муха, В.М. Антонович - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника (ISSN 1560-4136),№ 3, 2005 г. – С.39-48.
6. Авдеюк, О.А. Преимущества использования структурно-аналитического подхода при проектировании сложных неросетевых медицинских систем/ О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева// Тезисы международной НП конференции «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий», 5-12 октября 2012 г.. Г. Сочи, С.503-504.
7. Авдеюк, О.А. Структурный метод проектирования аппаратного состава (системного интерфейса) сложной информационно-измерительной системы с

заданными метрологическими характеристиками: Автореферат диссертации канд. техн. наук.– Волгоград,2002.– 16 с.

8. Муха, Ю.П. Теория и практика синтеза управляющего и информационного обеспечения измерительно-вычислительных систем: Монография/ Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, В.М. Антонович.– Волгоград, РПК «Политехник»,2004, 220 с.

9. Муха, Ю.П. Алгебраическая теория синтеза сложных систем: Монография/ Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, И. Ю. Королева.– Волгоград, РПК «Политехник»,2003, 320 с.

10. Науман, Г. Стандартные интерфейсы для измерительной техники: Пер. с нем./ Г. Науман, В. Майлинг, А. Щербина – М. Мир, 1982, 304 с.

11. Хазанов, Б.И. Интерфейсы измерительных систем.– М.Энергия,1979,120с.

12. Цветков, Э.И. Основы математической метрологии: Часть 1,2,3.СПб, 2001, 105с.

## **ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ КАТЕГОРИЙ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ МЕЖБЛОЧНОГО ИНТЕРФЕЙСА СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Муха Ю.П., Авдеюк О.А., Крохалев А.В., Шведов Е.Г.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрены преимущества применения категорного подхода к методам определения погрешности системного межблочного интерфейса сложных информационно-измерительных систем.

**Advantages of using for the theory of categories metrological analysis of interblock interface of complex information-measuring systems. Avdeuk O.A., Mukha Y.P., Krokhaliev A.V.**

In this report we discussed the advantages of using the categorical approach to the method of calculating the error system interblock interface of complex information-measuring systems.

Известно, что сложные информационно-измерительные системы (СИИС) имеют большое количество каналов, по которым передается информация об измеренных величинах. При передаче измерительной информации через интерфейсные блоки возможны, например, временные задержки и ошибки при передаче информации вследствие воздействия помех на сигналы. Поэтому, при расчете полной погрешности СИИС необходимо учитывать как погрешность, вносимую функциональными блоками (измерительными), так и погрешность операций, выполняемых интерфейсными блоками осуществляющими взаимодействие функциональных блоков [1,3,4,5,6]. При передаче по каналу информация претерпевает ряд преобразований (например, аналоговый сигнал трансформируется в помехоустойчивый код), не трудно предположить, что погрешность преобразований при этом имеет иерархический характер, т.е. она тоже преобразуется (накапливается) от слоя к слою. Определить процесс накопления погрешностей и вид коррекции возможно лишь структурными методами [7,8,9].

Рассмотрим следующий пример. Пусть при передаче по каналу необходимо выполнить последовательно три вида преобразования информации, причем, следует

учесть, что этот процесс сопровождается накоплением погрешностей. Данное условие задачи легко интерпретировать с помощью следующей категорной диаграммы:

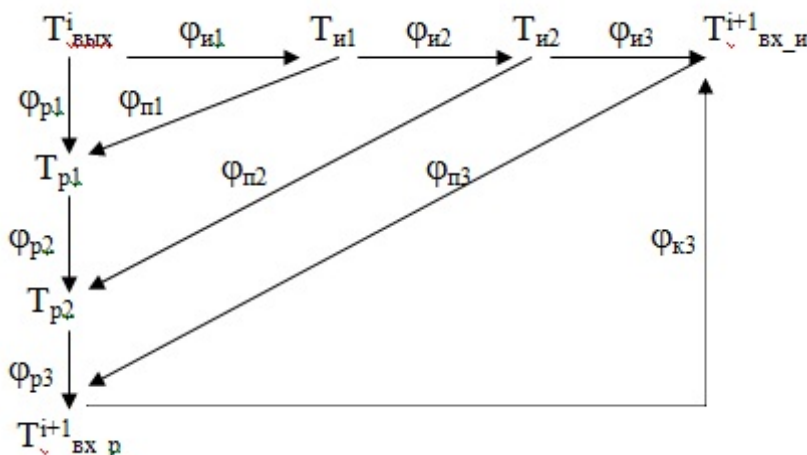


Рис.1. Категорная диаграмма преобразования информации в межблочном системном интерфейсе между  $i$ -м функциональным блоком и  $i+1$ -м функциональным блоком СИИС

На рис.1  $T_{и1}$ ,  $T_{и2}$ ,  $T_{вх_и}^{i+1}$  - объекты, соответствующие истинным значениям величины при идеальных преобразованиях, которым соответствуют морфизмы  $\Phi_{и1}, \Phi_{и2}, \Phi_{и3}$ ;  $T_{р1}$ ,  $T_{р2}$ ,  $T_{вх_р}^{i+1}$  - объекты, соответствующие реальным значениям величины в результате преобразований, которым соответствуют морфизмы  $\Phi_{р1}, \Phi_{р2}, \Phi_{р3}$ , на которые накладываются погрешности, отображенные на диаграмме морфизмами  $\Phi_{п1}, \Phi_{п2}, \Phi_{п3}$ .

Учитывая, что категорная диаграмма является коммутативной, справедливы следующие равенства:

$$\Phi_{р1} = \Phi_{п1}\Phi_{и1}, \quad (1)$$

$$\Phi_{р2}\Phi_{р1} = \Phi_{п2}\Phi_{и2}\Phi_{и1}, \quad (2)$$

$$\Phi_{р3}\Phi_{р2}\Phi_{р1} = \Phi_{п3}\Phi_{и3}\Phi_{и2}\Phi_{и1}. \quad (3)$$

Выражение (1) соответствует преобразованию информации на первом слое иерархии, (2) – на втором слое, (3) – на третьем слое. Причем, не трудно заметить, что погрешность низшего уровня иерархии входит в качестве составляющей в выражение более высокого уровня иерархии.

Действительно, поскольку

$$\Phi_{р2}\Phi_{п1} = \Phi_{п2}\Phi_{и2} \quad (4)$$

$$\Phi_{р3}\Phi_{п2} = \Phi_{п3}\Phi_{и3}, \quad (5)$$

то подставляя (4) в (2), получаем, что

$$\Phi_{р2}\Phi_{р1} = \Phi_{р2}\Phi_{п1}\Phi_{и1}, \quad (6)$$

а подставляя (5) в (3), получаем, что

$$\Phi_{р3}\Phi_{р2}\Phi_{р1} = \Phi_{р3}\Phi_{п2}\Phi_{и2}\Phi_{и1}. \quad (7)$$

Приведенные соображения относительно иерархичности погрешности позволяют в дальнейшем при формировании функции погрешности управлять размерностью и числом независимых переменных, что очень важно для многоступенчатого (многомерного) процесса преобразования информации.

Рассмотрение такой структуры отображений позволяет сделать вывод о том, что определение формы накопления погрешностей можно компенсировать только структурными методами. Действительно, если коррекция отображений возможна (это эквивалентно появлению блоков коррекции на программном или аппаратном уровне),



то коррекция объектов отображений невозможна принципиально. Компенсация этих процессов возможна лишь организацией алгоритмов переключений, других видов обработки, что равносильно включение дополнительной структуры. В нашем случае, введя на верхнем слое иерархии корректирующее преобразование, которому на категорной диаграмме соответствует морфизм  $\varphi_{кз}$ , мы получаем следующее выражение:

$$\varphi_{и3}\varphi_{и2}\varphi_{и1} = \varphi_{кз}\varphi_{р3}\varphi_{р2}\varphi_{р1}. \quad (8)$$

Таким образом, под погрешностями межблочных связей можно понимать результат функционирования особого вида структур в пространстве отображений. Появление погрешностей должно сказываться на смене морфизмов измерительной категорной диаграммы на одном из этапов, или в какой-то комбинации смены морфизмов, или всех вместе. Изменение структуры морфизма может рассматриваться как возникновение новой интерфейсной структуры (новой категорной диаграммы интерфейса), пересекающейся с исходной. Пересечение наступает по тому, что структура, возникающая при появлении погрешностей, может рассматриваться как процесс пересечения объектов –множеств категорий с учетом погрешностей и в идеальном случае. По мощности пересечения можно судить о степени изменения. Уменьшение мощности свидетельствует об ограничении возможности интерфейсной системы, снижая ее пригодность.

Категорный подход позволяет на начальном этапе абстрагироваться от вида аппаратной реализации процедур согласования ФБ. Введение в рассмотрение аддитивной и мультипликативной составляющей погрешности в дальнейшем позволяет выбирать вариант аппаратной реализации. Как указывается в [10], «анализ погрешностей производится с использованием априорных знаний (АЗ) об объекте, условиях, процедуре и средствах измерений». В свою очередь, состав АЗ определяется АЗ об объекте измерений, АЗ о составе и свойствах измерительных модулей (или интерфейсных), условиях измерения, видом оцениваемых характеристик.

Именно категорное представление межблочного интерфейса позволяет получить АЗ о составе и свойствах интерфейсных модулей, поскольку предоставляет полный портрет преобразований информации.

В заключении необходимо отметить, что в данном случае можем говорить лишь о потенциальной точности, под которой понимается предельно достижимая при установленных условиях точность интерфейсных преобразований. Потенциальная точность определяет принципиальную возможность удовлетворения предъявленных к достоверности идентификации требований. На последующих этапах целесообразно использовать методы оценивания метрологических характеристик, приведенные в [2,10].

### Литература

1. Авдеюк, О.А. Общие подходы к проектированию специализированных высокоэффективных интерфейсов для многофункциональных медицинских систем/ О.А. Авдеюк, Р.А. Холопкин // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002.–№ 4,С.39-43.
2. Алиев, Т.М. Измерительная техника: учеб. пособие для техн. вузов/Т.М. Алиев, А.А. Тер-Хачатуров. – М. Высш.шк.,1991, 384 с.
3. Авдеюк, О.А. Общие подходы к метрологическому анализу межблочного системного интерфейса при проектировании сложных информационно-измерительных систем/ О.А. Авдеюк // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах», выпуск 10, № 3, 2011 – С.34-37.

4. Авдеюк, О.А. Структурно-аналитический подход к проектированию системного интерфейса сложных медицинских комплексов на базе нейронных сетей/ О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника (ISSN 1560-4136), № 4, 2004 г. – С.42-50.
5. Авдеюк, О.А. Теория и практика синтеза системного интерфейса сложных систем/ О.А. Авдеюк, Ю.П. Муха, В.М. Антонович - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника (ISSN 1560-4136), № 3, 2005 г. – С.39-48.
6. Авдеюк, О.А. Структурный подход к проектированию специализированных высокоэффективных интерфейсов для мно-гофункциональных медицинских комплексов/ О.А. Авдеюк, Р.А. Холопкин // Зарубежная радио-электроника. Успехи современной радио-электроники (ISSN 0373-2428), № 8, 2002 г.
7. Авдеюк, О.А. Структурный метод проектирования аппаратного состава (системного интерфейса) сложной информационно-измерительной системы с заданными метрологическими характеристиками: Автореферат диссертации канд. техн. наук.– Волгоград, 2002.– 16 с.
8. Муха, Ю.П. Теория и практика синтеза управляющего и информационного обеспечения измерительно-вычислительных систем: Монография/ Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, В.М. Антонович.– Волгоград, РПК «Политехник», 2004, 220 с.
9. Муха, Ю.П. Алгебраическая теория синтеза сложных систем: Монография/ Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, И. Ю. Королева.– Волгоград, РПК «Политехник», 2003, 320 с.
10. Цветков, Э.И. Основы математической метрологии: Часть 1,2,3. СПб, 2001, 105с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА КВАТЕРНИОНОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Петров С. А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрено применение математического аппарата кватернионов для описания законов геометрической оптики и поворотов оптического пучка с целью формализации расчета технических систем лазерной разметки.

### **The application of the quaternion mathematical apparatus for the optical transformation in engineering systems modeling. Petrov S.A.**

The application of the quaternion mathematical apparatus for the geometrical optics laws and optical beam rotations formulation which is aimed to make the design of a technical laser marking systems formalized has been considered.

Для разметки базовых координат при сборке крупногабаритных корпусных изделий применяют лазерные системы. Они содержат призмы, осуществляющие поворот оптического луча. Для снижения линейных погрешностей разметки необходимо моделировать заданные оптические схемы с учетом габаритов и погрешностей призм.

Существующие методы моделирования геометрических преобразований, использующие методы тригонометрии, аналитической геометрии и векторного исчисления приводят к необходимости проверки знака перед радикалом формулы определения расстояния между точками на координатной плоскости. Это увеличивает сложность описания компьютерных алгоритмов и снижает быстрдействие их

выполнения. Для решения этой проблемы в задачах для двух координат успешно применяется аппарат теории функций комплексного переменного. Поэтому для создания общих трехмерных моделей автор предлагает использовать гиперкомплексные числа, кватернионы, позволяющие геометрические операции над векторами заменить алгебраическими [1].

Зададим радиус-вектор  $\vec{n}$  (рис. 1а) принадлежащим четырехмерному пространству, тогда векторная часть преобразования поворота может быть получена прямым геометрическим построением. Так, при вращении твердого тела вокруг неподвижной оси точки тела описывают окружности, лежащие в плоскости, перпендикулярной оси вращения, а радиус-вектор  $\vec{n}$  любой точки с началом на оси вращения описывает коническую поверхность и преобразуется в вектор  $\vec{n}_\varphi$ . Поворот вокруг оси, совпадающей по направлению с единичным вектором  $\vec{k}$  на угол  $\varphi$  определяется скаляром  $\lambda_0 = \cos(\varphi/2)$  и вектором  $\vec{P} = \vec{k} \cdot \sin(\varphi/2)$ . При разложении  $\vec{n}_\varphi$  по взаимно ортогональным направлениям  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  имеем:

$$\vec{n}_\varphi = \vec{n} \cos(\varphi) + \vec{k} (\vec{k}, \vec{n}) (1 - \cos(\varphi)) + [\vec{k}, \vec{n}] \sin(\varphi). \quad (1)$$

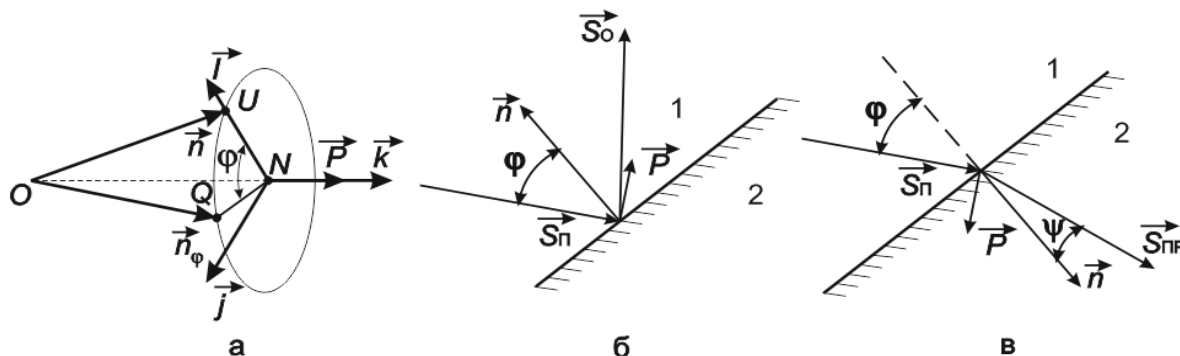


Рис. 1. Описание поворота вектора: а – при позиционировании призмы; б – при отражении; в – при преломлении лазерного луча

Для алгебраического описания отражения и преломления лучей (рис 1б, в) в ортонормированном базисе зададим единичный вектор нормали к поверхности отражения  $\vec{n} = x_n \cdot \vec{i} + y_n \cdot \vec{j} + z_n \cdot \vec{k}$  и вектор, описывающий падающий луч  $\vec{S}_\Pi = x_{S_\Pi} \cdot \vec{i} + y_{S_\Pi} \cdot \vec{j} + z_{S_\Pi} \cdot \vec{k}$ . Единичный вектор отраженного луча  $\vec{S}_O$  находим посредством единичного кватерниона  $q$  поворотом  $\vec{n}$  вокруг единичного вектора  $\vec{P}$  на угол падения  $\varphi$ :

$$\vec{S}_O = q \cdot \vec{n} = (\cos \varphi + \vec{P} \cdot \sin \varphi) \cdot \vec{n} = \cos \varphi \cdot \vec{n} + [\vec{P}, \vec{n}] \cdot \sin \varphi, \quad (2)$$

$$\text{где } \vec{P} = \frac{[-\vec{S}_\Pi, \vec{n}]}{|[-\vec{S}_\Pi, \vec{n}]|} \text{ и } \varphi = \arccos\left(\frac{(-\vec{S}_\Pi, \vec{n})}{(|-\vec{S}_\Pi| \cdot |\vec{n}|)}\right).$$

Единичный вектор преломленного луча  $\vec{S}_{IP}$  находим аналогично:

$$\vec{S}_{IP} = q \cdot \vec{n} = (\cos \psi + \vec{P} \cdot \sin \psi) \cdot \vec{n} = \cos \psi \cdot \vec{n} + [\vec{P}, \vec{n}] \cdot \sin \psi, \quad (3)$$

где  $\psi = \arcsin(\sin \varphi / N_{12})$  – угол преломления,  $N_{12}$  – относительный показатель преломления,  $\varphi = \arccos\left(\frac{(\vec{S}_{\Pi}, \vec{n})}{(|\vec{S}_{\Pi}| \cdot |\vec{n}|)}\right)$ .

### Литература

1. Петров С.А. Моделирование оптической разметки крупногабаритных корпусных изделий / С.А. Петров // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып.11 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – №9. – С. 33-37.

## СОЗДАНИЕ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ HVAC ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Ульянов Д.Г.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

В статье рассмотрена типовая система управления модульного типа. Описана иерархия такой системы и основы построения каждого уровня. Предложен пример HVAC системы построенной по описанной методике.

### **Creation of modular type HVAC control system for production storage with the use of external environment. Ulyanov D.G.**

The article describes the main aspects of building module type control systems. Also describes the hierarchy of the system and basis of the construction of each level. On example explained how to build HVAC system as described.

В 2012 году Россия заняла 67 место в мировом рейтинге конкурентоспособности, что, прежде всего, связано с низкой производительностью труда. Для изменения ситуации к лучшему малому и среднему бизнесу необходима автоматизация рутинных производственных процессов. Этого можно добиться распространением недорогих модульных систем управления на предприятиях.

Внедряемые системы в малом и среднем бизнесе, как правило, не отвечают стандартам открытости и изготавливаются в единичном экземпляре. В случае если система соответствует стандарту МЭК 61499, то её внедрение экономически не целесообразно в малом и среднем бизнесе. А также она по-прежнему изготавливается в единичном экземпляре.

К основным недостаткам существующих систем можно отнести:

- отсутствие открытости в недорогих системах;
- высокая стоимость открытых систем;
- сложность разработки и внедрения;
- отсутствие возможности проектирования системы заказчиком.

Современная система управления для среднего бизнеса должна удовлетворять следующим требованиям: открытость, невысокая стоимость, возможностью автоматического определения устройств, возможность изменений части функционала при помощи команд. Для достижения поставленной цели необходимо разработать систему, которую можно собрать при помощи типовых модулей, работающих по единому протоколу, но объединяющих в себе различные стандартные интерфейсы.

Типовая система состоит из следующих уровней иерархии: оператор, программный модуль, OPC сервер, МК адаптер и устройства исполнения или датчики. Каждый следующий уровень иерархии добавляет дополнительные возможности системе и позволяет строить более сложные и гибкие решения.

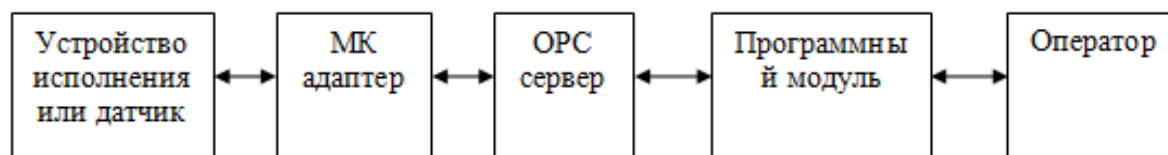


Рис. 1. Иерархия системы управления

На уровне устройств исполнения или датчиков создаются простейшие системы управления. Это могут быть элементы АСУ построенные из заводских устройств в которых заложены типовые функции и используется единый типовой интерфейс. Эти системы спроектированы производителем и не могут быть доработаны на этом уровне, что делает систему не гибкой и, как правило, не позволяет добиться требуемого от нее функционала.

На уровне МК адаптера решаются две принципиальные задачи. Система получает возможность объединения различных устройств, за счет большого количества различных интерфейсов в современных микроконтроллерах. OPC сервер, для обмена данными с подсетями, использует такие протоколы как, например, modbus и profibus. Поэтому на этом уровне микроконтроллер конвертирует передаваемые данные в подходящий для OPC сервера вид.

На уровне OPC сервера происходит глобальное взаимодействие между различными устройствами распределенной сети. Как правило, сервер передает данные, полученные из сетей датчиков, на хранение в СУБД, а также предоставляет к ним доступ, как программному модулю, так и другим датчикам.

Уровень программного модуля является верхним уровнем, который позволяет без участия оператора отдавать команды в сеть. На этом уровне реализована возможность настройки параметров системы оператором, а также выполнения принудительных команд отданных оператором.

На уровне оператора происходит человеческий контроль отсутствия критических ошибок из-за недоработок алгоритма. В сложных системах вмешательство оператора происходит в исключительных случаях. Как правило, оператор вводит в систему необходимые параметры выполнения.

При хранении овощной продукции в вентилируемых складских помещениях с хорошей термоизоляцией, в осенний зимний период года, можно использовать HVAC системы без дорогостоящего искусственного охлаждения. Это позволяет получить удовлетворительные условия хранения при правильном смешивании внутренней воздушной среды хранилища с внешней средой.

В качестве примера недорогой модульной системы можно привести систему контроля влажности и температуры в хранилище при помощи внешней среды с последующей передачей данных в программный модуль. Для реализации необходим следующий набор элементов:

1. сеть датчиков температуры на 1-Wire интерфейсе;
2. датчики влажности на аналоговом интерфейсе;
3. конвертор интерфейса АЦП к 1-Wire;
4. устройство исполнения в виде сервопривода заглушки вентиляции;
5. конвертор интерфейса сервопривода к 1-Wire;

6. МК адаптер для сбора и передачи данных;
7. программный модуль со встроенным OPC сервером и СУБД.

Модульная система управления HVAC удовлетворяет требованиям открытости и имеет невысокую стоимость разработки за счет большого тиража выпуска спроектированных модулей, простоты составных модулей, стандартной связки МК адаптера и программного модуля. Такая система позволяет реализовать такие функции как автоматическое определение устройств и изменение части функций при помощи передачи команд от программного модуля на МК адаптер.

### Литература

1. Беркут А.И. Системы автоматического контроля технологических параметров / А.И. Беркут, А.А. Рульнов – М.: Издательство ассоциации строительных вузов, 2005. – 144 с.
2. Краснова А.Е. Цифровые системы управления в пищевой промышленности / А.Е. Краснова, Л.А. Злобин, Д.Л. Злобин – М.: Издательство Высшая школа, 2007. – 415 с.
3. Медведев М.Ю. Программирование промышленных микроконтроллеров / М.Ю. Медведев, В.Х. Пшихопов – СПб.: Лань, 2011. – 288 с.
4. Глобальный рейтинг экономической конкурентоспособности 2012 [электронный ресурс]// сайт РосБизнесКонсалтинг (РБК). – 2012. – Режим доступа: [http://rating.rbc.ru/articles/2012/09/06/33759307\\_tbl.shtml?2012/09/06/33759301](http://rating.rbc.ru/articles/2012/09/06/33759307_tbl.shtml?2012/09/06/33759301)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЯ

Савкин А.Н., Горобцов А.С., Андроник А.В., Седов А.А., Сиромахин А.В.  
*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Представлена методика оценки долговечности технического объекта на основании его динамической модели во ФРУНДе и с получением спектров нагружения. Спектры нагружения исследуемого объекта были экспортированы из ФРУНДа в SolidWorks и Mathcad для последующего расчета.

### **Study design life of elements based on a dynamic model of the car. Savkin A.N., Gorobtsov A.S., Andronic A.V., Sedov A.A., Siromahin A.V.**

A method of estimation of life technical object based on its dynamic model of Frunda and obtaining spectrum loading. Corresponding spectra of the loading of the studied object was exported from Frunda in SolidWorks and Mathcad for further calculation.

Многие конструктивные элементы в транспортном средстве испытывают переменные нагрузки, связанные с динамическим воздействием дорожного полотна на движущийся объект. Это воздействие зависит от самой конструкции автомобиля, кинематики и структуры, входящих в нее конструктивных элементов, скорости движения, состояния дорожного полотна. Чтобы оценить спектр нагружения, воздействующий на тот или другой конструктивный элемент, необходимо построить динамическую модель изучаемого объекта.

В данной работе для определения спектров нагружения конструктивных элементов использовалась математическая модель автомобиля-внедорожника (рис. 1), созданная в среде программного комплекса инвариантного моделирования динамики

систем тел ФРУНД [1, 2]. В расчетную схему модели включены основные агрегаты и узлы, присущие автомобилю данной компоновки. Возмущение от дороги воспринимается через шины, передающими 3 силы и 1 стабилизирующий момент (относительно вертикальной оси колеса).

Параметры типичных случайных микропрофилей дорог и методика оценки показателей плавности хода представлены по ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. и ОСТ 37.001.291-84 [3, 4]. Использовались микропрофили динамометрической дороги, ровного булыжника и булыжника с выбоинами автополигона НАМИ.

Изучение динамических свойств виртуальной модели создаваемого технического объекта позволяет еще на этапе проектирования оценить реакцию модели и ее компонентов на внешнее воздействие. Так, задаваясь случайными характеристиками дорожного полотна, как внешнего воздействия на транспортное средство, можно оценить случайное нагружение конструктивных элементов, установить их ориентировочную долговечность и накопление повреждаемости во время жизненного цикла изделия. В качестве объекта исследования был выбран верхний рычаг передней подвески автомобиля–внедорожника.

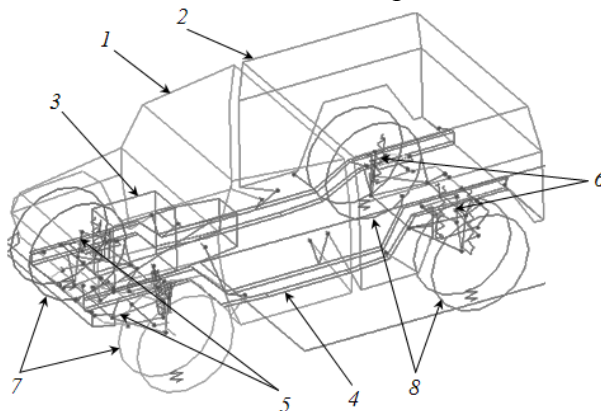


Рис. 1. Расчетная схема автомобиля, полученная в комплексе ФРУНД с указанием основных систем тел: 1 – кабина, 2 – кузов, 3 – двигатель с коробкой передач, 4 – рама, 5 – элементы передней подвески, 6 – элементы задней подвески, 7 – колеса передней оси, 8 – колеса задней оси

В данной работе исследование ограничилось стационарными случайными нагружениями. При расчете стационарных случаев нагружения использовался спектральный анализ. Дорожное воздействие в таком случае задается в виде матрицы взаимных спектральных плотностей. При этом принимаются следующие допущения: 1) колеса имеют двустороннюю связь с дорогой, т.е. не отрываются от опорной поверхности при колебательных процессах; 2) контакт колеса с дорогой точечный. После описания дорожного полотна при наличии математической модели автомобиля, в программном комплексе ФРУНД было выполнено моделирование стационарных случаев нагружения для указанных выше типов дорог. Соответствующие спектры нагружения исследуемого рычага были экспортированы из ФРУНДа в SolidWorks и Mathcad.

На рис.2 показаны случайные реализации внешнего воздействия в точке крепления передней подвески автомобиля при движении по дорожному полотну: а – булыжник с выбоинами; б – булыжное полотно; в – шоссе. Скорость движения составляет 45 км/ч. Реализация получена при изучении частотного спектра в точке крепления передней подвески с помощью программы ФРУНД [1]. Шаг опроса составил 0,01 сек. Наибольшее воздействие оказано дорожным полотном,

представленным булыжниковым покрытием с выбоинами. Максимальная нагрузка за исследуемый промежуток времени составила – 17,8 кН.

При оценке долговечности конструкции необходимо случайную выборку внешнего нагружения схематизировать с выделением в выборке циклов нагружения, которые могут вносить необратимые усталостные повреждения в структуру металла. В последнее время при прогнозировании ресурса чаще используют метод “падающего дождя” - rainflow, предоставляющий лучшее соответствие по долговечности для случайной выборки и его схематизированного аналога.

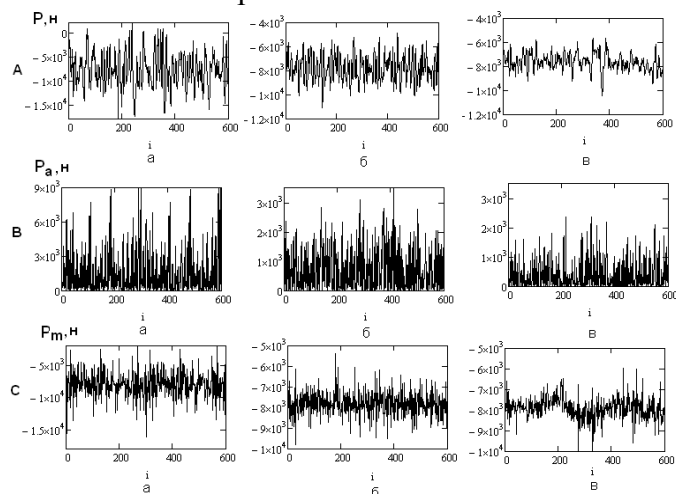


Рис. 2. Случайная выборка нагрузки передней подвески автомобиля для дорожного полотна в точке крепления передней подвески (а – булыжник с выбоинами; б - нормальный булыжник; в – шоссе): исходная нагрузка (А); схематизация по rainflow по амплитуде (В); схематизация по средней нагрузке (С)

При схематизации случайных процессов по rainflow получена реализация с разделением процесса по амплитуде и средней нагрузке (рис. 2), где представлены матрицы для вертикальной и продольной нагрузки подвески автомобиля в виде гистограмм и точечных матриц с координатами:  $P_a$  – амплитудная и  $P_m$  – средняя нагрузка конструктивного элемента. Характеры случайных распределений вертикальной и продольной составляющей нагружения передней подвески различаются. Случайное нагружение имеет большую составляющую случайного среднего нагружения, связанную с воздействием веса автомобиля, что приводит к асимметрии циклического напряжения. Схематизация описывает двухпараметрическое распределение со случайными величинами  $P_{ai}$  и  $P_{mi}$ .

В SolidWorks имеется модуль оценки повреждаемости конструктивного элемента при переменных нагрузках от накопления усталостных повреждений. Для вычисления скорректированного переменного напряжения в SolidWorks предлагаются метод Гудмена, метод Гербера (использовался в настоящей работе) и метод Содерберга.

Для выполнения исследования на усталость необходимо получить кривую  $\sigma$ - $N$ , определяющую значения знакопеременного напряжения относительно количества циклов, требуемых, чтобы вызвать разрушения. В SolidWorks имеется возможность получить кривую  $\sigma$ - $N$  на основе кривых усталости для аустенитной или углеродистой стали [5].

Для оценки жизненного цикла конструкции необходимо построение обобщенной случайной выборки нагружения в соответствии с технологическими типовыми циклами работы машины. В предположении нормального распределения



случайных выборок был принят следующий учет влияния дорожного полотна на обобщенный блок нагружения: булыжник с выбоинами – 68,3%; булыжник нормальный – 27,1%, шоссе – 4,3% [6]. Для оценки повреждаемости используется линейная модель Пальмгрена-Майнера.

По итогам усталостного анализа, выполненного в SolidWorks Simulation, строится эпюра срока службы (рис. 3)

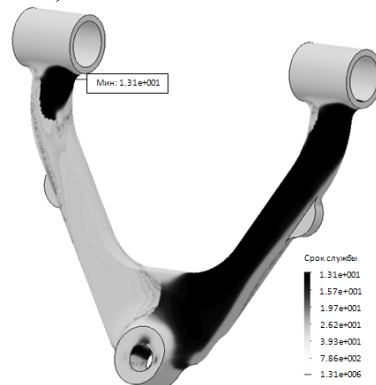


Рис. 3. Эпюра срока службы верхнего рычага передней подвески

На рис. 3 темным закрашены наиболее опасные места с точки зрения усталостного разрушения. В анализе использовался спектр для вносящего наибольший вклад в усталостное разрушение типа дороги – булыжника с выбоинами. Усталостный срок службы элемента подвески ориентировочно составил 13,1 лет.

Таким образом, можно сделать выводы:

1. Приведена методика оценки прочности конструктивных элементов транспортных средств с использованием пакетов программ ФРУНД и SolidWorks, позволяющих реализовать полноценный усталостный конечно-элементный анализ конструкции.
2. Проведенное исследование позволило установить местоположение возможного усталостного трещинообразования и разрушения и установить усталостный срок службы конструктивного элемента подвески транспортного средства.

### Литература

1. Горобцов А.С. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей динамики конструкций автомобилей: монография / А.С. Горобцов, С.К. Карцов, А.Е. Плетнев, Ю.А. Поляков – М.: Машиностроение, 2011. – 463 с.
2. Горобцов А.С. К расчету динамического напряженного состояния элементов конструкций машин в составе моделей систем многих тел / А.С. Горобцов, С.К. Карцов, А.Н. Савкин // Прочность материалов и элементов конструкций: Труды Международной научно-технической конференции (Киев, 28-30 сентября 2010 г.). Т.1 / – Киев: Ин-т проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, 2011. - С.24-29.
3. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2008. – 15 с.
4. ОСТ 37.001.291-84 Автотранспортные средства. Технические нормы плавности хода. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 25 с.
5. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

6. Савкин А.Н. Оценка прочности и усталостной долговечности конструктивных элементов автомобиля /А.Н.Савкин, А.С. Горобцов, А.В. Андроник //САПР и графика. 2012- № 8.- 93-96.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ МКЭ-МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Савкин А.Н., Андроник А.В., Суханов М.А., Седов А.А.  
*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена возможность оценки прочности технического объекта при его комплексном исследовании на основе динамического моделирования и расчета по методу конечных элементов.

### **Investigation of the structural element of the car based on the FEM-simulation. Savkin A.N., Andronicus A.V., Suhanov M.A., Sedov A.A.**

The possibility of assessing the strength of a technical object with its comprehensive study based on dynamic modeling and calculation by the finite element method.

При оценки прочности конструкций экономически целесообразно использовать САПР. На сегодняшний день относительно дешевым, высокопроизводительным, простым в освоении, обеспечивающим поддержку изделия на всех этапах его жизни - от эскиза до разрушения, обладающим дружелюбным интерфейсом программным комплексом является САПР среднего уровня SolidWorks [1], использованная в настоящей работе.

В качестве объекта исследования в настоящей работе был выбран верхний рычаг подвески автомобиля-внедорожника. Рычаг в процессе эксплуатации подвергается воздействию переменных нагрузок, поэтому возникла необходимость провести его прочностной анализ с целью выявления областей с наибольшей концентрацией напряжений, проверить на предмет возможности образования усталостных трещин и последующего разрушения.

В данной работе для определения направлений и величин наибольших нагрузок, воздействующих на рычаг, использовалась математическая модель автомобиля-внедорожника, созданная в среде программного комплекса инвариантного моделирования динамики систем тел ФРУНД [2,3].

Исследование, представленное в настоящей работе, ограничилось стационарными нагружениями. Стационарным случаем нагружения автомобиля считают прямолинейное движение с постоянной скоростью по дороге определенного типа и постоянным коэффициентом сопротивления движению.

Дальнейшие расчеты связаны с работой в программном комплексе SolidWorks, который является достаточно закрытым с точки зрения прозрачности происходящих в нем вычислительных процессов, поэтому перечислим основные допущения и особенности реализации метода конечного элемента: 1) Деформации принимаются упруго малыми, граничные условия – неизменными в процессе нагружения по величине и по направлению, а жесткость – независимой от деформаций; 2) Производится дискретизация объема, занимаемого телом, на элементарные области - конечные элементы; 3) Узлы конечных элементов располагаются в их вершинах, а также около середин сторон; 4) Степени свободы являются перемещения в направлении осей общей для всех узлов в теле системы координат; 5) Перемещение в

пределах каждого элемента аппроксимируется параболической функцией; 6) В результате приложения кинематических (перемещений) и статических (усилий) граничных условий тело деформируется, причем нагрузки приводятся к сосредоточенным в узлах; 7) В формулы для расчета компонентов матриц жесткости конечных элементов входят модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов; 8) Матрицы жесткости элементов объединяются в глобальную матрицу жесткости  $[K]$ . Столбцы перемещений  $u, v, w$  в узлах  $1, 2, \dots, i \dots$  объединяются в общий столбец перемещений  $[\Delta]$ . Усилия в направлении осей  $x, y, z$  в узлах отдельных элементов суммируются в глобальный столбец усилий  $[p]$ . В результате образуется система линейных уравнений, в которой неизвестными являются перемещения:  $[K][\Delta]=[p]$ ; 9) Глобальная матрица жесткости является разреженной; 10) Полученное решение соответствует минимуму потенциальной энергии деформированной упругой системы; 11) Для каждого конечного элемента при наличии перемещений в узлах и аппроксимирующей функции рассчитываются деформации; 12) На основе компонентов напряженно-деформированного состояния и параметров прочности материала вычисляются эквивалентные напряжения по критерию прочности. [1]

Прежде, чем проводить усталостный анализ в интегрированном модуле SolidWorks Simulation необходимо предварительно выполнить статические анализы, каждый из которых характеризует заданные граничные условия. Результаты этих статических расчетов в дальнейшем необходимы для проведения усталостного анализа.

Статический анализ в SolidWorks основан на допущениях:

1) статическом допущении, по которому все нагрузки прилагаются медленно и постепенно, пока не достигнут своих полных величин; 2) допущении линейности, согласно которому взаимоотношения между нагрузками и вызванными реакциями предполагаются линейными.

Для выполнения статического анализа в SolidWorks Simulation необходимо построить 3D-модель исследуемого объекта, разбить ее объем на конечные элементы, создав сетку, далее приложить к вершинам, кромкам, граням модели кинематические и статические граничные условия, задать материал исследуемого объекта для создания матрицы жесткости, а затем запустить анализ.

В настоящей работе модель верхнего рычага была импортирована в формате STEP в SolidWorks, распознана и преобразована в файл детали.

Так как рассматриваемая модель была импортирована, а ее геометрия не является очень сложной, то необходимость ее построения или упрощения отсутствует. По всему объему рычага была разбита равномерная сетка из 153920 тетраэдральных элементов с гранями, аппроксимируемыми параболическими функциями координат, в общей сложности 229792 узлов. Из двух методов автоматического разбиения сетки, представленных в SolidWorks, основанных соответственно на методе диаграмм Делано-Вороного и алгоритме Форчуна, был применен рекомендуемый для несложных конструкций - первый. Материалом исследуемого конструктивного элемента является сталь 40X [4].

Неотъемлемым элементом конечно-элементного анализа является назначение критериев прочности, их использование и интерпретация результатов расчета напряженно-деформированного состояния. SolidWorks позволяет оценивать прочность с использованием критериев прочности: 1) Критерий максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу; 2) Критерий максимальных касательных напряжений; 3) Критерий Мора-Кулона; 4) Критерий максимальных нормальных напряжений. [5]

Для пластичных материалов рекомендуется применять критерий максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу, который и использовался в настоящей работе. После постановки условий решаемой задачи необходимо выбрать решатель. В

SolidWorks Simulation в версии 2010 доступны два алгоритма решения системы линейных уравнений: 1) Прямой метод для разреженных матриц (Direct sparse). Этот метод базируется на алгоритме Холесского с использованием компактной схемы хранения матрицы жесткости; 2) Итерационный компактный метод (FFEPlus). Этот метод основан на разложении Ланшоца и рекомендуется для задач с числом степеней свободы более 300000 (как в настоящей работе).

Кинематические граничные условия были установлены исходя из сведений о работе исследуемого элемента подвески, статические - определены с использованием программного комплекса ФРУНД (в двух вариантах – для единичных продольного и вертикального нагружений).

После запуска и решения соответствующих определенных статических анализов были получены поля напряжений по Мизесу (рис. 1).

Следует отметить, для разной нагрузки локальные области с концентрацией напряжений различны. Для вертикальной нагрузки это область около правой проушины, а для продольной – около средней проушины. На рис. 1а, 1б эти области закрашены темным. Данные выполненных статических анализов могут быть использованы для оценки накопления повреждений в конструктивном элементе при переменном случайном внешнем нагружении.

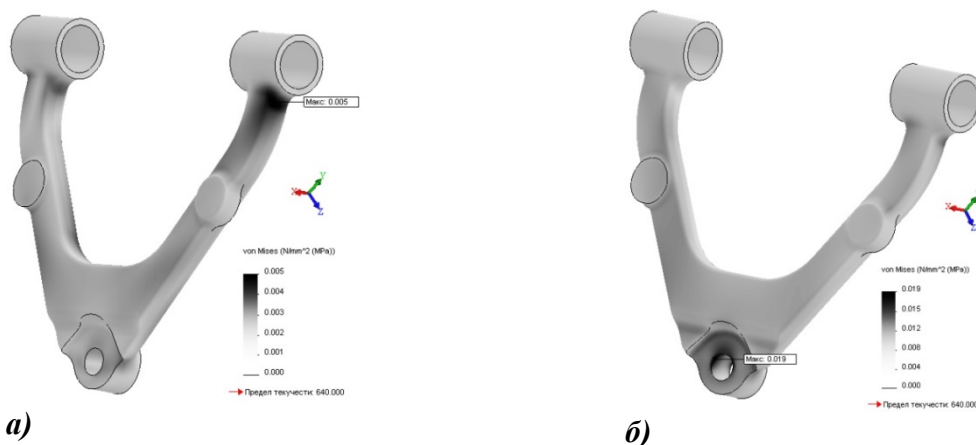


Рис. 1 – Поля напряжений для соответствующих граничных условий: (а) – при продольном нагружении; (б) – при вертикальном нагружении

Таким образом, можно сделать выводы:

1. Приведена методика оценки прочности конструктивных элементов транспортных средств с использованием пакетов программ «ФРУНД» и «SolidWorks», реализующих динамический и статический конечно-элементный анализ конструкции.

2. Проведенное исследование показало, что еще на этапе проектирования и конструирования можно провести научно обоснованный анализ прочности конструкции, который является базой для дальнейшего расчета долговечности материалов и конструктивных элементов.

### Литература

1. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008 Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.

2. Горобцов А.С. Программный комплекс моделирования пространственного движения систем твердых и упругих тел. Инженерный журнал. 2004, №9. – С.29-36.

3. Горобцов А.С. К расчету динамического напряженного состояния элементов конструкций машин в составе моделей систем многих тел / А.С. Горобцов, С.К. Карзов,

А.Н. Савкин // Прочность материалов и элементов конструкций: Труды Международной научно-технической конференции (Киев, 28-30 сентября 2010 г.). Т.1 / – Киев: Ин-т проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, 2011. - С.24-29.

4. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин. Под общ. Ред. В.Г.Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. –640 с.

5. Аликин В.Н. Критерии прочности и расчет механической надежности конструкций / В.Н.Аликин, П.В.Анохин, Г.Л.Колмогоров, И.Н.Литвин. Пермский государственный технический университет. – Пермь, 1999. – 158 с.

## COMBUSTION OF HYDROGEN-AIR MIXTURES IN CONSTANT VOLUME CHAMBER

Bastrakov A. V., Prikhodkov K. V., Avdeuk O. A., Krokhaliev A. V.  
*Volgograd, Volgograd State Technical University*

The paper describes method of determining the laminar burning velocity of gaseous fuels ignited by spark discharge. The techniques of preparation of hydrogen-air mixture, the experiment and how to determine the laminar burning velocity are described. The laminar burning velocity of hydrogen-air mixture versus air-fuel ratio has been obtained.

A major source of air pollutions are motor transport with internal combustion engine [1]. In order to decrease these pollutions, improvements of combustion process are necessary. One effective way to solve this problem is using of alternative fuel such as a natural gas, methane, propane, liquefied petroleum gas, hydrogen etc. Compared with other gases hydrogen has certain advantages – high diffusion, low ignition temperature, low ignition energy, high heating value. Table 1 lists some properties of hydrogen compared to methane and propane [2, 3]

Table 1  
Hydrogen properties compared with other gases  
(pressure 1 atm and temperature 300 K)

Property	Hydrogen	Methane	Propane
Minimum ignition energy (mJ)	0.018	0.28	0.25
Flammability limits,	0.14-2.54	0.53-1.6	0.57-2.5
Lower heating valuer (MJ/kg)	120	50	47
Maximum laminar burning velocity, (sm/s)	325	44.8	46.4

Fundamental characteristic of combustion is laminar burning velocity. This velocity is greatly determined by the perfection combustion. However, it is important not only maximum value of velocity but also the dependence one from the mixture composition.

To determine the laminar burning velocity, there are many methods and techniques. One is the method using a constant volume combustion bomb, which is a sealed cylinder or a sphere, which is served either separately metered quantity of fuel and air, or their pre-prepared mixture. The mixture in the cylinder is ignited by an electric spark plug. The

combustion chamber is equipped with sensors that allow determining the speed of propagation of the flame front.

The combustion bomb (Fig.1, 2) is a cylinder type with inside diameter of 200 mm. End surfaces of the cylinder drowned out by flanges. The combustible mixture is prepared within the chamber by adding fuel (hydrogen) and oxidant (air) at the specified partial pressures. Exhaust gases were removed with a vacuum pump.

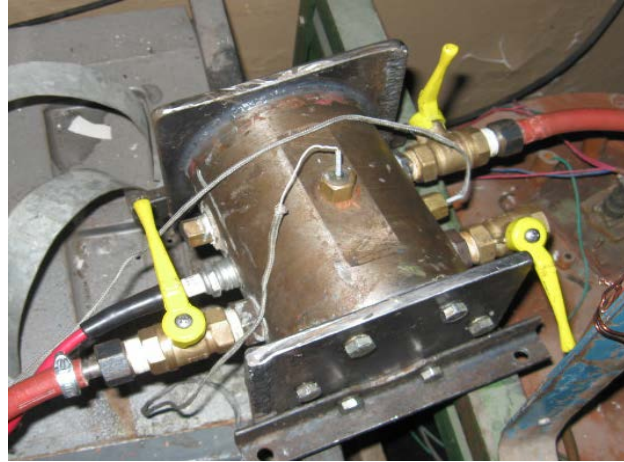


Figure 1 – The combustion bomb

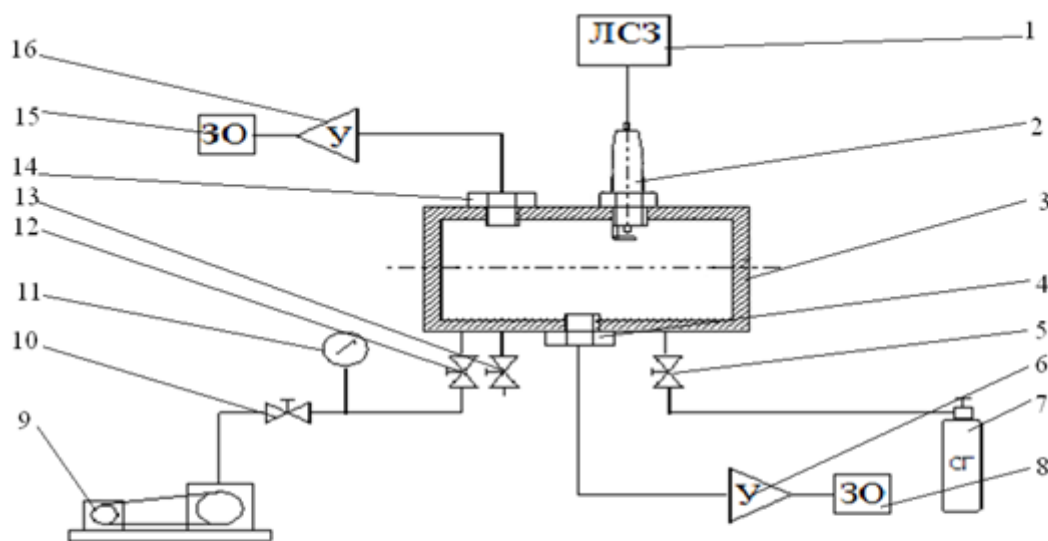


Figure 2 – Combustion bomb:

1 – Laboratory ignition system; 2 – spark plug; 3 – combustion bomb; 4, 14 – ion sensors; 5, 10, 12, 13 – valves; 6, 16 – amplifier; 7 – hydrogen tank; 8, 15 – oscilloscope; 9 – vacuum pump; 11 - vacuum gauge.

The combustion chamber is equipped with a commercial spark plug. The discharge controlled by the laboratory ignition system with adjustable parameters. Its main characteristics are:

- Ranges of current inductive phase of discharge 25 ... 400 mA;
- Ranges of duration inductive discharge phase of discharge 0,2 ... 8 ms;
- The slope of the secondary voltage front - 0.6 ... 2.5 kV / ms.

Development of ignition and combustion monitored through established in the bomb two ionization sensor with signals on the screen of the oscilloscope. Distance from the spark plug to the sensors selected so as to trace the development of the combustion process. They were respectively 10, 50 and 100 mm.

The essence of this method lies in the fact that the approach to the ionization sensor of the flame front, containing a conductive gas between the insulated electrode with a positive potential and "mass" appears current signal from which, after amplification was applied to the line input of the oscilloscope.

Hydrogen was prepared immediately before the experiment through laboratory generator. Hydrogen produced by the requirements of GOST 3022-80.

Hydrogen fuel-air mixture is prepared on the basis of Dalton's law of partial pressures. Partial pressures of air  $p_{air}$  and fuel  $p_{fuel}$ , is defined as follows

$$P_T = \frac{P_0}{1 + \alpha \cdot L_0},$$

where  $\alpha$  is a fuel-air ratio and  $L_0$  – is the amount of air theoretically required for complete combustion of 1 kmol of fuel. ( $L_0=2,38$  kmol air/kmol fuel).

Dosing of air and hydrogen into the combustion was carried out by the termination of their supply reaches the design pressure defined model gauge.

During each experiment, with storage oscilloscope recorded the time to reach the front of the flame ionization sensor first.

The experiment results are directly determined by the flame propagation speed:

$$S_l = \frac{\Delta s}{\tau_{bm}},$$

where  $\Delta s$  is a distance from spark gap to the sensor and  $\tau_{bm}$  is transit time of the flame front from the ignition source to the one.

At assumption, that the pressure does not vary significantly yet, simple relationship linking the spatial flame velocity ( $S_l$ ) to the upstretched laminar burning velocity ( $U_l$ ) is given by Law et al.12 as

$$U_l = \frac{S_l}{\varepsilon_g},$$

where  $\varepsilon_g$  is the expansion ratio on combustion:

$$\varepsilon_g = \mu_0 \frac{T_b}{T_u},$$

Where  $\mu_0$  is ratio of the molecular changes during combustion;  $T_b$  and  $T_u$  is thermodynamic temperature for burned gases and unburned gases, respectively. Parameters of these gases would be obtained due to any thermophysical tables for example from Vargaftik's handbook [5].

The value of temperature for burned gases can be defined as:

$$T_b = T_u + \frac{\xi \cdot Q_u}{\mu_u \cdot c_{v_u}},$$

where  $Q_u$  is the heating value of fuel;  $\xi$  is the utilization rate of heat from the combustion;  $\mu_u$  is the molar mass of burning gas;  $c_{v_u}$  – specific heat at constant volume.

Data refer to the [3] on the value of the normal rate of combustion of hydrogen-air mixture as the values, and the nature of the change. This allows the conclusion that an

experimental setup is efficient and can be used to conduct research on the characteristics of hydrogen ignition.

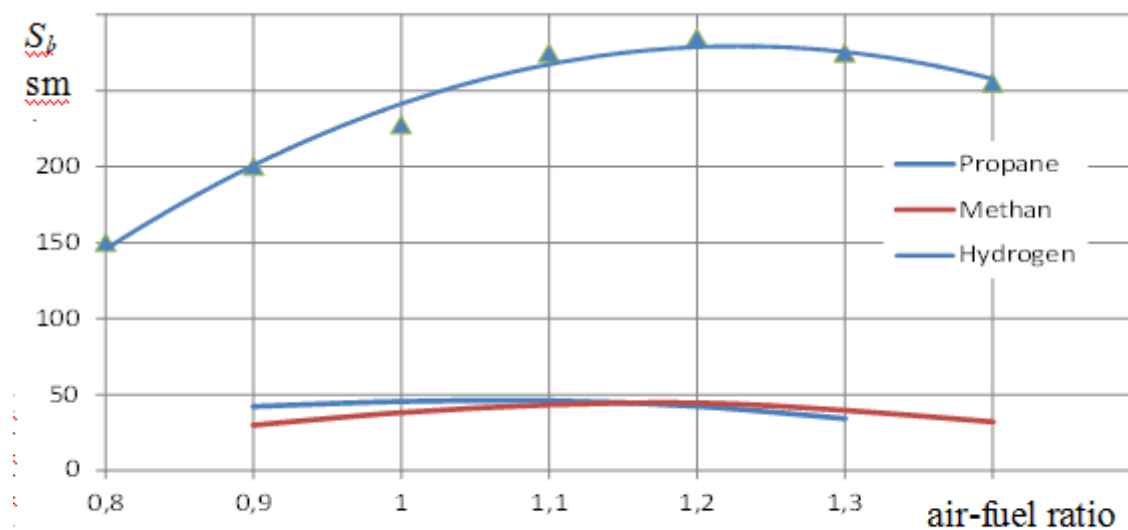


Figure 3 – Laminar burning velocity versus air-fuel ratio ( $T=293\text{ K}$ ,  $p = 1\text{ bar}$ )

#### List of references

1. Balan L. L., Tipa S. Transports as source of atmospheric pollution. Quality - Access to Success. 2011;12(SUPPL. 2):956-61.
2. Gelfand, B. E. Hydrogen. Parameters of combustion and explosion / B. E. Gelfand, O. E. Popov, B. B. Chayvanov – Moscow: FIZMATLIT, 2008. – 288 p.
3. Glassman, I. Combustion / I. Glassman. – 3rd ed. – Third edition. 1996. – 619 p.
4. Warriors, A. N. Combustion in high-speed reciprocating engines / A. N. Warriors. – Moscow: Mashinostroenie, 1977. - 277 p.
5. Vargaftik, N. B. Handbook of thermophysical properties of gases and liquids / N. B. Vargaftik. - 2nd ed., ext. and rev. - Moscow: Nauka, 1972. – 720p.

### ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНУЮ СИТУАЦИЮ В ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Наумов В.Ю., Акулов Л.Г., Муха Ю.П., Авдеюк О.А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

В работе производится анализ измерительной ситуации в гематологических исследованиях и выделение математических моделей, необходимых для ее формализации, при этом рассматривается уравнение измерительной процедуры на примере анализа количества эритроцитов в периферической крови.

**Impact of external factors on the measuring situation in haematology research.**  
**Naumov V.U., Akulov L.G., Muha U.P., Avdeuk O.A.**

In this paper, an analysis of the situation in the measurement of hematological research and selection of mathematical models needed for its formalization, with the equation in measuring process by analyzing the number of red blood cells in the peripheral blood.



Ранее [1] классифицировались погрешности, возникающие на преаналитическом этапе исследования, при этом говорилось, что любое воздействие на организм пациента может привести к тому, что результат гематологического измерения будет недостоверным. В настоящее время гармонизация исследований крови заключается в том, чтобы брать пробу у пациента рано утром, пока организм не подвергся психологическим или физическим нагрузкам; проведении анкетирования пациентов, помогающего определить достоверность полученных результатов и т.д. Эти мероприятия снижают количество ошибочных результатов, но не дают ответа на вопрос как то или иное воздействие влияет на результат гематологического измерения.

Кровотворная система организма больного неразрывно связана с процессом гематологического исследования, так как от результата ее деятельности зависит биопроба, поэтому имеет смысл говорить о биоинструментальной информационно-измерительной системе (ИИС). В биоинструментальной ИИС первичным преобразователем многопараметрического входного воздействия на организм является сам биологический объект, при этом она содержит в себе математическую модель исследуемого объекта, основанную на первоначальных параметрах биологической модели.

Для проведения метрологического анализа необходимо определить измерительную процедуру [2], выделить информационные потоки [3] и управляющие воздействия [4] на каждом этапе преобразования измеряемой величины.

С целью дальнейшего метрологического анализа необходимо формализовать измерительную процедуру и проанализировать влияние внешних факторов на гемопозитическую систему организма человека [5]. С помощью формализованного описания объектов, условий, процедур и средств измерений обеспечивается функционирование измерительных автоматов, а также решаются задачи метрологического анализа.

### Литература

1. Муха, Ю.П. Классификация погрешностей гематологических исследований / Ю.П. Муха, В.Ю. Наумов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 4. – С. 37 – 44.
2. Наумов В.Ю. Погрешности аналитического этапа гематологических исследований / В.Ю. Наумов // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. 4 (42) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – С. 62 – 66. (Сер. Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. Вып. 2).
3. Муха, Ю.П. Синтез категорной модели информационных потоков биоинструментальной ИИС при гематологических исследованиях / Ю.П. Муха, В.Ю. Наумов // Биомедицинские технологии и радио-электроника. – 2010. - №6. – С. 38 – 42.
4. Наумов, В.Ю. Биоинструментальная измерительная система в гематологических исследованиях / В.Ю. Наумов, Ю.П. Муха // Миллиметровые волны в биологии и медицине. - 2010. - № 4. - С. 27-32.
5. Авдеюк, О.А. Влияние внешних факторов на измерительную ситуацию в гематологических исследованиях / О.А. Авдеюк, В.Ю. Наумов, Л.Г. Акулов // Изв. ВолгГТУ. Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь». Вып. 6 :межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 6. - С. 64-68.

## РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО САЙТА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Приходьков К.В., Наумов В.Ю., Авдеюк Д.Н., Асеева С.Д., Приходькова И.В.  
*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрены особенности создания и необходимость информационно-образовательного сайта для студентов заочного отделения Волгоградского государственного технического университета.

### **Role of Information and educational website for students of extramural studies. Prikhodkov K.V., Naumov V. Yu., Avdeyuk D.N., Aseyeva S.D., Prikhodkova I.V.**

In this article we examined features of creation and the need for information and education site for students of the correspondence department of Volgograd State Technical University.

В настоящее время по-прежнему активно дискутируется вопрос о правомерности существования заочной формы обучения и качестве полученного образования. Тем не менее, в современной России наблюдается рост поступающих на заочные отделения. Как отмечают сами студенты, к достоинствам подобного образования относятся возможность работать и зарабатывать деньги параллельно с обучением, демократичные цены на контрактной форме обучения. Вместе с тем организация заочной формы образования имеет ряд недостатков, одним из которых является ограниченная по времени возможность непосредственного общения с преподавателями и сотрудниками деканата, особенно для студентов, проживающих в удаленных от вуза районах и городах[2]. Для повышения качества заочного образования в нашем ВУЗе непрерывно совершенствуются как методики обучения, так и сама организация учебного процесса. Это связано, прежде всего, с активным внедрением современных информационных технологий[1,3,5]. Одним из направлений работы является грамотная организация сайта заочного отделения, так как, мы считаем, что это является важным условием прозрачности организации учебного процесса. При разработке сайта <http://fpik.vstu.ru>, мы уделяли особое внимание [4]:

- веб-дизайну с точки зрения - usability (практичность) сайта, «прозрачность» (понятность) навигации, применения различных технологий оформления, скорости загрузки страниц, а также требованиям эргономики;
- персонализации информации, предназначенной для различных форм обучения (заочная, очно-заочная, сокращенно-заочная, второе высшее образование), направлений подготовки, профилей, курсов;
- информационному контенту сайта с точки зрения информативности, доступности, достоверности и оперативности информации, особенно учебно-методического характера;
- многоаспектному и быстрому поиску необходимых сведений в больших массивах информации;
- получению сведений о посещаемости сайта, т. е. его результативности как средства коммуникации;
- отсутствию баннеров на страницах сайта;
- круглосуточной технической поддержке.

Таким образом, правильно организованный сайт помогает студентам заочного отделения доступно и оперативно получать информацию деканата и о графике учебного процесса, задания на самостоятельную работу и электронную учебно-

методическую литературу и т.д., что способствует более полной информационной поддержке студентов, а значит, и повышению качества предоставляемых образовательных услуг.

### Литература

1. Авдеюк О.А. Развитие информационных технологий поддержки заочной формы обучения/К.В. Приходьков, О.А. Авдеюк, А.В. Крохалев, А.Н. Савкин// Тезисы международной НП конференции «Инфо-2010» Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий, 1-10 октября 2010 г.. Г. Сочи, С.93-94.
2. Авдеюк О.А. Проблемы заочного обучения и пути их решения /О.А. Авдеюк, Е.Н. Асеева// Международный журнал экспериментального образования, № 3,2011.– С.146-147.
3. Авдеюк О.А. Роль информационных технологий в процессе образования студентов безотрывной формы обучения /К.В. Приходьков, О.А. Авдеюк, А.В. Крохалев, А.Н. Савкин// Международный журнал экспериментального образования, №4,2011.– С. 48-49.
4. Методика и технология разработки веб-сайта образовательного учреждения (на примере сайта социально-гуманитарного факультета БГПУ им. М. Акмуллы). [Электронный ресурс: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=445629>]. Дата обращения: 02.01.2013.
5. Приходьков К.В. Применение информационных технологий в безотрывной форме обучения/К.В. Приходьков, О.А. Авдеюк, А.В. Крохалев, А.Н. Савкин// В мире научных открытий, Серия Проблемы науки и образования. – 2011. – № 2(14) – С. 99 – 104.

### АНАЛИЗ АПРИОРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Приходькова И.В., Королева И.Ю., Авдеюк О.А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена возможность применения аппарата категорий и нейронных сетей для анализа априорных данных при проектировании измерительной системы.

#### **The analysis of a priori data for measuring systems by means of the neural network. Prikhodkova I.V., Korolyova I.Y., Avdeuk O.A.**

The possibility of using of the device of categories and neural networks for the analysis of aprioristic data in the design of measuring system.

Многие инженерные и аналитические задачи связаны с получением и обработкой огромного количества данных. Любая автоматизированная информационная система предназначена для хранения и обработки содержащейся в ней информации. База данных (БД) – именованная структурированная совокупность данных, которая характеризует состояние объектов предметной области, их свойства и взаимоотношения. Любая БД оперирует той или иной частью реального мира – предметной областью. Предметная область рассматривается как некоторая совокупность реальных объектов (сущностей) и связей между ними. Каждый объект обладает определенным набором свойств (атрибутов). Предметная область может включать не только физические объекты, но и сведения о процессах и абстрактных

понятиях. Автоматизированные системы, имеющие в основе базы данных, сейчас активно применяются в самых разных областях: компьютерные системы, ведущие складской и бухгалтерский учет, автоматизированные рабочие места специалистов во многих отраслях промышленности и т.д.

Наряду с этим одной из наиболее актуальных ныне задач является автоматизация разработки новых измерительных систем и сложных измерительных комплексов[6]. Необходимо отметить, что при решении такой задачи особое внимание уделяется получению и обработке априорных данных, как наиболее необходимых на начальных этапах построения измерительных систем.

Во многих задачах данные, априорные в особенности, относятся к плохо формализованным, для которых неизвестны аналитические зависимости, приводящие к желаемому результату. Как правило, в плохо формализованных задачах имеется некоторый набор параметров, описывающий объекты предметной области. Вся информация о предметной области представлена некоторой совокупностью векторов этих параметров, накопленных в результате некоторых измерений и экспериментов. Причем, о наборе параметров нельзя сказать определенно, что он полон, адекватен, а сами измеренные значения параметров в совокупности неполны, противоречивы и искажены. Все это не позволяет применять для решения плохо формализованных задач традиционные методы статистической обработки и оптимизации. К одному из самых перспективных методов решения плохо формализованных задач относят применение нейронных сетей. Нейронную сеть обучают и далее с ее помощью находят недостающие данные об исследуемом объекте. То есть, используется способность нейронных сетей к обучению для обнаружения скрытых закономерностей в виде повторяющихся ассоциаций в базах данных. Эти выявленные ассоциации можно интерпретировать по-разному в зависимости от содержания базы данных - как причинно-следственные связи, как набор сопутствующих факторов, которые можно рассматривать как один сложный фактор и т.п.

Анализ различных работ, посвященных этой проблеме, показал, что наиболее адекватно поставленной задаче является применение нейронных сетей Хопфилда с алгоритмом обучения обратным распространением ошибки. Обученная нейронная сеть может использоваться для изучения взаимосвязей между полями в базе данных с целью добывания данных из данных. При обучении такой нейронной сети (для поиска ассоциаций) в качестве примеров используют SQL-запросы [3].

Применительно к системам обработки данных, в том числе к искусственным нейронным сетям, ассоциация трактуется как взаимосвязь между информацией (образом) на входе логико-запоминающей среды и информацией (образом), хранящейся в логико-запоминающей среде. Способ доступа к информации в запоминающей среде, базирующийся на механизме ассоциации, получил название ассоциативного способа доступа. Ассоциативный способ доступа к информации обеспечивает:

- практически одновременный доступ ко всей хранящейся в памяти информации;
- относительную независимость времени поиска информации от емкости памяти;
- внесение элементов обработки информации непосредственно в процесс самого доступа;

- обработку информации непосредственно в среде ее хранения.

Эти, а также ряд других отличительных особенностей ассоциативного способа доступа к информации делает его чрезвычайно перспективным в системах обработки данных.

Для построения априорных данных, используемых для дальнейшего обучения нейронной сети очень удобно использовать аппарат категорий и функторов. Объекты предметной области можно представить в виде категорий, а существующие

зависимости между различными объектами – как морфизмы. Так как в любой сложной системе отдельные объекты взаимодействуют друг с другом, то, используя математический аппарат категорий и функторов, эти связи можно представить в виде функторов [1,2,5,6].

Таким образом, для каждого объекта и связей между объектами формируются функторные зависимости, которые в дальнейшем при работе обученной нейронной сети позволят проектировщику получить недостающие параметры и дополнить существующие данные.

### Литература

1. Авдеюк, О.А. Преимущества использования структурно-аналитического подхода при проектировании сложных нерасчетных медицинских систем/ О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева// Тезисы между-народной НП конференции «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий», 5-12 октября 2012 г.. Г. Сочи, С.503-504.

2. Букур И. Введение в теорию категорий и функторов: Пер. с англ / Букур И., Деляну А. – М.:Мир,1972.

3. Гаврилов А.В. Обнаружение ассоциативных взаимосвязей между полями в базах данных с помощью модели нейронной сети / Гаврилов А.В., Канглер В.М., Катомин М.Н., Коротенко А.И.// Труды международной научно-технической конференции "Научные основы высоких технологий", Т. 2, стр. 210-211, Новосибирск, сентябрь, 1997 г.

4. Королева И.Ю. Представление априорных знаний при проектировании измерительных систем медицинских комплексов / Королева И.Ю., Приходькова И.В. //Биомедицинская радиоэлектроника.-2006.-№4.-С. 33-39.

5. Королева, И. Ю. Виды и особенности представления информационно-измерительных знаний при проектировании биомедицинских комплексов/ И. Ю. Королева, И. В. Приходькова// Изв-я Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 1/ВолгГТУ.– Волгоград: РПК «Политехник»,2007.– (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах Вып.1) – С.83-85.

6. Муха Ю.П. Алгебраическая теория синтеза сложных систем: Монография / Муха Ю.П., Авдеюк О.А., Королева И.Ю. // ВолгГТУ.-Волгоград,2003.-320с.

## ОБЪЕКТНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Акулов Л. Г., Тарасова И.А., Муха Ю.П.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрены особенности применения объектно-ориентированного моделирования при синтезе сложных измерительных систем. Рассмотрены вопросы построения межблочных интерфейсов на примере моделей информационно-измерительных систем.

**Object approach to measurement systems modeling. Akulov L.G., Tarasova I.A., Mukha J.P.**

Article is describing features of object oriented modeling of complex measurement systems synthesizing. Under review is interfaces of blocks interconnection by information-measurement models systems example.

Сложные измерительные системы – это системы, в которых число структурных элементов и связей между ними не позволяет проводить их аналитическое описание без предварительного преобразования. Естественным шагом на этапе синтеза сложной измерительной системы является ее моделирование. Синтез модели сложной измерительной системы необходим для построения принятого измерительного уравнения, являющегося необходимым компонентом при метрологическом анализе.

Однако моделирование не всегда возможно ввиду того, что не удается определить характер и параметры модели системы ввиду: 1) априорной неопределенности всех ее свойств и 2) изначально высокой структурной сложности [1].

Первая проблема решается уточнением свойств с помощью проведения метрологического эксперимента. Метрологический эксперимент подразумевает операцию сравнения. Потому предварительно происходит операция «навязывания» системе структуры, корректность которой впоследствии верифицируется опытным путем. Величина на мере отличия полученного значения и рассчитанного является мерой погрешности моделирования.

Подход к решению второй проблемы основан на снижении сложности системы за счет изменения способов её описания. Естественным методом снижения сложности является декомпозиция целого на части, где сложность каждой из частей не превышает некоторой пороговой величины. Сложность системы из полученных компонент и связей между ними, в свою очередь, тоже не должна превышать порогового значения (данный подход может быть продолжен до достижения нужного уровня иерархии).

Кроме того, модели современных систем, как правило, являются развивающимися, то есть они меняются и требуют соответствующего повторного синтеза. Развитие происходит за счет уточнения параметров моделей и за счет усложнения их функционала.

Для решения вышеописанных задач был избран подход, основанный на представлении сложной системы в терминах объектно-ориентированного моделирования (ООМ), частным случаем которого является парадигма объектно-ориентированного программирования (ООП). В частности, разбиение сложной системы на относительно независимые блоки-объекты, каждый из которых содержит член-данные и член-функции [3,4]. ООМ (и ООП) появилось как парадигма моделирования (программирования) относительно недавно, и получило колоссальное развитие, выведя этот процесс на совершенно новый уровень. А потому именно ООМ (ООП) подход, как доказавший собственную эффективность, выбирается в качестве базы для практической разработки систем компьютерной поддержки синтеза сложных систем на примере информационно-измерительных (ИИС).

Структура блоков-объектов носит иерархический характер. Детализация каждого из них происходит до уровня достижения нужных результатов разработчиком. Этот подход согласуется с методом проектирования сложных измерительных комплексов, носящий название блочно-функционального распределения, в рамках структурно-аналитического подхода [1,2,3].

Необходимо формирование базового набора блоков и разработка методов их связи в единую ИИС. Этот подход позволяет решать задачи как аппаратного, так и программного синтеза. Главное преимущество подхода – масштабируемость. Пользователи имеют возможность самостоятельно наращивать функционал системы без участия основного разработчика, имеют возможность эффективного обмена этой

наращенной функциональностью. Подобно тому, как это происходит при общении с базами данных (БД), когда основной набор полей задается разработчиком, а наполнение БД осуществляется конечными пользователями. Создается набор базовых блоков и описание механизмов взаимодействия между ними, а функциональным наполнением занимаются конкретные специалисты, в силу собственных сил и возможностей. Взаимодействие естественным образом может происходить с использованием современных информационно-коммуникационных технологий (например, Интернет).

Применение принципов ООМ (ООП) позволяет воспользоваться его ключевыми свойствами: инкапсуляцией, наследованием и полиморфизмом.

Инкапсуляция дает возможность использовать ранее созданные объекты в составе новых проектируемых систем, если позаботиться об их совместимости по интерфейсам, то есть определиться с набором входных и выходных параметров для каждого из блоков. При этом нет необходимости в понимании сути того, как именно эти блоки устроены, по каким алгоритмам функционируют.

Полиморфизм позволяет обращаться к одному и тому же блоку, используя его в разных ситуациях без внесения дополнительных изменений в состав. Решение о том или ином алгоритме принимается в момент передачи блоку входных параметров.

### Литература

1. Акулов Л.Г., Литовкин Р.В. Метрологический подход к оценке структурной сложности системы исследования биопотенциалов мозга / Л.Г. Акулов, Р.В. Литовкин // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2009. - № 4. - С. 42-50.

2. Акулов, Л.Г. Метод опорных векторов в задачах выявления состояний биологических систем / Л.Г. Акулов, Д.С. Харин, Ю.П. Муха // Информатика и системы управления. - 2010. - № 2. - С. 103-105.

3. Муха, Ю.П. Объектно-ориентированное моделирование при синтезе сложных систем / Ю.П. Муха, Л.Г. Акулов, И.А. Тарасова // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Серия "Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение". - 2012. - № 1. - С. 7-15.

4. Бенькович, Е.С. Практическое моделирование динамических систем / Е.С. Бенькович, Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. - СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 464с.

## СТРУКТУРА МОДУЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДЕМУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ В СОСТАВЕ ЯДРА ЭЭГ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Акулов Л. Г., Наумов В.Ю.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена структура модуля, формализующего пространственное демультиплексирование биоэлектрического сигнала мозга в рамках под-хода, основанного на представлении электроэнцефалографической информации-измерительной системы в виде структуры с выделением ядра.

**Structure of space demultiplexing module in core of EEG information-measurement system. Akulov L.G.**

Under review is structure of module formalizing space demultiplexing module in core of bioelectric brain signal of electroencephalographic information-measurement system with core allocation structure.

Для представления информационно-измерительных систем (ИИС), применяющихся в биомедицине ранее была предложена концепция ядра, представляющая собой базовую структуру совокупности фундаментальных преобразующих операций измерительного средства [1,2,3].

В состав ядра вошел модуль  $C\_CONN$ , который отвечает за пространственное демультимплексирование или способ контакта датчиков с биологическим объектом. Модуль предназначен для того, чтобы на непрерывных физических полях биологического объекта выделить несколько точек, к которым будут подключены датчики измерительного комплекса. Можно расписать структуру данного модуля:  $C\_CONN = \{TBioPotCont, TOuterCont\}$ . Здесь  $TOuterCont$  – категория методов подключения небиоэлектрических датчиков (температуры, давления, влажности кожи и т.д.).  $TBioPotCont = \{TEEGCont, TNonTEEGCont\}$ , где  $TNonTEEGCont$  – категория подключения датчиков для съема биоэлектрических потенциалов, которые не принято относить к чисто электроэнцефалографическим, а  $TEEGCont$  – собственно категория конфигурации расположения электроэнцефалографических электродов.

Данная категория может быть расписана следующим образом:  $TEEGCont = \{TUnipolar, TBipolar, TOTHpolar\}$ . Эта запись означает вариативность категории отведения, которая может быть представлена одной из стандартных схем отведения [3]:  $TUnipolar$  – униполярной,  $TBipolar$  – биполярной, или какой-либо другой, не относящейся к стандартным  $TOTHpolar$ . Важнейшей характеристикой при съеме потенциалов является число каналов  $N_{EEGCh}$ . При униполярном отведении важную роль играет расположение референсного электрода. Им, в частности, может быть шея, левое ухо, правое ухо и т.д.:  $TUnipolar = \{TUnipolarLEar, TUnipolarREar, TUnipolarNeck\}$ .

Как наиболее распространенный вид отведений к категории блока  $C\_CONN$  можно отнести униполярную схему, принятую в международной классификации «система отведений 10-20» с уточняющей модификацией «10-10». Вообще, система отведений зависит от того, какая модель головы используется. Так, например, для сферической модели (наиболее распространенной) пространственное демультимплексирование будет происходить в рамках использования сферических координат  $R, \theta$  и  $\varphi$ . Именно  $\theta$  и  $\varphi$  выступают в качестве координат на схеме «10-20», считая, что радиус поверхности головы постоянный.

### Литература

1. Акулов, Л.Г. Математическое моделирование в медицинских измерениях / Л.Г. Акулов // Известия ЮФУ. Серия: Технические науки. - 2012. - № 9. - С. 56-61.
2. Акулов, Л.Г. Применение объектно-ориентированного моделирования для синтеза электроэнцефалографических измерительных систем / Л.Г. Акулов, Ю.П. Муха // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Серия "Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение". - 2012. - № 1. - С. 47-53.
3. Муха, Ю.П. Модель измерительного уравнения при исследовании биоэлектрических потенциалов организма на примере электроэнцефалографии / Ю.П. Муха, Л.Г. Акулов // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". Серия "Биотехнические системы в медицине и экологии". - 2006. - Вып.2. - С. 80-89.



4. Зенков, Л. Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) / Л. Р. Зенков – 3-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2004. – 368 с.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

Акулов Л. Г., Бычков В.В., Муха Ю.П.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрены методы решения прямой задачи электроэнцефалографии.

### **Comparing analysis of electroencephalography forward problem solutions methods. Akulov L.G., Bichkov V.V., Mukha J.P.**

There in article are electroencephalography forward problem solutions methods with analysis comparing of them.

Электроэнцефалографические методы опираются на биофизические модели формирования электрической активности головного мозга. Моделей, и способов их реализации существует достаточно много. Как правило, точность модели находится в отношении обратной зависимости с её сложностью. Сложность может быть алгоритмической [1] или структурной [2].

Целью работы является выявление зависимости между сложностью модели биоэлектрической активности головного мозга и степенью ее точности. Для этого осуществляется обзор биофизических моделей формирования электроэнцефалограммы; выявление границ применения этих моделей и соответствующей им точности; определение сложности реализации моделей в прямых задачах ЭЭГ. Определение параметров моделей позволяет осуществлять их включение в состав многокомпонентных информационно-измерительных систем используя принципы объектно-ориентированного проектирования [3,4].

Наиболее распространенная модель природы биоэлектрической активности головного мозга в настоящее время основана на дипольном представлении источника. Потому в данной работе рассмотрена иерархия формализации моделей трансформации электрического поля диполя. В силу принципа суперпозиции поле от нескольких источников равно сумме полей каждого из источников, рассматриваемых независимо [5,6].

Для представления геометрии головы используется пара наиболее показательных и распространенных моделей: сферической и реальной.

Сферическая модель представляет проводящие слои в виде областей, разделенных концентрическими сферами. Обычно областей три, и они формализуют мозговые ткани, черепную костную ткань и кожный покров. Часто добавляется четвертая, которой соответствует цереброспинальная жидкость. Реальная модель представляется в виде трёх замкнутых поверхностей, форма которых соответствует реальной геометрии мозга, черепа и кожи.

Каждый слой характеризуется своей проводимостью. Значения проводимостей вкуче с геометрическими параметрами представляют характеристику модели. Четырёхслойная модель лучше учитывает проводящие свойства головы, а реальная – её геометрию.

Среди методов расчёта потенциала на поверхности головы в зависимости от проводящих свойств её элементов, чаще других используются метод граничных элементов, метод конечных элементов и метод конечных разностей [7,8,9].

В результате рассмотрены самые распространённые модели формирования биоэлектрической активности головного мозга, наиболее часто используемые методы расчёта биопотенциалов. Приведены основные расчетные формулы, позволяющие определять значение вычислительных затрат при их использовании в программных реализациях, позволяющие дать сравнительную характеристику с существующими методами учета точности [10,11].

Далее необходимо получение функциональных зависимостей между точностью моделей и их вычислительной сложностью. Кроме того, требуется непосредственное моделирование биоэлектрических процессов головного мозга представленными методами с последующим анализом на основе вычислительного эксперимента.

### Литература

1. Акулов, Л.Г. Алгоритмические особенности представления электрофизиологических временных рядов в базисе функций Габора / Л.Г. Акулов, И.А. Тарасова, Ю.П. Муха // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2010. - № 6. - С. 31-37.
2. Акулов, Л.Г. Метрологический подход к оценке структурной сложности системы исследования биопотенциалов мозга / Л.Г. Акулов, Р.В. Литовкин // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2009. - № 4. - С. 42-50.
3. Акулов, Л.Г. Применение объектно-ориентированного моделирования для синтеза электроэнцефалографических измерительных систем / Л.Г. Акулов, Ю.П. Муха // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Серия "Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение". - 2012. - № 1. - С. 47-53.
4. Муха, Ю.П. Объектно-ориентированное моделирование при синтезе сложных систем / Ю.П. Муха, Л.Г. Акулов, И.А. Тарасова // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Серия "Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение". - 2012. - № 1. - С. 7-15.
5. Жадин, М. Н. Биофизические механизмы формирования электроэнцефалограммы / М. Н. Жадин. – М.: Наука, 1984. – 197 с.
6. Nunez P.L. Electric fields of the brain: the neurophysics of EEG/ Paul L. Nunez, Ramesh Srinivasan – 2nd ed. - New York: Oxford University Press, 2006. - 611 p.
7. Grech R. et al. Review on solving the inverse problem in EEG source analysis // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. - 2008. - 5:25, 33 p.
8. Hallez H. et al. Dipole Localization Errors due to not Incorporating Compartments with Anisotropic Conductivities: Simulation Study in a Spherical Head Model // IJBEM. - 2005. - Vol. 7, No. 1, 4 p.
9. Hallez H. et al. Review on solving the forward problem in EEG source analysis // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.- 2007.- 4:46, 29 p.
10. Lew S. et al. Accuracy and run-time comparison for different potential approaches and iterative solvers in finite element method based EEG source analysis // Application Numerical Math.- 2009.- 59(8), P. 1970–1988
11. Whittingstall K. et al. Effects of dipole position, orientation and noise on the accuracy of EEG source localization // BioMedical Engineering OnLine. - 2003. - 2:14, 5 p.

## МЕТОДИКА УСТАЛОСТНОГО АНАЛИЗА НЕСУЩЕЙ РАМЫ АВТОМОБИЛЯ-ВНЕДОРОЖНИКА

Савкин А.Н., Горобцов А.С., Андроник А.В., Суханов М.А.  
*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена методика усталостного расчета несущей рамы автомобиля-внедорожника с использованием конечно-элементной системы SolidWorks и программного комплекса многотельной динамики системы тел ФРУНД в контексте комплексного исследования несущих конструкций автомобилей.

### **Fatigue analysis method for offroad-vehicle carriage frame. Savkin A.N., Gorobcov A.S., Andronik A.V., Sukhanov M.A.**

Fatigue analysis method for offroad-vehicle carriage frame is given with using of finite-element program SolidWorks and multibody system FRUND for the purposes of complex simulation of carriage systems of vehicles.

К несущей раме автомобиля предъявляется большое количество конструктивных требований. Если автомобиль предназначен для эксплуатации в тяжелых дорожных условиях, то расчет рамы ведется с использованием упрощенной расчетной модели и обычно в статическом анализе изгиба и кручения. [1] Однако такой подход дает достаточно консервативные результаты, поэтому для анализа подобных конструкций был предложен комплексный подход, изложенный ранее авторами в [2, 3].

Одним из наиболее важных расчетов для рам автомобилей является усталостный расчет. Ниже будет описана методика усталостного расчета рамы автомобиля, выполненного с использованием трехмерной сплошнотельной конечно-элементной модели в SolidWorks [3] и динамической модели автомобиля в ФРУНД (рис. 1) [4].

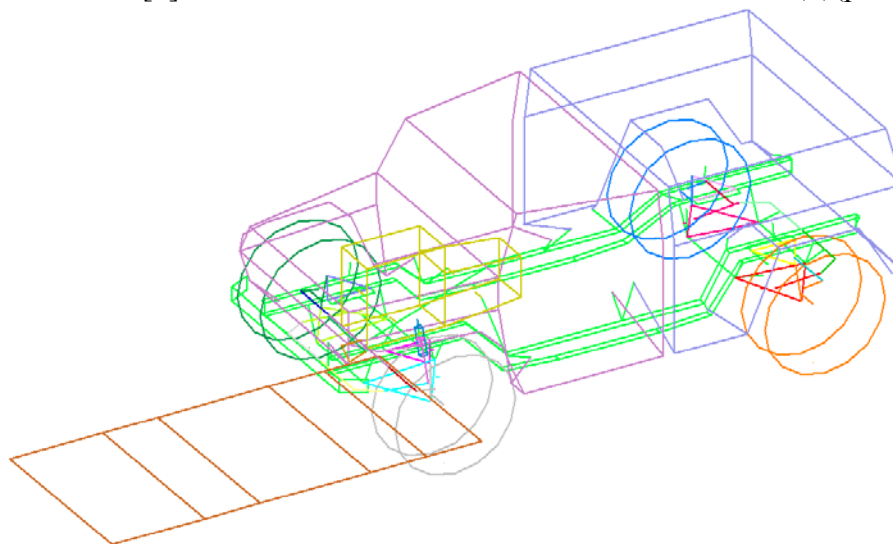


Рис. 1 – Динамическая модель автомобиля-внедорожника в ФРУНД

Динамическая модель использовалась для определения спектров нагружения рамы в точках крепления агрегатов и узлов при расчете прямолинейного движения автомобиля со скоростью 45 км/ч по асфальтовой, ровной булыжниковой и булыжниковой дорогам с выбоинами и буграми. Наибольшую опасность с точки зрения появления усталостных дефектов представляет эксплуатация по булыжниковой дороге

с выбоинами. Спектры нагружения рамы, вносящие наибольшее усталостное повреждение были рассмотрены в [4].

Базовые положения, лежащие в основе расчета спектров нагружения в ФРУНД, описаны ниже. Уравнения движения произвольной системы тел в матричной форме в ФРУНД выглядят следующим образом [4]:

$$\begin{pmatrix} (M + \alpha_m D^T D) & D^T \\ D & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f(\dot{x}, x, t) + f_c' + f_k' + \alpha_m D^T h(\dot{x}, x) \\ h(\dot{x}, x) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

причем справедливы соотношения [4]:

$$\begin{cases} f_c' = -\alpha_c D^T \Delta_L, \\ f_k' = -\alpha_k D^T \dot{\Delta}_L, \\ f_m' = -\alpha_m D^T \ddot{\Delta}_L, \\ \dot{\Delta}_L = D\dot{x}, \\ \ddot{\Delta}_L = D\ddot{x} - h(\dot{x}, x), \end{cases} \quad (2)$$

где  $f_c'$  - силы, пропорциональные погрешности перемещения в связях  $\Delta_L$ ;  $f_k'$  - силы, пропорциональные погрешности скорости в связях  $\dot{\Delta}_L$ ;  $f_m'$  - силы, пропорциональные погрешности ускорений в связях  $\ddot{\Delta}_L$ ;  $\alpha_c$ ,  $\alpha_k$ ,  $\alpha_m$  - стабилизирующие коэффициенты.

В конструкциях обычно возникает многоосное напряженное состояние. При использовании для описания внешнего воздействия зависимостью компонентов тензора напряжений в опасной точке от времени в конечно-элементном расчете в SolidWorks переходят к многоосному асимметричному нагружению посредством выполнения следующих этапов [5]: 1) переход от многоосного к одноосному напряженному состоянию; 2) схематизация истории нагружения, сводящая случайное нагружение к блочному регулярному; 3) переход от асимметричного к симметричному нагружению.

Переход от многоосного к одноосному напряжению происходит по критерию Брауна-Миллера и гипотезе Мизеса [5]:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  – главные напряжения.

Схематизация случайного нагружения, приводящая его к блочному регулярному осуществляется по методу падающего дождя. Смысл его - в преобразовании последовательности пиков нагрузки в набор из определенного количества циклов, для которых легко определить среднее и амплитудное значения напряжений.

Учет влияния среднего напряжения заключается в приведении набора циклов с различными амплитудными и средними значениями напряжений к набору циклов с нулевым значением средних напряжений. Для пластичных материалов применяется коррекция по Герберу [5]:

$$\sigma_{ca} = \frac{\sigma_a}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_s}\right)^2}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{ca}$  – скорректированное напряжение;  $\sigma_a$  – амплитудное напряжение;  $\sigma_m$  – среднее напряжение;  $\sigma_g$  – предел прочности.

При прогнозировании срока службы используется правило линейного суммирования повреждений Палмгрена-Майнера [5]:

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}, \quad (5)$$

где  $D$  – накопленное повреждение;  $n_i$  – количество циклов данной амплитуды напряжения;  $N_i$  – число циклов до разрушения при нагружении с постоянной амплитудой. [5]

В результате расчета в SolidWorks была получена эпюра усталостного срока службы рамы (рис. 2).

Итак, на основании проведенных расчетов можно сделать ряд выводов:

1. Рама рассмотренного автомобиля-внедорожника является довольно сильно нагруженной, но усталостному разрушению мало подвержена;
2. Наибольшая усталостная повреждаемость характерна при эксплуатации по булыжниковой дороге с выбоинами и буграми. Усталостная долговечность рамы по пробегу составляет  $1,47 \cdot 10^6$  км при условии непрерывного прямолинейного движения по булыжнику с выбоинами и буграми на скорости 45 км/ч;
3. Места наиболее вероятного усталостного трещинообразования и разрушения – области крепления рычагов передней подвески. В меньшей степени усталости подвержены области крепления лонжеронов и III, IV, VIII, IX, X поперечин.

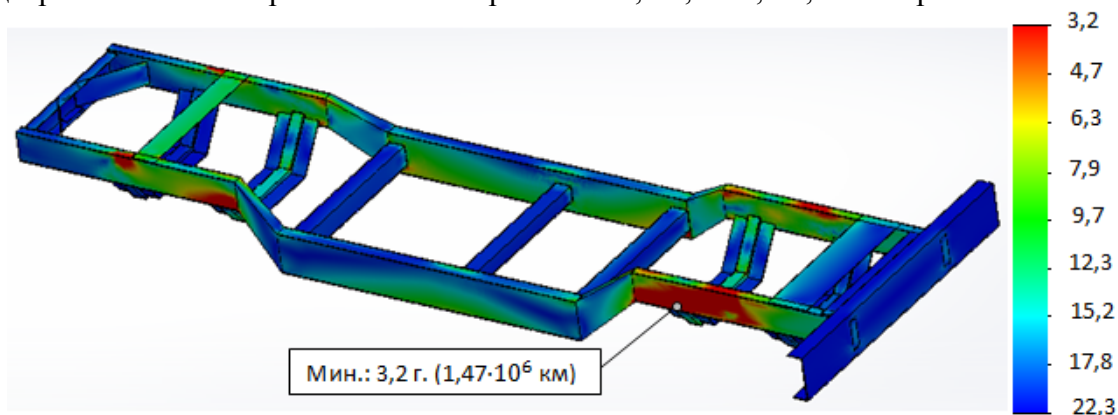


Рис. 2 – Эпюра усталостного срока службы

## Литература

1. Бочаров, Н.Ф. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости / Н.Ф. Бочаров, И.С. Цитович, А.А. Полунгян и др.; - М.: Машиностроение, 1983. – 299 с.
2. Савкин, А.Н. Методика комплексного анализа конструкции рамы внедорожника с использованием компьютерного моделирования / А.Н. Савкин, А.В. Андроник // Инновационные информационные технологии : матер. первой междунар. науч.-практ. конф. , г. Прага, 23-27 апр. 2012 г. / М., 2012. - С. 231-233.
3. Савкин, А.Н. Прочностной анализа рамы автомобиля-внедорожника / А.Н. Савкин, А.В. Андроник, А.А. Седов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: матер. междунар. науч.-практ. конф., г. Сочи, 1-10 окт. 2012 г. / М., 2012. - С. 45-51.

4. Горобцов, А.С. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей динамики конструкций автомобилей: монография / А.С. Горобцов, С.К. Карцов, А.Е. Плетнев, Ю.А. Поляков. – М.: Машиностроение, 2011. – 463 с.

5. Савкин, А.Н. Оценка прочности и усталостной долговечности конструктивных элементов автомобиля / Савкин А.Н., Горобцов А.С., Андроник А.В. // САПР и графика. - 2012. - №8. – С. 93-96.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СИЛОВУЮ КОНСТРУКЦИЮ АВТОМОБИЛЯ В ЗАДАЧЕ ЯВНОЙ ДИНАМИКИ**

Савкин А.Н., Андроник А.В., Суханов М.А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Выполнен расчет фронтального ударного воздействия рамы транспортного средства в рамках задачи явной динамики в Abaqus и SolidWorks, определены опасные места конструкции, напряженно-деформированное состояние при различных скоростях столкновения.

### **The automobile heavy-duty construction impact simulation in the explicit dynamic problem. Savkin A.N., Andronik A.V., Sukhanov M.A.**

Transport frame frontal impact analysis was completed in explicit dynamics problem formulation, dangerous areas of construction, stress-strain behavior were calculated in case of various shock velocities.

В виртуальном моделировании модели автомобилей часто подвергают воздействию ударной нагрузки, имитирующей столкновение с препятствием. Обычно такой расчет проводят для вычисления смещений, деформаций, повреждаемости элементов автомобиля, а также ускорений, действующих на водителя и пассажиров в целях обеспечения пассивной безопасности [1]. Однако, моделирование удара интересно и с позиции обеспечения надежности, определения напряжений.

У автомобилей с несущей рамой, как правило, жесткость рамы на лобовой удар составляет 60-80 % от суммарной жесткости автомобиля. В связи с этим наибольшие напряжения, возникающие при ударном воздействии, будет испытывать рама [2, 3]. Характер деформирования рамы и ее повреждаемость также хорошо описывает способность автомобиля сопротивляться удару. Поэтому в рамках осуществления комплексного анализа конструкции [4] был выполнен расчет ударного воздействия рамы автомобиля-внедорожника (рис. 1).

Для расчета использовались два режима нагружения: о жесткое и о податливое препятствия. Был избран лобовой удар с полным перекрытием из-за простоты задания расчетной схемы, а также в связи с тем, что при эксплуатации внедорожник может подвергаться лобовому удару при переезде препятствий, выталкивании автомобилей, в случае дорожно-транспортного происшествия. При анализе удара о жесткое и податливое тела начальная скорость столкновения первоначально была задана 64 км/ч в соответствии с ГОСТ 41.94-99 [5], описывающим проведение испытаний на лобовое столкновение автомобилей. Характеристики модели препятствия соответствуют с ГОСТ 41.94-99. Препятствие состоит из двух ячеистых блоков сотовой структуры – основного и бамперного элементов, изготовленных из алюминия 3003, которые моделировались как отдельные податливые тела при расчете в Abaqus.

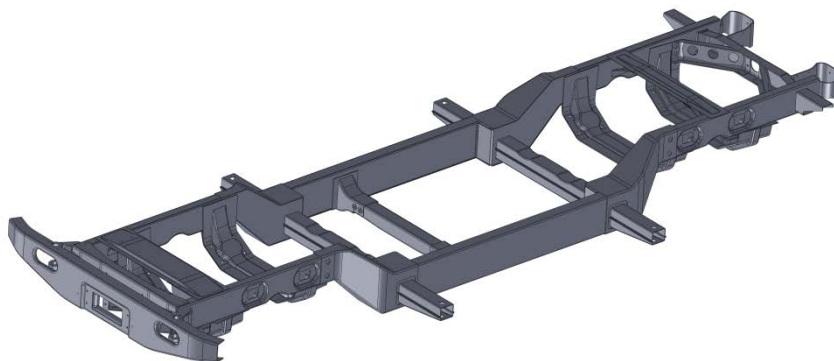


Рис. 1 - Расчетная рама автомобиля-внедорожника

Для расчета в SolidWorks использовались режимы удара о жесткое и податливое препятствие, однако препятствие моделировалось не как отдельные тела, а с помощью приведенной жесткости. Определение приведенной жесткости препятствия описано в [6], она составила  $8,3 \cdot 10^5 \frac{H}{m}$ .

В расчетах были приложены статические граничные условия в виде ограничений перемещений и вращений в вершинах грани основного бамперного элемента, противоположной грани крепления бамперного элемента. Элементы препятствия соединены между собой контактным условием “связанные”, для элементов рамы допускается отделение элементов друг от друга при напряжениях более 125 МПа. Вес агрегатов, узлов и деталей, крепящихся к раме, не учитывался. Начальные условия в расчете заключались в задании всем узлам модели рамы начальной скорости движения по направлению, перпендикулярному к препятствию. Начальная скорость варьировалась (см. таблицу 1) для определения значения, не вызывающего пластических деформаций рамы.

Таблица 1. Наибольшие напряжения, выявленные в различных расчетах ударного воздействия, МПа

Вид расчета Скорость удара	Удар о жесткое препятствие	Удар о податливое препятствие (приведенная жесткость)	Удар о податливое препятствие (подробное моделирование)
64 км/ч	514	485	464
50 км/ч	429	404	387
36 км/ч	301	283	271

На рис. 2 приведена карта напряжений в SolidWorks, возникающих в момент проявления наибольших напряжений в раме при ударе о жесткое препятствие на скорости 64 км/ч. На рис. 3 приведена карта напряжений в Abaqus, возникающих в момент проявления наибольших напряжений в раме при ударе о подробно смоделированное препятствие на скорости 50 км/ч. Очевидно, в результате удара даже на скорости 50 км/ч бамперный элемент разрушился полностью, а основной элемент препятствия сильно поврежден. Произошел частичный отрыв I и II поперечин от лонжеронов, III и IV поперечины также довольно сильно нагружены, передний бампер заметно деформирован. Значительные величины напряжений имеют место быть на лонжеронах около III и IV поперечины, но наибольшие, полученные в расчете, имеют место быть в области перехода от передней к средней части лонжерона и достигают 387

МПа, что практически соответствует пределу текучести материала лонжерона (сталь 15 ГЮТ,  $\sigma_m = 390$  МПа). Эту скорость следует считать предельной, не вызывающей пластические деформации в описанных условиях расчета. Увеличение скорости удара ведет к повышению уровня напряжений.

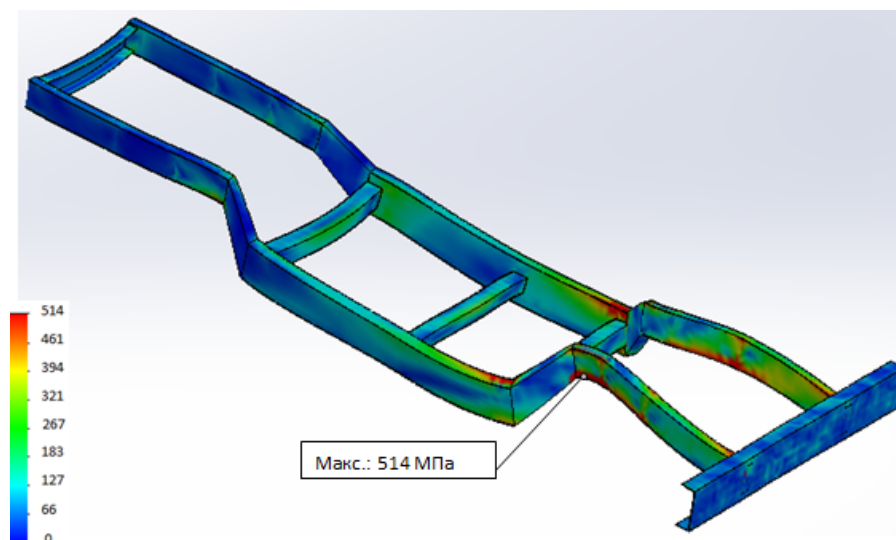


Рис. 2 – Карта напряжений при лобовом ударе рамы о жесткое препятствие при начальной скорости удара 20 м/с (SolidWorks)

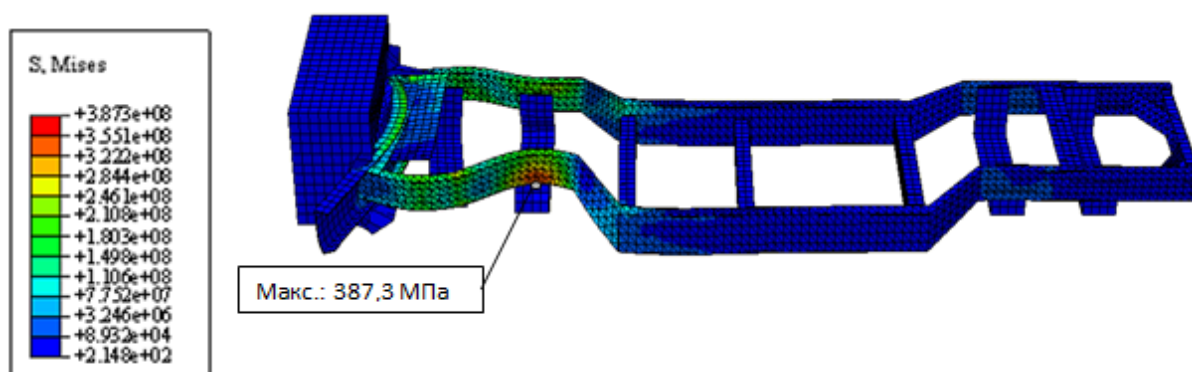


Рис. 3 – Карта напряжений при лобовом ударе рамы о податливое препятствие при начальной скорости удара 14 м/с (Abaqus)

Итак, на основании вышеприведенного возможно сделать следующие выводы:

1. Скорость фронтального столкновения рамы с препятствием, не вызывающая появление пластических деформаций составляет 50 км/ч (14 м/с);
2. При лобовом ударном воздействии наибольшие напряжения возникают в области перехода между передней частью лонжерона и средней;
3. При изготовлении рамы автомобиля-внедорожника следует особое внимание уделить качеству креплений I-IV поперечин к лонжеронам;
4. Разница между наибольшими напряжениями, вычисленными при ударах рамы о жесткое и о податливое препятствие приведенной жесткости составляет около 6 %. Разница между наибольшими напряжениями, полученными при ударе о податливое препятствие приведенной жесткости и о подробно смоделированное – около 5 %. С уменьшением скорости столкновения уровень напряжения значительно снижается;



5. Алгоритм решения нелинейной задачи явной динамики достаточно прост, но в силу большой размерности реальных задач, использует значительные вычислительные ресурсы.

### Литература

1. Модель для экспертной оценки дорожно-транспортных происшествий / Комаров Ю.Я., Волчков В.М., Лемешкин А.В., Федотов В.Н. // Вестник транспорта. - 2008. - № 9. - С. 37-39.
2. Бочаров, Н.Ф. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости. Расчет агрегатов и систем / Н.Ф. Бочаров, Л.Ф. Жеглов, В.Н. Зузов и др. // М.: Машиностроение. - 1994. - 402 с.
3. Горобцов А. С. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей динамики конструкций автомобилей: монография / Горобцов А. С., Карцов С. К., Плетнев А. Н., Поляков Ю. А. // М.: Машиностроение, 2011. – 463 с.
4. Савкин А. Н., Андоник А. В. Методика комплексного анализа конструкции рамы внедорожника с использованием компьютерного моделирования // Инновационные информационные технологии: матер. первой междунар. науч.-практ. конф., г. Прага, 2012 г. / Моск. гос. ин-т электроники и математики (МИЭМ). - М., 2012. - С. 231-233.
5. ГОСТ Р 41.94-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты водителя и пассажиров в случае лобового столкновения. - М.: Издательство стандартов, 2001. - 42 с. 9.
6. Савкин, А.Н. Оценка прочности и усталостной долговечности конструктивных элементов автомобиля / Савкин А.Н., Горобцов А.С., Андоник А.В. // САПР и графика. - 2012. - №8. – С. 93-96.

## ОБ ОЦЕНКЕ РЕЛАКСАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ

Савкин А.Н.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Проведена оценка релаксационной стойкости резьбовых элементов из титанового сплава ВТ-6. Введены параметры, определяющие релаксационную стойкость элементов. Показано, что наибольший вклад в релаксацию напряжений дает рабочая резьба.

### **Relaxation of evaluation of resistance threaded element alloy at variable loading. Savkin A.N.**

The estimation of the relaxation strength of threaded elements of titanium alloy VT-6. Introduced the parameters that determine the relaxation resistance elements. Shown that the greatest contribution to the stress-relaxation provides a working thread.

Резьбовые элементы в конструкции являются ответственными деталями, от которых может зависеть надежность всей высоко-нагруженной конструкции, особенно если она испытывает переменные нагрузки. Поэтому изучению релаксационной стойкости и усталостной прочности таких элементов уделяется большое внимание [1-3].

Испытанию подвергли цилиндрические образцы с гладкой рабочей частью для исследования релаксационных свойств материала, с резьбовой рабочей частью для

определения релаксации напряжений в свободной резьбе и резьбовое соединение гайка-шайба для исследования релаксации

в рабочей резьбе. Исследуемая резьба была М10×1.5, радиус скругления которой во впадине резьбы был 0.15...0.17мм. Теоретический коэффициент напряжений в рабочей части резьбы равен:  $K_{mp} = 5.96$ , в свободной  $K_{m.c} = 3.05$ . Средние начальные напряжения принимали равными: 0.5, 0.7, 0.9 от предела текучести материала  $\sigma_{0.2}$ . Образцы изготавливались из сплава ВТ-6.

Характерные кривые релаксации напряжений для упомянутых трех типов элементов приведены на рис.1. На всех кривых можно выделить стадию стабилизации, аппроксимируемой прямой линией и описываемой уравнением (1).

Кривую релаксации напряжений в зависимости от текущего числа циклов  $n_i$  можно описать уравнением

$$\sigma_{mi} = (\sigma_{m0} - \Delta\sigma_m) - \alpha_p \lg n_i \quad (1)$$

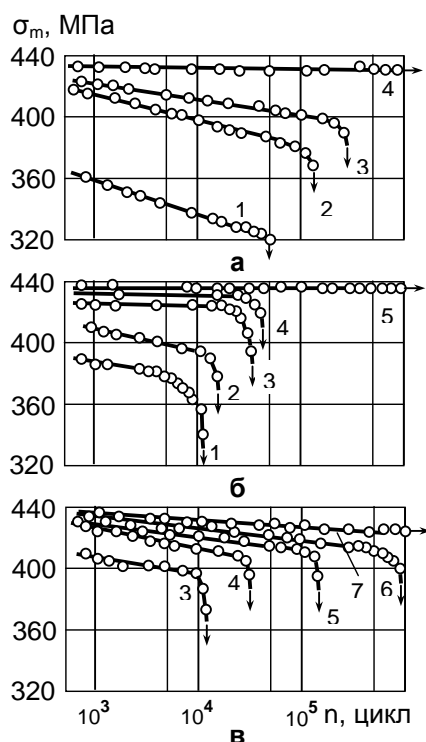


Рис.1. Кривые релаксации напряжений для гладких (а) резьбовых (б) и резьбовых соединений (в) при  $\sigma_{m0} = 0,7\sigma_{0,2}$  с различной амплитудой циклического напряжения

$\sigma_a$ : 1 -  $\sigma_a = 200\text{МПа}$ ; 2 -  $\sigma_a = 150\text{МПа}$ ; 3 -  $\sigma_a = 125\text{МПа}$ ; 4 -  $\sigma_a = 75\text{МПа}$ ; 6 -  $\sigma_a = 50\text{МПа}$ ; 7 -  $\sigma_a = 0$

где  $\sigma_{mi}$ ,  $n_i$  - текущее значение среднего напряжения и числа циклов нагружения;  $\Delta\sigma_m$  - мгновенное падение напряжения;  $\alpha_p$  - параметр, характеризующий интенсивность релаксационного процесса, определяемого из уравнения (2)

$$\alpha_p = \frac{\sigma_{mi} - \sigma_{mi+1}}{\lg n_{i+1} - \lg n_i} \quad (2)$$

и равен величине падения напряжений, приходящийся на один порядок наработки числа циклов на стадии стабилизации. Если испытания проводятся при напряжениях, превышающих предел выносливости материала  $\sigma_R$ , то стабилизированная стадия переходит в стадию интенсивного падения напряжения вследствие подрастания усталостной трещины и заканчивается разрушением образца.

На интенсивность релаксационного процесса при циклическом нагружении наиболее существенное влияние оказывает циклическая и статистическая составляющая цикла напряжения, а также соотношение между ними. Изменение параметра  $\alpha_p$  (рис.2) аппроксимируется линейной зависимостью в полулогарифмических координатах  $\alpha_p - \lg \sigma_a$ . При снижении амплитуды напряжения  $\sigma_a$  уменьшается интенсивность релаксационного процесса (причем эта закономерность ярче выражена в случае малых значений среднего напряжения  $\sigma_{m0}$ ) и при некоторых значениях  $\sigma_a$  параметр  $\alpha$  может стать равным нулю.

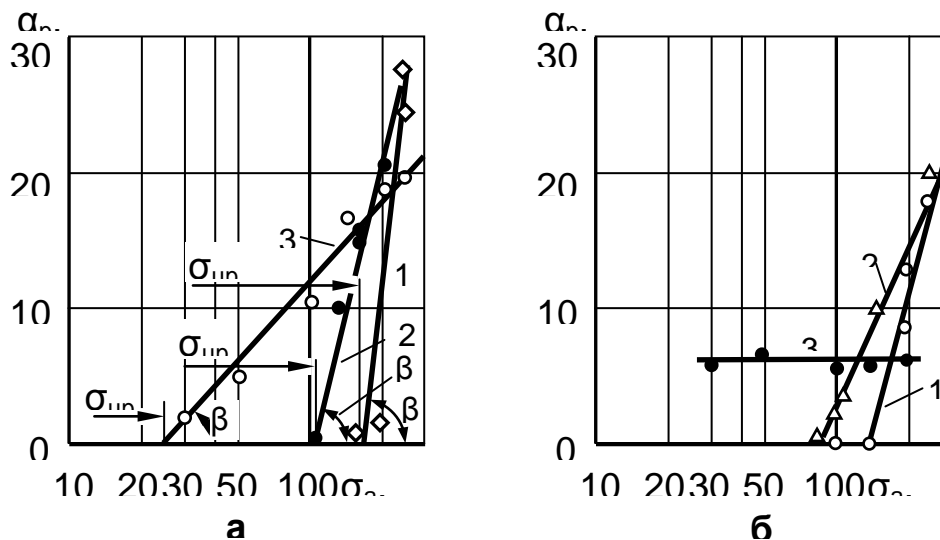


Рис.2. Изменение параметра  $\alpha_p$ , характеризующего интенсивность релаксационного процесса для гладких (а) и резбовых (б) образцов, в зависимости от амплитуды циклического напряжения  $\sigma_a$  при средних напряжениях  $\sigma_{m0}$ , равных  $0,5\sigma_{0,2}$  (кривая 1);  $0,7\sigma_{0,2}$  (кривая 2);  $0,9\sigma_{0,2}$  (кривая 3).

Наибольшая амплитуда циклического напряжения  $\sigma_a$ , при которой релаксационный процесс на стабилизированной стадии на базе испытания не протекает, принята за величину условного технического предела релаксации напряжений  $\sigma_{ц.р}$ . Для определения условного предела релаксации напряжений экспериментально полученная зависимость  $\alpha_p = \alpha_p(\sigma_a)$  экстраполировалась до значения  $\alpha_p = 0$ . Экспериментальная проверка этого значения  $\sigma_{ц.р}$  испытанием материала при напряжениях  $\sigma_a = \sigma_{ц.р}$  показала хорошую достоверность полученных результатов.

Условный предел релаксации напряжений является, в свою очередь, функцией среднего напряжения цикла и уменьшается с возрастанием последнего. Эта связь, вытекающая из графика на рис.3 может быть описана уравнением

$$\sigma_{ц.р} = \sigma_{a.n} \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_{m_0}}{\sigma_p} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Значения  $\sigma_{a.n}$  и  $\sigma_p$  можно определить исходя из следующих рассуждений. Если  $\sigma_{m_0} = \sigma_p$ , то  $\sigma_{ц.р} = 0$ ; следовательно, величина  $\sigma_p$  есть такое среднее напряжение, превышение которого приведет к выделению в материале остаточной деформации даже при амплитудном напряжении  $\sigma_a = \sigma_{ц.р} = 0$ . Таким образом,  $\sigma_p$  можно трактовать как статический предел релаксации напряжений. Если в формуле (3) принять  $\sigma_{m_0} = 0$ , то получим  $\sigma_{ц.р} = \sigma_{a.n}$ , т.е. предельное значение амплитуды напряжений  $\sigma_{a.n}$  равно пределу релаксации при симметричном цикле напряжений. В отличие от одностороннего цикла нагружения при симметричном цикле не выделяется односторонне накапливаемая деформация. Она может возникать только в полупереме растяжения или сжатия в виде петли механического гистерезиса. Минимальную амплитуду циклического напряжения, при которой в материале при симметричном цикле нагружения развиваются микропластические деформации, можно связать с пределом выносливости материала  $\sigma_R$  или циклическим пределом пропорциональности  $\sigma_{н.ц}^H$ .

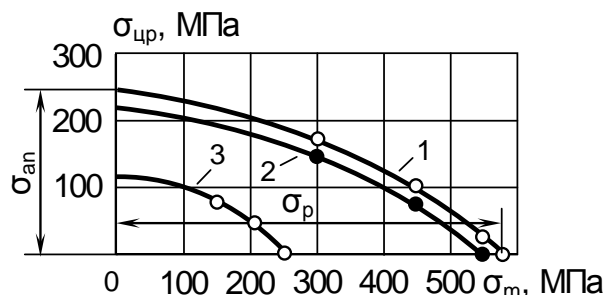


Рис.3. Изменение условного предела релаксации напряжений  $\sigma_{ц.р}$  для гладких (1), резьбовых (2) образцов и резьбового соединения (3) в зависимости от статической составляющей напряжения  $\sigma_{m_0}$

Наличие концентрации напряжений, которая имеет место в резьбовых соединениях, не вносит существенных изменений в характер релаксационного процесса при циклическом нагружении (рис.1). Поэтому процесс циклической релаксации напряжений для образцов с резьбой, а также для резьбового соединения описывается на установившемся участке тем же уравнением (1), что и для гладких образцов.

Изменение параметра  $\alpha_p$  для различных конструктивных элементов резьбового соединения показывает (рис.3), что релаксационные процессы начинают развиваться в первую очередь в рабочей резьбе (кривая 3), где даже при  $\sigma_a = 0$ , во впадине рабочей резьбы образуется зона пластической деформации. Для исследованного сплава при среднем напряжении  $\sigma_{m_0} = 0,7\sigma_{0,2}$  в рабочей резьбе  $\sigma_{ц.р3} = 0$ . В свободной резьбе (кривая 2) релаксационные процессы начинаются при меньшем напряжении, чем в гладкой части ( $\sigma_{ц.р2} = 80 \text{ МПа} < \sigma_{ц.р1} = 100 \text{ МПа}$ , кривая 1).

Чтобы оценить удельный вклад различных конструктивных элементов в интенсивность релаксации напряжений, надо исключить влияние абсолютных размеров рабочей части образца и рассматривать релаксационную стойкость образца (гладкого или резьбового), отнесенную к длине, равной, например, шагу нарезанной резьбы. Для этого умножим полученные значения на величину  $S/l_p$ , где  $S$  - шаг резьбы, а  $l_p$  - длина рабочего участка, на котором исследуется процесс релаксации напряжений. Длина рабочей части резьбового соединения  $l_p = 2H$ , где  $H$  - высота гайки.

Как показали расчеты, в рабочем диапазоне циклических нагрузок  $\sigma_a = 0 \dots 100 \text{ МПа}$  наибольший удельный вклад в релаксацию напряжений дает рабочая резьба. (рис.4б, кривая 3). Определенный вклад в процесс релаксации напряжений резьбового соединения могут вносить и процессы пластического смятия в резьбе от действия контактных напряжений на витках рабочей резьбы и опорных поверхностей гайки, но оценку вклада того и другого процессов, как выходящую за рамки настоящего исследования, не проводили.

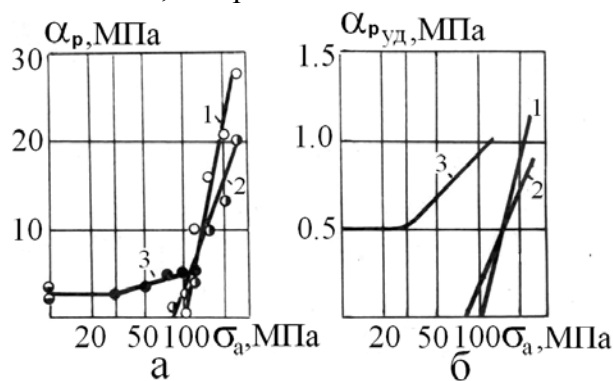


Рис.4. Изменение параметров  $\alpha_p$  (а) и  $\alpha_{p \text{ уд}}$  (б), характеризующих соответственно интенсивность и удельную интенсивность релаксационного процесса, в зависимости от амплитуды напряжения  $\sigma_a$  при  $\sigma_{m0} = 0,7 \sigma_{0,2}$ : 1- гладкие образцы; 2 – свободная резьба; 3 – рабочая резьба.

Влияние концентрации напряжений на релаксационную стойкость сплава учитывают с помощью эффективного коэффициента концентрации напряжений  $K_\sigma$ , величина которого зависит от многих факторов, в том числе от основных конструктивных параметров резьбы, материала деталей, технологии изготовления и т.п. В резьбовой части стержня болта (шпильки) осевые растягивающие напряжения неравномерно распределены по площади поперечного сечения. Наибольшая их концентрация отмечается в вершине впадины резьбы. Наряду с осевыми растягивающими напряжениями в резьбе действуют растягивающие напряжения в поперечном направлении, образуя объемное напряженное состояние. Поэтому уже при относительно небольших значениях среднего напряжения -  $\sigma_{m0} = (0,1 \dots 0,2) \sigma_{0,2}$  - напряжения у поверхностных слоев металла во впадине, у наиболее нагруженных витков резьбы болта достигают предела текучести. В результате в поверхностных слоях возникает пластическая деформация, а дальнейшее увеличение нагрузки не может существенно повысить напряжения в наиболее нагруженной области. Объемность напряженного состояния затрудняет развитие пластических деформаций. Поэтому

эффективный коэффициент концентрации напряжений  $K_\sigma$  может существенно отличаться от теоретического  $K_T$ .

Эффективный коэффициент концентрации напряжений можно оценить по изменению предельной амплитуды для материала ( $\sigma_{a.n}$ ) и резьбы ( $\sigma'_{a.n}$ ):

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{a.n}}{\sigma'_{a.n}} \quad (4)$$

Тогда условный предел циклической релаксации напряжений с учетом эффективного коэффициента концентрации напряжений в резьбе будет равен

$$\sigma_{ц.р} = \frac{\sigma_{a.n}}{K_\sigma} \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_m}{\sigma_p} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Естественно, эта формула имеет смысл при  $K_\sigma \cdot \sigma_m \geq \sigma_p$ .

Таким образом, изучение релаксационной стойкости резьбовых элементов показала, что наибольший вклад в релаксацию напряжений при различных значениях затяжки (среднем напряжении) оказывает рабочая резьба, как наиболее нагруженный элемент в резьбовом соединении. Наиболее благоприятное значение затяжки для исследуемого материала составляет отношение среднего напряжения равного 0.7 от предела текучести.

### Литература

1. Оценка релаксационной стойкости и усталостной прочности сплавов при различном силовом и температурном воздействии / А. Н. Савкин, О. П. Лукьянов, О. В. Кондратьев, К. Д. Хромушкин // Проблемы прочности. – 1985. – № 6. – С. 18-22.
2. Релаксационная стойкость и усталостная прочность резьбовых элементов из сплава ВТ-6 при циклическом нагружении / А. Н. Савкин, О. В. Кондратьев, О. П. Лукьянов, К. Д. Хромушкин // Проблемы прочности. – 1986. – № 1. – С. 35-39.
3. Савкин А.Н. Оценка надежности резьбового соединения при переменном нагружении./А.Н. Савкин //Проблемы машиностроения и надежность машин, 2007, № 4, С. 40-45.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ РОСТА ТРЕЩИНЫ В КОНСТРУКТИВНОМ ЭЛЕМЕНТЕ ПРИ СЛУЧАЙНОМ НАГРУЖЕНИИ

Савкин А.Н., Сирوماхин А.В., Суханов М.А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена возможность оценки долговечности конструктивного элемента с дефектом в виде трещины на основе моделирования её роста при различных спектрах случайного нагружения.

#### **Modelling kinetics of crack growth in structural component under random loading. Savkin A.N., Siromakhin A.V., Sukhanov M.A.**

The possibility of evaluation of durability of structural component with a defect in the form of cracks based on the modeling of growth in different random loading spectra considered.

Исследование закономерностей кинетики усталостных трещин является одной из ключевых проблем обеспечения конструкционной прочности, роль которой возрастает с увеличением напряжённости современных конструкций, повышением характеристик прочности конструкционных материалов и переходом к эксплуатации по допустимым повреждениям. Основой такого подхода является надёжное прогнозирование роста усталостных трещин. В настоящей работе была исследована долговечность конструктивного элемента (проушины) стойки самолёта с дефектом в виде трещины, основные механические характеристики, параметры трещиностойкости использованы из литературного источника [1].

Материал проушины – сталь 30ХГСА. В таблице 1 показаны параметры трещиностойкости конструктивного элемента при стационарном циклическом нагружении.

Исходные данные по трещиностойкости исследуемого конструктивного элемента по [1]:

Таблица 1

Пороговый и критический коэффициент интенсивности напряжений		Параметры кривой Пэриса	
$\Delta K_{th} (МПа\sqrt{м})$	$\Delta K_{fc} (МПа\sqrt{м})$	$C$	$n$
8	54,5	$3,38 \cdot 10^{-8}$	2,58

Исследование долговечности развития трещины на стабилизированном участке диаграммы усталостного разрушения (КДУР) проводили на основании уравнения Пэриса:

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^n, \quad (1)$$

где  $C$ ,  $n$  – постоянные материала;  $\Delta K$  – размах коэффициента интенсивности напряжений, определяемый по формуле

$$\Delta K = \sigma_a \sqrt{\pi a} \cdot \gamma, \quad (2)$$

$\sigma_a$  – амплитуда циклического напряжения;  $\gamma = f\left(\frac{a}{W}\right)$  – геометрический параметр, описывающий форму концентратора напряжений конструктивного элемента. Отсюда долговечность определяется как

$$N = \int_{a_0}^{a_{кр}} \frac{da}{C \Delta K^n} \quad (3)$$

Моделирование кинетики роста трещины проводилось на основании программирования в Mathcad по принципу цикл за циклом при различных видах блочного и случайного нагружения.

Внешнее воздействие на конструктивный элемент было представлено стационарным циклическим нагружением, ступенчатой блочной нагрузкой, случайными спектрами нагружения. Все блочные нагрузки и спектры нагружения были нормализованы, максимальная амплитуда напряжений составила  $\sigma_{a \max} = 178 МПа$ . Различие спектров и блоков нагружения между собой оценивали полнотой спектра или блока нагружения по формуле

$$V = \left[ \frac{1}{v_{\sigma}} \left[ \sum_{i=1}^r \frac{1}{v_{ai}} \left( \frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a \max}} \right)^m \right] \right]^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

где  $v_{\sigma}$ ,  $v_{ai}$  - продолжительность в циклах блока и  $i$ -ой ступени нагружения;  $r$  - количество ступеней нагружения. Для случайного спектра продолжительностью  $v_{\sigma}$  принимали  $v_{ai}$  равное 1, а  $r$  равное  $V_{\sigma}$ .  $m$  - параметр, оценивающий наклон кривой выносливости при её описании в двойных логарифмических координатах ( $\lg \sigma_a - \lg N$ ).

Были использованы следующие спектры нагружения [2]: *MFS* - miniFalstaff, спектр при маневрировании боевого истребителя; *MTW* - miniTwist, спектр нагружения транспортного самолёта; *SAESUS* - обобщённый спектр нагружения передней подвески легкового автомобиля; *SAEBRACKET* - спектр нагружения тормозного механизма автомобиля; *CY* - спектр нагружения передней подвески автомобиля внедорожника.

В работе [3] была показана взаимосвязь долговечности работы материалов при случайном и ступенчатом нагружении от характера внешнего воздействия, определяемого полнотой спектра нагружения. Представляет интерес оценить такую зависимость и на этапе роста усталостной трещины. Был проведён расчёт продолжительности роста трещины конструктивного элемента от трещины равной 1мм до её критического значения  $a_{кр} = 3,5\text{мм}$  по формуле и на основе моделирования в Mathcad цикл за циклом по различным программам нагружения.

$$N_{\Sigma} = \frac{10^{C + [(1+C) \log n(1-V)]}}{\left( \frac{K_{fc}}{K_{th}} \right)^n}, \quad (5)$$

где  $C = 5,6$  - постоянная материала.

Результаты расчёта и моделирования продолжительности роста трещины по различным программам показаны в таблице 2.

Продолжительность роста трещины конструктивного элемента по различным программам.

Таблица 2

	0	1	2	3
0	"стационар"	1	$3.53 \cdot 10^3$	$2.749 \cdot 10^3$
1	норм распред"	0.66	$2.2 \cdot 10^4$	$3.755 \cdot 10^4$
2	"2-ступен"	0.906	$4.95 \cdot 10^3$	$5.757 \cdot 10^3$
3	"MTW "	0.618	$5.45 \cdot 10^4$	$5.133 \cdot 10^4$
4	"MFS"	0.585	$7.6 \cdot 10^4$	$6.801 \cdot 10^4$
5	"SAESUS "	0.539	$9.8 \cdot 10^4$	$9.592 \cdot 10^4$
6	"SAEBRACKET"	0.533	$5.275 \cdot 10^4$	$9.896 \cdot 10^4$
7	"CY"	0.636	$8.2 \cdot 10^4$	$4.53 \cdot 10^4$
8	"7 -ступен"	0.76	$3.1 \cdot 10^4$	$1.719 \cdot 10^4$

1 - полнота спектра или ступенчатого нагружения; 2 - моделирование продолжительности роста трещины; 3 - расчёт по предложенной формуле (5). Расчётные данные (прямая линия) и результаты моделирования кинетики роста трещины в зависимости от полноты спектра хорошо видны на рис. 4.



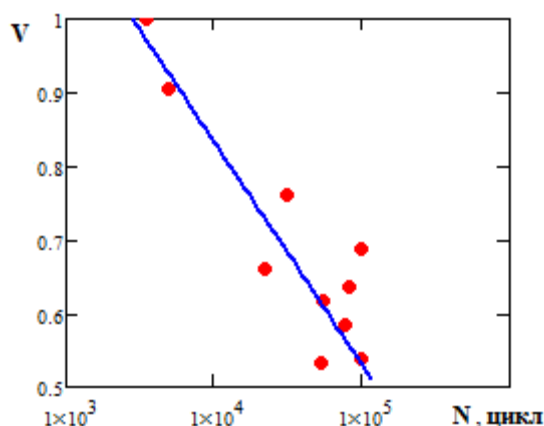


Рис. 4. Кривая продолжительности роста трещины в зависимости от полноты спектра нагружения

Таким образом, показана возможность оценки продолжительности роста трещины в зависимости от полноты спектра или блочного нагружения, что позволяет ещё на этапе проектирования технического объекта и наличия параметров и характера спектра нагружения изделия прогнозировать кинетику и продолжительность роста трещины до критических размеров.

#### Литература

1. Бойцов Б.В. Прогнозирование долговечности напряжённых конструкций: комплексное исследование шасси самолёта / Б.В. Бойцов, - М.: Машиностроение, 1985. – 232с.
2. Савкин А.Н. Стандартные спектры нагружения для различных технических объектов / А.Н. Савкин, А.А. Седов, А.В. Сиромехин, А.В. Андроник // Изв. ВолгГТУ. Серия “Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении”. Вып. 5, межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011, - №5. – С. 99-105.
3. Савкин А.Н. Моделирование рассеянной повреждённости сталей в зависимости от полноты спектра внешнего нерегулярного нагружения, аппроксимированного блочной нагрузкой / А.Н. Савкин, // Изв. ВолгГТУ, 2007, Т.9. №3, С. 235-238.

### ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ

Балакина Е.В.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Проведен анализ существующих программных продуктов, предназначенных для определения параметров основных эксплуатационных свойств автомобиля.

**The review of existing software products for definition of parameters the basic properties of the car. Balakina E.V.**

The analysis of the existing software products intended for definition of parameters of the basic operational properties of the car is lead.

Существующие тенденции сокращения сроков проектирования новых моделей автомобилей требуют создания методов аналитической оценки принимаемых конструкторских решений до воплощения их в металле. Также необходимость создания и использования расчетных адекватных программных продуктов обусловлена требованиями прогнозирования направлений развития конструкций автомобиля. В настоящее время разработано большое количество программных продуктов для решения тех или иных задач, возникающих при проектировании автомобилей и их элементов. В табл. 1 приведены краткие сведения о существующих программных средствах для использования в задачах определения параметров основных эксплуатационных свойств автомобиля.

Таблица 1

Краткие сведения о существующих программных средствах для использования в задачах определения параметров основных эксплуатационных свойств автомобиля

Наименование программного продукта	Автор(ы)	Назначение	Примечания и ограничения по применению
«Полигон» (программа) (Беларусь)	Иванов В. Г. и др.	Моделирование систем активной безопасности	Рассматривается торможение одиночного колеса, торможение автомобиля с АБС или без нее. Учитывается влияние боковых сил на процессы в пятне контакта. Используется условная характеристика – коэффициент бокового скольжения колеса.
«Курс» (программа) (Россия)	Додонов Б.М., Русаков В.З., Карпов В.В.	Расчет показателей динамики управляемого криволинейного движения АТС	Содержит программные модули: «маневр», «траектория», «руль». Траектория определяется по проекции на опорную плоскость середины передней оси автомобиля. Зазоры в цепи пар износа управляемые колеса - рулевое колесо не учитываются. Отсутствует описание зависимости коэффициента сцепления от различных факторов.
«ФРУНД» (ППП с модификациями) (Россия)	Горобцов А.С.	Исследование колебательных процессов автомобиля.	Подробно рассматриваются физические и геометрические характеристики подвески, рулевого управления. Учитываются параметры неровностей дороги. Принимается, что коэффициенты сцепления в продольном и поперечном направлениях равны и постоянны. Контакт шины с дорогой – точечный.
«ADAMS, «DADS» (ППП) (США)	–	Создание, исследования и доводка сложных технических	Вследствие универсальности комплексов присутствуют упрощенные описания явлений, что приводит к получению некоторых результатов, не представляющих реальный практический интерес.

		систем	
«Auto-NMT» (САПР АТС) (Беларусь)	Тарасик В.П., Евсеенко И.А.	Моделирование процессов движения и оптимизация характеристик автомобиля	Содержит блоки оценки скоростных свойств, топливной экономичности, эффективности выполнения транспортной работы, оптимизации параметров трансмиссии.
«CARAT» (программа) (Германия)	R. Gnadler	Экспертные расчеты по анализу дорожно-транспортных происшествий	Рассматривается движение АТС с учетом действия внешних сил и управляющих воздействий. Управляющими воздействиями приняты: угол поворота РК, сила нажатия на тормозную педаль, степень блокировки колес (при защемлении), смещение колес в продольном и поперечном направлениях, угол поворота колес (из-за деформации подвески), изменение несущей способности шин. Учитывается деформация кузова при столкновении.
«Расејка 89» (программная модель шины) (Голландия)	Н.В. Расејка	Расчет параметров движения автомобильного колеса, снабженного эластичной шиной	Используются эмпирические зависимости для расчета реакций опорной поверхности в зависимости от увода $\delta$ и КПСК $s$ . Через систему специально подбираемых коэффициентов $K_i$ для конкретной модели шины, нормальной нагрузки колеса и угла развала по предлагаемым громоздким зависимостям можно вычислить реакции дороги. Не точно учитывается влияние боковых сил на $R_x$ .
«StabCon» (ППП с модифик.) (Россия)	Бахмутов С.В.	Комплексная оценка управляемости и устойчивости автомобиля	Рассматривается явление увода. Учитывается кинематика рулевого привода, наличие неровностей дороги. Для задания характеристик шин по боковому уводу и продольному скольжению используются представления Н.В. Расејка.
«StabAuto» (ПК с модификациями) (Россия)	Балакин Е.В.	Расчет параметров устойчивости движения АТС	Рассматриваются разные режимы движения, в том числе и с электронными системами управления движением. Колеса движутся с возможностью отрыва от поверхности дороги. Рассматриваются явления увода эластичных колес и колебаний управляемых колес. Коэффициент сцепления зависит от боковой силы.
PS-CRASH (Программа)	Steffan Datentechnik	Программа симулированной ДТП	Содержит модели: траекторий, столкновений, трейлера, водителя. Учитывается явление бокового увода. Коэффициент сцепления считается зависимым только от КПСК и изотропным. Реакции дороги определяются из КПСК и угла увода. Учитывается работа АБС.

### Литература

1. Балакина Е.В. Устойчивость движения колесных машин / Е.В. Балакина, Н.М. Зотов. – Волгоград: РПК «Политехник», 2011. – 464 с.
2. Балакина Е. В. Улучшение устойчивости движения колесной машины на основе предпроектного выбора параметров элементов шасси: монография / Е. Балакина. - Saarbrucken (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. - 467 с.

### ПЕРЕЧЕНЬ ФАКТОРОВ И ЯВЛЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Балакина Е.В., Зотов Н.М., \*Зотов В.М., Федин А.П.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, \* Волгоград, Волгоградский государственный аграрный университет*

Описаны факторы и явления, которые необходимо учитывать при компьютерном моделировании устойчивости и управляемости автомобилей.

#### **The list of factors and the phenomena used at computer modelling of stability and controllability of the car . Balakina E.V., Zotov N.M., Zotov V.M., Fedin A.P.**

Factors and the phenomena which are necessary for considering at computer modelling stability and controllability of cars are described.

Свойства управляемости и устойчивости автомобиля тесно взаимосвязаны и имеют много общих черт. Они зависят от одних и тех же параметров механизмов автомобиля – рулевого управления, подвески, шин, распределения масс между мостами и др. Различие состоит лишь в способах оценки этих свойств. Оценочные параметры устойчивости определяются без учета управляющих воздействий, а оценочные параметры управляемости – с их учетом. Оценка устойчивости и управляемости – одна из наиболее сложных задач, решаемых при исследованиях автомобиля, поскольку на нее влияют все три составляющие системы «водитель-автомобиль-дорога».

При моделировании устойчивости и управляемости автомобилей необходимо принимать во внимание следующие явления: увода эластичных колес, колебаний УК вокруг осей поворота, нарушения контакта колес с неровностями дороги, вертикальных колебаний колес, продольных колебаний колес, явление продольного перераспределения нагрузок при торможении, явление поперечного перераспределения нагрузок при действии боковых сил.

В табл. 1 приведен перечень явлений, учитываемых при компьютерном моделировании устойчивости и управляемости автомобиля и их взаимосвязь с рассматриваемыми эксплуатационными свойствами.

Таблица 1

Перечень явлений, учитываемых при компьютерном моделировании устойчивости и управляемости автомобилей и их взаимосвязь с эксплуатационными свойствами

Эксплуатационно	Явление и его взаимосвязь с эксплуатационным свойством						
	Увод	Колебания УК	Вертикальные	Продольные	Нарушение контакта колес с	Прод. перер.	Попер.

е свойст во		колебани я колес	колебани я колес	опорной поверхностью	аспре делен ие нагруз ок	перер аспре делен ие нагруз ок
Устой чивос ть и управ ляемо сть	Непосредственн ое влияние на линейное отклонение автомобиля от траектории	Влияние через отрыв колес от дороги и через величины вертикальных и, соответственно, продольных реакций опорной поверхности		Наличие реакций опорной поверхности при наличии контакта колес с дорогой или их отсутствие при отсутствии контакта определяет параметры увода и колебаний УК	Нормальные реакции опорной поверхности влияют: 1. на параметры увода через длину пятна контакта; 2. на явление отрыва колес от дороги; 3. на параметры колебаний УК через возмущающ ие моменты	

Ниже приведен перечень основных факторов и параметров, необходимых для учета в компьютерной модели при описании указанных явлений.

Перечень основных факторов и параметров, необходимых для учета в компьютерной модели при описании указанных явлений:

- явление увода: нормальная и боковая реакции опорной поверхности, нормальная и боковая жесткости шины, радиус колеса, коэффициент продольного скольжения колеса;
- явление колебаний УК: все реакции опорной поверхности и их сносы, радиус колеса, посадочный радиус шины, углы установки колес, кинематические связи УК с рулевым приводом, жесткость РП, зазоры в РП, угловая жесткость шины, моменты инерции колес и РП;
- явление вертикальных колебаний колес: неподрессоренная масса, вертикальные жесткости упругих элементов подвески, характеристики амортизаторов в вертикальном направлении, коэффициенты сопротивления амортизаторов в вертикальном направлении;
- явление продольных колебаний колес: неподрессоренная масса, продольные жесткости упругих элементов подвески, характеристики амортизаторов в продольном направлении, коэффициенты сопротивления амортизаторов в продольном направлении;
- явление нарушения контакта колес с опорной поверхностью: текущие вертикальные координаты нижних точек колес (с учетом деформаций шин), текущие вертикальные координаты неровностей дороги;

- явление продольного перераспределения нагрузок: сила инерции при торможении, вес автомобиля, база, высота центра масс, координаты продольного расположения центра масс;

- явление поперечного перераспределения нагрузок: боковая сила, вес автомобиля, колея, высота центра масс, высота центров опрокидывания подвесок.

Отдельного внимания заслуживают параметры, связанные с упругими свойствами шин. Коэффициент нормальной жесткости шины следует учитывать при компьютерном моделировании: отрыва колес от дороги, ограничения радиальной деформации шины по условиям нагрева и износа (10..12% от высоты профиля), увода колес (для расчета длин пятен контакта). Коэффициент боковой жесткости шины следует учитывать при компьютерном моделировании: увода колес (для определения боковой деформации шины), колебаний УК (для определения бокового сноса продольной реакции опорной поверхности). Коэффициент продольной жесткости шины следует учитывать при компьютерном моделировании колебаний УК (для определения продольного сноса боковой реакции опорной поверхности). Коэффициент угловой жесткости шины следует учитывать при компьютерном моделировании колебаний УК (упругая составляющая колебаний).

### Литература

3. Балакина Е.В. Устойчивость движения колесных машин / Е.В. Балакина, Н.М. Зотов. – Волгоград: РПК «Политехник», 2011. – 464 с.

4. Балакина Е.В. Улучшение устойчивости движения колесной машины на основе предпроектного выбора параметров элементов шасси: монография / Е. Балакина. - Saarbrucken (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. - 467 с.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СИМВОЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ MAPLE 10 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО КОЛЕСА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Балакина Е.В., Зотов Н.М., \*Зотов В.М., Федин А.П.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, \*Волгоград, Волгоградский государственный аграрный университет*

Представлена оценка погрешности численных методов, реализованных как стандартные функции систем символьной математики и возможность применения таких систем (на примере Maple 10) для численного моделирования в реальном времени, в частности, процесса торможения автомобильного колеса.

**Analysis of possibilities for application system of symbolic mathematics MAPLE 10 for definition of parameters of automobile braking wheel when using integrated modeling technology. Balakina E.V., Zotov N.M., Zotov V.M., Fedin A.P.**

The estimation of accuracy of the numerical methods, implemented as the standard functions in the systems of symbolic mathematics and opportunity of application such systems (on the example of the MAPLE 10) for numerical simulation in real time, in particular, the process of braking vehicle wheels.

Системы символьной математики (ССМ) позволяют резко снизить потребность в программировании при решении математических задач. Большинство из подобных систем имеют ядро вычислений системы Maple.

Используя указанные преимущества современных ССМ нельзя забывать о наличии погрешности численного решения [1], [2]. При использовании комплексной технологии моделирования выделяют следующие показатели эффективности [3], [4]: затраты времени на расчет ЭВМ и адекватность модели исследуемому реальному процессу. Информация о величине погрешности и затратах времени отсутствует в характеристиках ССМ.

В связи с этим были определены следующие цели настоящего исследования:

1) оценить погрешность численного решения дифференциальных уравнений, которые описывают процесс торможения автомобильного колеса, с использованием стандартных функций ССМ;

2) проверить возможности применения ССМ для расчета параметров торможения автомобильного колеса в реальном времени.

Для расчетов была использована версия ССМ Waterloo Maple Inc. – Maple 10 (сборка 190196), вышедшая в мае 2005 года.

Для оценки величины погрешности была разработана методика точной оценки погрешности численного расчета параметров торможения, которая подробно представлена в [5].

При расчетах шаг интегрирования был взят равным 0,01 с., исследования проводились для начала процесса торможения длительностью 0,15 с., рассчитывались погрешности при определении значений углового, линейного ускорений и коэффициента сцепления колеса с дорогой, использованы следующие методы: 1 - метод Адамса-Моултона (прогноза и коррекции), 2 - метод Адамса-Бошфора (прогноза), 3 - метод Эйлера явный, 4 - усовершенствованный метод Эйлера, 5 - модифицированный метод Эйлера, 6 - Рунге-Кутта 2-го порядка, 7 - Рунге-Кутта 3-го порядка, 8 - Рунге-Кутта 4-го порядка.

По результатам расчетов были сделаны следующие выводы:

- погрешность расчета имеет место для всех исследуемых численных методов при расчете всех параметров торможения автомобильного колеса, на исследуемом интервале расчета значения погрешностей находятся в пределах от 5% до 190%;

- погрешность расчета для большинства методов имеет максимальные значения в начале расчета (100% - 150%), далее эти значения постепенно уменьшаются и в конце исследуемого интервала находятся в пределах от 2% до 9% (методы 1,2,3,7,8); при использовании некоторых методов зависимость погрешности расчета от времени имеет вид горба (максимальное значение погрешности на пике горба составляет 190%), то есть некоторое время от начала расчета значения погрешности увеличиваются, далее – плавно уменьшаются (методы 4,5,6);

- при использовании для расчета численных методов 7,3 имеет место неустойчивость решения, величина которой плавно уменьшается с течением времени исследуемого процесса;

- при использовании для расчета численного метода 2 также имеет место неустойчивость решения, величина которой увеличивается с течением времени исследуемого процесса, что приводит к «развалу» решения;

- при выборе оптимального численного метода необходимо ориентироваться на отдельные параметры, погрешность которых должна быть минимальна.

В настоящем исследовании также были определены затраты времени, которое необходимо ЭВМ для расчета параметров торможения автомобильного колеса и произведено сравнение этого времени с реальным временем протекания физического процесса.

Для такого расчета был использован метод Эйлера явный [1], как наиболее распространенные в инженерной практике. Также был произведен расчет с помощью метода с пересчетом – метода Гира, так как при использовании этого метода Maple 10 сам определяет: до каких пор, и с каким шагом интегрирования производить расчет, что определяет время решения задачи.

Расчеты выполнялись на ЭВМ со следующими характеристиками: Процессор – Pentium(R) 4 CPU 2,40GHz, ОЗУ – 512 МВ.

По результатам проведенных расчетов были построены зависимости время расчета ЭВМ ( $t_{эвм}$ ) и отношения ( $t_{эвм}/t_{проц}$ ) от времени процесса ( $t_{проц}$ ) (не представлены в силу ограниченности объема) из которых были сделаны следующие выводы:

- в начале расчета, как видно из зависимостей ( $t_{эвм}$ ) от ( $t_{проц}$ ), при определении исследуемого количества параметров с использованием любого численного метода и шага интегрирования требуется некоторое время (0,375 с.) для подготовки операции численного интегрирования;

- время расчета процесса торможения на начальном этапе больше времени его реального протекания, длительность такого начального этапа зависит от особенностей рассчитываемого процесса;

Сделаем некоторые выводы по результатам настоящего исследования: при применении ССМ для численного решения необходимо учитывать при составлении модели и оценке ее адекватности, следующее:

- полученное решение всегда имеет погрешность, которая зависит от особенностей решаемой задачи и способов решения;

- в отдельных случаях имеет место явление неустойчивости, которое может постепенно уменьшаться или усиливаться, приводя к «развалу» решения;

- расчеты в реальном времени с использованием ССМ можно вести только для ограниченного диапазона рассчитываемых процессов, величина которого зависит от особенностей решаемой задачи.

### Литература

1. Вержбицкий В.М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения): Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 382 с.
2. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Лаборатория Базовых знаний, 2001. – 632 с.
3. Ревин А.А. Автомобильные автоматизированные тормозные системы: техническое решение, теория, свойства: Монография / ВолгГТУ. – Волгоград: Изд-во Института Качеств, 1995. – 160 с.
4. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Наука, 1997. – 316 с.
5. Федин А.П. Обеспечение адекватности моделирования рабочих процессов элементов автомобиля при испытаниях на виртуально-физических стендах-тренажерах. – Диссертация канд. техн. наук. – Волгоград, 2006. – 239 с.



## **ВЫДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ КОНТУРОВ ГЕМОПОЭТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Наумов В.Ю., Акулов Л.Г., Авдеюк О.А., Муха Ю.П.  
*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

В работе производится выделение структурно-аналитического уравнения адапционных контуров гемопоэтической системы в рамках математического аппарата категорий и функторов, предназначенного для использования в процессе метрологического анализа биоинструментальной ИИС для гематологических измерений.

### **Allocation of structural-analytical equation adaptive circuits hematopoietic system. Naumov V.U., Akulov L.G., Muha U.P., Avdeuk O.A.**

The paper is the selection of structural and analytical equation of adaptive circuits hematopoietic system in the mathematical apparatus of categories and functors, intended for use in metrological analysis bioinstrumentalnoy MIS for hematological measurements.

При синтезе структуры и аналитическом наполнении математической модели – описании правил функционирования и параметров процесса оценки кроветворной системы организма как параметров объекта измерения и проектирования сложных специализированных информационных систем необходимо иметь адекватный математический аппарат, позволяющий:

- в полной мере решать задачи системного синтеза;
- обладать достаточным уровнем формализации процесса проектирования при построении гипотетической модели и осуществлять полную формализацию при переходе к принятой модели физического процесса;
- не ограничивать сложность структуры проектируемой системы;
- формализованно подходить к описанию информационных потоков измерительной информации, начиная с первого этапа проектирования ИС;
- осуществлять однозначное определение структуры каждой из подсистем проектируемой ИС;
- с единых позиций рассматривать преобразования разнородных объектов, входящих в состав подсистем ИС;
- производить описание многопараметрических измерительных процессов, с сохранением положительных черт операционального представления и наделения свойством структурности;
- обладать критерием полноты и единственности получаемых решений.

В соответствии с изложенным, наиболее целесообразен аппарат теории множеств и конкретно — аппарат категорий и функторов. Ранее [1, 2, 4] обосновывалась необходимость включения в информационно-измерительную систему модели объекта, как источника измеряемого сигнала, которым в нашем случае является состав периферической крови, поскольку именно при таком подходе возможна однозначная и корректная интерпретация измеряемого сигнала и объекта измерения. Навязывание структуры [3] объекту исследования позволяет проследить информационные потоки и перейти к метрологическому анализу всей БИИС.

Навязанная структура управления гемопоэтической функциональной системой [3], выстроенная в строгом соответствии с нормальной физиологией и биокибернетическим подходом Анохина-Судакова, позволяет выделить адаптивные

контуры управления [5], записать структурно-аналитические уравнения и придать им физиологический смысл.

Структурно-аналитическая запись уравнений адаптации [5] в рамках математического аппарата категорий и функторов позволяет учесть и формализовать все возникающие в процессе адаптации связи, включая глубокие обратные.

### Литература

1. Муха, Ю.П. Классификация погрешностей гематологических исследований / Ю.П. Муха, В.Ю. Наумов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 4. – С. 37 – 44.
2. Наумов В.Ю. Погрешности аналитического этапа гематологических исследований / В.Ю. Наумов // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. 4 (42) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – С. 62 – 66. (Сер. Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. Вып. 2).
3. Муха, Ю.П. Синтез категорной модели информационных потоков биоинструментальной ИИС при гематологических исследованиях / Ю.П. Муха, В.Ю. Наумов // Биомедицинские технологии и радио-электроника. – 2010. - №6. – С. 38 – 42.
4. Наумов, В.Ю. Биоинструментальная измерительная система в гематологических исследованиях / В.Ю. Наумов, Ю.П. Муха // Миллиметровые волны в биологии и медицине. - 2010. - № 4. - С. 27-32.
5. Авдеюк, О.А. Влияние внешних факторов на измерительную ситуацию в гематологических исследованиях / О.А. Авдеюк, В.Ю. Наумов, Л.Г. Акулов // Изв. ВолгГТУ. Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь». Вып. 6 :межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 6. - С. 64-68.

## МЕТОДИКА И АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КОСТНОГО РЕГЕНЕРАТА

Муха Ю.П., Русаков С.А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена возможность разработки методики и аппаратно-программного комплекса для определения текущего состояния костного регенерата при проведении операций чрескостного остеосинтеза нижних конечностей.

### **The methodic and firmware complex for estimating of bone's tissue. Mukha Y.P., Rusakov S.A.**

Developing the methodic of estimation of bone's tissue and firmware complex for its testing in the operations of transosseous osteosynthesis of the lower limbs.

Определение состояния костного регенерата в месте повреждения конечности является актуальной проблемой ортопедии, решение которой позволило бы проводить более точную диагностику состояния восстанавливаемой конечности, костного регенерата, что в свою очередь привело бы к сокращению послеоперационного периода и уменьшило количество послеоперационных осложнений. В разное время несколько групп исследователей пытались решить эту проблему, однако точность их методов не позволяла достоверно оценивать состояние костного регенерата из-за несовершенства применяемых ими методик и приборов [1]. Поэтому в лечебных учреждениях до сих пор используется рентгеновский метод контроля, при котором периодически

производятся рентгеновские исследования места повреждения, и уже основываясь на них, врач принимает решение о снятии или не снятии аппарата Илизарова. Основным недостатком этого метода является недостаточная эффективность рентгенографии для определения состояния костного регенерата. В результате трактовка снимков сильно зависит от опыта врача-ортопеда, что выливается в достаточную субъективность данного метода. Поэтому часто аппарат Илизарова снимается позже, чем надо. Так же бывают случаи раннего снятия аппарата Илизарова, когда поврежденная конечность еще не срослась. Все это приводит к осложнениям у пациентов, увеличению пребывания пациентов в стационарах, что в итоге выливается в финансовые издержки медицинских учреждений.

Целью данной работы является разработка методики оценки состояния костного регенерата в режиме реального времени и аппаратно-программного комплекса для ее испытания.

В качестве основы для аппаратной части создаваемого комплекса использован аппарат Илизарова, поскольку именно данный аппарат чаще всего применяется для жесткой фиксации поврежденной конечности. Общая методика состоит в измерении нагрузки на стержни аппарата Илизарова, что позволяет судить о состоянии костного регенерата в данный момент. Суть методики заключается в том, что по мере роста костного регенерата начинает увеличиваться его жесткость, и в определенный момент она увеличивается скачкообразно. Это явление было открыто Егоровым М.Ф. в 2003 году, однако не известно, чтобы оно нашло применение. Для оценки жесткости костного регенерата измеряется нагрузка на стержни аппарата Илизарова.

Для измерения нагрузки на аппарат Илизарова на стержнях аппарата монтируются специальные датчики. Основываясь на последних достижениях в области измерительной техники были выбраны прецизионные тензометрические датчики силы [2].

Сигналы с датчиков поступают в электронный блок, который решает следующие задачи. Прежде всего, он усиливает и отфильтровывает от помех очень слабые сигналы с датчиков, а также обеспечивает энергопитание всего комплекса. Помимо этого, в данном блоке происходит оцифровывание сигнала и передача его по беспроводному (проводному) интерфейсу на персональный компьютер (или другое устройство, поддерживающее данный интерфейс). В результате было разработана 2 варианта электронный платы. Их основное отличие в том, что первый вариант платы запитывается от аккумуляторов и использует беспроводной интерфейс Bluetooth 4 ULP для обмена данными с персональным компьютером, т.е. это более мобильный вариант. Второй вариант электронный платы запитывается напрямую от компьютера по шине USB, и обмен данными также производится по этой шине. Это более дешевый и надежный вариант, однако, менее мобильный. Принцип работы электронной составляющей комплекса состоит в следующем: сигналы с 4-х датчиков подаются на 24 битные аналого-цифровые преобразователи (ADS 1232), где эти сигналы оцифровываются и передаются на управляющий микроконтроллер (TI MSP430). Микроконтроллер собирает эти данные во внутренний буфер и передает на USB контроллер или Bluetooth контроллер. Эти контроллеры, в свою очередь, передают цифровые сигналы на персональный компьютер (по USB проводу или беспроводным способом), где уже происходит обработка данных.

Для отображения графиков нагрузки было разработано специальное программное обеспечение, которое позволяет вести базу данных пациентов и в любой момент просматривать историю нагрузки на датчики. Концептуальная схема аппаратно-программного комплекса изображен на рисунке 1.



Рисунок 1. Концептуальная схема аппаратно-программного комплекса

### Литература

1. Шевцов В.И. Аппарат Илизарова. / В.И.Шевцов, В.А.Немков, Л.В.Скляр. - Курган:Биомеханика,1995 - 347 с.
2. Современные датчики электроники: Справочник / Дж.Фрайден. - М.: Техносфера, 2006. - 567 с.
3. Аппарат для оценки степени восстановления костной ткани [Текст]: пат. 2396900 Рос. Федерация : МПК А61В5 /05/ Баринов А.С., Воробьев А.А., Муха Ю.П. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Центр антропометрической косметологии и коррекции», Волгоградский государственный технический университет; заявл. 04.04.2008; опубл. 20.08.2010, Бюл. № 28. – 1 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕНИЯ КОСТНОГО РЕГЕНЕРАТА В ПРОЦЕССЕ ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Муха Ю.П., Русаков С.А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Представлена математическая модель нагружения костного регенерата, рассчитанная на основании теории сопротивления материалов и имеющихся сведений о динамике восстановления костного регенерата. В процессе расчета модели были приняты во внимание индивидуальные особенности пациента и аппарата внешней фиксации.

### **The mathematical model of bone tissue's loading during transosseous osteosynthesis of lower limbs. Mucha Y.P., Rusakov S.A.**

The mathematical model of bone tissue's loading, calculated on the basis of strength materials theory and using research data about recovering process of bone tissue. The patient's individual characteristic and apparatus of external fixation were taken in attention during calculating the model.



Для определения формулы величины прогиба  $v$  воспользуемся уравнением изгиба металлического стержня, закрепленного на концах [2], принимая во внимание, что спица испытывает продольно-поперечный изгиб под действием распределенной нагрузки. Это уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - k^2 v = \frac{M_x^*(z)}{EJ_x}. \quad (1)$$

В данном уравнении  $M_x^*(z)$  - момент поперечной нагрузки в сечении с координатой  $z$ ,  $k^2 = \frac{P}{EJ_x}$ , где  $P$  - поперечная нагрузка,  $E$  - модуль Юнга,  $J_x$  - момент инерции спицы относительно главной центральной оси  $X$ .

Решение уравнения (1) имеет следующий вид:

$$v(z) = v(0) \operatorname{ch} kz + v'(0) \frac{\operatorname{sh} kz}{k} + \frac{1}{k} \int_0^z \operatorname{sh} k(z-\theta) \frac{M_x^*(\theta)}{EJ_x} d\theta.$$

Проводя дальнейшие математические преобразования с учетом  $v(0) = v(L) = 0$ , в итоге получим прогиб спицы на участке  $z_2 \leq z \leq L$ :

$$v(z) = \frac{q}{2P} \left( hz - \frac{2B \operatorname{sh} kz}{k^2 \operatorname{sh} kL} + \frac{h(L-z_1-z_2) \operatorname{sh} kz}{\operatorname{sh} kL} + \frac{1}{k^2} [2 \operatorname{ch} k(z-z_1) - \operatorname{ch} k(z-z_2) - k^2 h(2z-z_1-z_2)] \right). \quad (3)$$

или  $v_{\text{фикс}} = \frac{q}{P} A$ , (4) при фиксированном отсчете  $z = z_{\text{фикс}}$ . С учетом сопротивления костного регенерата формула (4) преобразуется:

$$v_{\text{фикс}} = \frac{q-f}{P} A,$$

где  $q = \frac{mg}{h}$ ,  $f = \frac{F_{\text{сопр}}}{h}$  - распределенная сила сопротивления со стороны костного регенерата,  $F_{\text{сопр}}$  - сила сопротивления костного регенерата. Так как ближе к окончанию процесса излечения костный регенерат становится упругим, то силу сопротивления можно выразить законом Гука как:

$$F_{\text{сопр}} = cx,$$

где  $c$  - жесткость костного регенерата на сжатие,  $x$  - деформация костного регенерата. Делая допущение, что прогиб спицы на конкретном участке должен быть равен деформации регенерата на этом участке, т.е.  $v_{\text{фикс}} = x$ , можно выразить жесткость костного регенерата как функцию прогиба спицы:

$$c(t) = \frac{mg}{v(t)} - \frac{Ph}{A}.$$

Величина прогиба спицы может быть получена от датчиков, которые имеются в составе аппаратно-программных комплексов (напрямую, если используются датчики микроподвижности или косвенным образом, при использовании датчиков других видов [3]).

### Литература

1. Аппарат для оценки степени восстановления костной ткани [Текст]: пат. 2396900 Рос. Федерация : МПК А61В5 /05/ Баринов А.С., Воробьев А.А., Муха Ю.П. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Центр антропометрической косметологии и

коррекции», Волгоградский государственный технический университет; заявл. 04.04.2008; опубл. 20.08.2010, Бюл. № 28. – 1 с.

2. Работнов, Ю.Н. Сопротивление материалов [Текст] / Ю.Н.Работнов - М.: Физматлит, 1962. - 452 с.

3. Фрайден, Дж. Современные датчики электроники [Текст]: справочное пособие /Дж. Фрайден. - М.: Техносфера, 2006. - 567 с. - ISBN 5-94836- 050-4.

## **ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВОДОРОДА НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАМИНАРНОГО ПЛАМЕНИ В ПРОПАН-БУТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЯХ**

Федянов Е. А., Захаров Е. А., Левин Ю. В., Гаврилов Д. С.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрены перспективы применения водорода в качестве добавок к пропан-бутану. Приведены результаты экспериментального определения влияния добавок водорода на скорость распространения пламени в бедных смесях пропан-бутана с воздухом.

### **Influence of hydrogen's additives to propane-butane-air mixture on the laminar flame velocity. Fedyanov E.A., Zakharov E.A., Levin Y.V., Gavrilov D.S.**

The perspectives of use of hydrogen as an addition to the propane-butane are considered. The results of the experimental determination of the influence of addition of hydrogen to the flame speed in lean mixtures of propane-butane in air.

Водород считают одним из перспективных топлив для автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), применение которого может способствовать, в первую очередь, решению экологических проблем. Однако, на пути создания ДВС, работающих на водороде, имеется ряд серьезных препятствий, К ним, в первую очередь, относятся: отсутствие относительно дешевых и неэнергоемких способов производства водорода, сложность его хранения на борту автотранспортного средства. В связи со сказанным, представляет интерес использование водорода в качестве малых добавок к другим видам топлива, улучшающих процесс горения.

Положительное влияние малых добавок водорода на процесс сгорания бензина подтверждено результатами ряда исследований [1, 2]. В частности, были получены количественные данные о влиянии добавок водорода на скорость сгорания бензовоздушных смесей. Для перспективных в настоящее время газовых топлив таких данных практически нет. В связи с этим проведены эксперименты, в ходе которых было изучено влияние добавок водорода на скорость распространения ламинарного пламени в пропан-бутановоздушных смесях.

Для экспериментов использована цилиндрическая камера сгорания диаметром 90 мм и длиной 115 мм. Установка с этой камерой сгорания оснащена необходимой контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратурой, а также системой для приготовления топливовоздушной смеси и удаления продуктов сгорания. С целью исключения влияния на результаты экспериментов погрешностей индивидуального дозирования топлива и воздуха, топливовоздушные смеси различного состава приготавливались в отдельных баллонах. Состав топливовоздушной смеси задавался соотношением величин парциальных давлений пропан-бутана, водорода и воздуха. Давление топливовоздушной смеси перед ее воспламенением в камере сгорания во всех случаях равнялось атмосферному.

Воспламенение топливовоздушной смеси осуществлялось искровой свечой зажигания. При этом специальная лабораторная система зажигания позволяла варьировать силу тока ( $I = 25 \dots 400$  мА) и длительность электрического разряда ( $\tau = 0,2 \dots 8$  мс).

Распространение фронта пламени по объему камеры сгорания регистрировалось с помощью двух ионизационных датчиков, сигналы которых через усилители поступали на вход цифрового запоминающего осциллографа. Значение видимой скорости  $W_b$  распространения пламени вычислялось делением разности расстояний от источника зажигания до каждого из ионизационных датчиков на разность интервалов времени между началом разряда на свече зажигания и появлением сигнала на каждом из датчиков. Такая методика исключала влияние на результат определения  $W_b$  процесса образования начального очага горения.

Нормальная скорость распространения пламени  $W_n$  вычислялась по значению видимой скорости с учетом текущего значения степени расширения продуктов горения на момент достижения фронтом пламени каждого из датчиков.

Оценка степени влияния добавок водорода на скорость распространения ламинарного пламени в пропан-бутановоздушных смесях была сделана по величине изменения нормальной скорости распространения фронта пламени при различных значениях коэффициента избытка воздуха.

На рис. 1 приведены полученные на основе опытов зависимости величины нормальной скорости  $W_n$  распространения фронта пламени в смесях пропан-бутана с добавками водорода до 5% по массе при различных значениях коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . Как видно, в смеси, близкой по составу к стехиометрической ( $\alpha=1,07$ ), добавка 5% водорода увеличивает  $W_n$  на 70%. В бедной смеси при  $\alpha=1,47$  аналогичная по массе добавка повышает нормальную скорость на 61%. При этом обращает на себя внимание практически линейная зависимость между значением  $W_n$  и величиной добавки водорода.

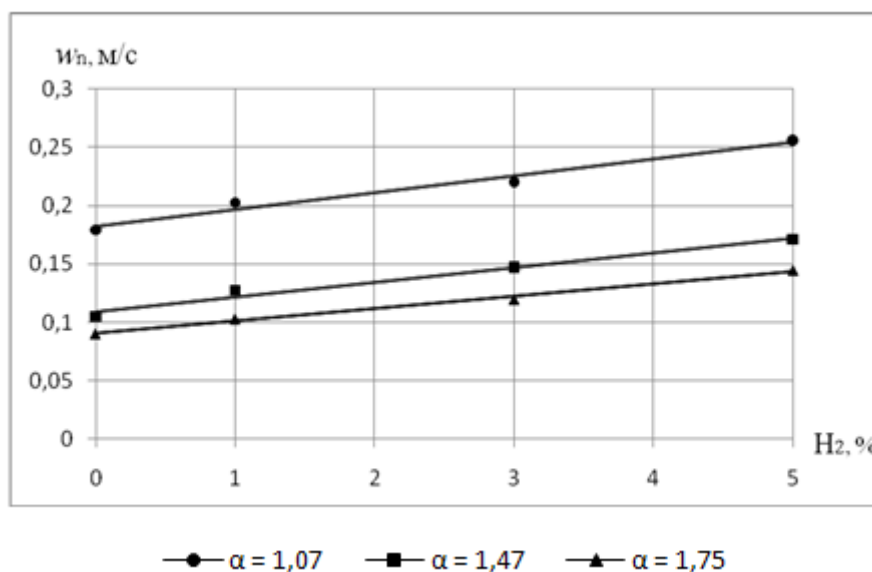


Рис. 1. Влияние добавок водорода (0...5%) на нормальную скорость сгорания пропан-бутановой смеси при различных значениях коэффициента избытка воздуха



Для того чтобы выяснить, сохраняется ли указанная выше линейная зависимость при больших значениях добавок водорода, были проведены опыты с добавками 20%, 40%, 60% водорода, а также на чистом водороде. Результаты этих экспериментов приведены на рис. 2. Показанные на этом рисунке зависимости подтверждают линейный характер зависимости нормальной скорости распространения пламени от величины добавки водорода.

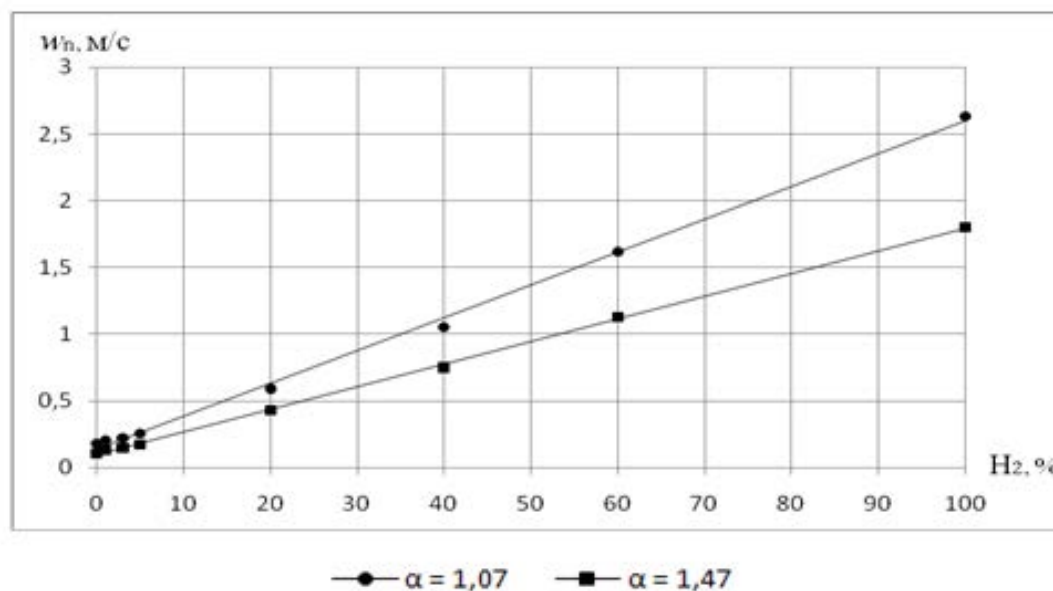


Рис. 2. Влияние добавок водорода (0...100%) на нормальную скорость сгорания пропан-бутановой смеси при различных значениях коэффициента избытка воздуха

Исходя из линейного характера полученных зависимостей, можно рекомендовать для определения нормальной скорости распространения пламени при любых добавках водорода формулу:

$$W_{nm} = W_{nC_3H_8} \cdot (1 - g_{H_2}) + W_{nH_2} \cdot g_{H_2},$$

где  $W_{nC_3H_8}$ ,  $W_{nH_2}$  – нормальные скорости пламени для пропан-бутана и чистого водорода;  $g_{H_2}$  – величина добавки водорода (по массе) к пропан-бутану.

### Литература

1. Злотин, Г.Н. Начальный очаг горения при искровом зажигании гомогенных топливовоздушных смесей в замкнутых объемах / Г.Н. Злотин, Е.А. Федянов, ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 152 с.
2. Результаты экспериментального исследования влияния различных способов подачи водорода в ДВС на его характеристики / А.Н. Афанасьев, Л.К. Бортников, П.Я. Бышев, А.И. Сорокин // Международная научно-практическая конференция. ПРОГРЕСС ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ, Волгоград, 8-11 октября 2002 г. / Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2002. – С. 143.

## СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ С РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ

Муха Ю.П., Авдеюк О.А., Королева И.Ю., Акулов Л.Г., Наумов В. Ю.  
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассматривается проблема формализации согласования имеющихся и новых пакетов программных средств, которые привлекаются для реализации процессов модификации и компенсации в технологической, мониторинговой и компенсационной подсистемах производственного комплекса.

**Measurement system to develop structures. Muha Yu.P., Avdeuk O.A., Koroleva I.Yu., Akulov L.G., Naumov V. Yu.**

This paper addresses the problem of formalizing coordination of existing and new software packages that are used for the implementation processes of modification and compensation technology, monitoring and compensation subsystems complex.

Любая сложная система, в которой реализуется некоторый технологический процесс, например, производство электрической энергии на АЭС, должна находиться в условиях динамического стазиса [1,2]. С этой целью технологическая система оснащается системой измерений (мониторинга) и системой поддержания стазиса (компенсации отклонений). В реальных условиях все названные компоненты подвержены изменениям, которые возникают по причине появления у технологической системы новых функций. Это связано с модификацией исходной системы. Кроме того, это связано с процессом старения (деградации) элементов (подсистем) исходной технологической системы. Назовем такой процесс диссипацией исходной системы. Все изменения, которые происходят или в связи с модификацией, или в связи с диссипацией, для сохранения состояния стазиса, должны сопровождаться адекватными процессами в системах мониторинга и компенсации. Таким образом, имеет место совокупность изменений информационных процессов, происходящих в информационных пространствах технологической, мониторинговой и компенсационной систем.

В настоящее время все эти системы оснащаются необходимыми вычислительными мощностями, и, значит, необходимым программным обеспечением. Однако зачастую используются не унифицированные программные средства (ПС). Это требует сложной работы по согласованию имеющихся и новых пакетов ПС, которые привлекаются для реализации процессов модификации и компенсации в технологической, мониторинговой и компенсационной подсистемах всего производственного комплекса. Кроме того, согласование должно выполняться оптимальным способом. Таким образом, рассматриваемая задача может эффективно решаться только на основе адекватной формализации.

С этой целью введем ряд определений:

**Определение 1.** Каждая система характеризуется системной функцией (СФ)[3,4,5]. СФ – это многопараметрическая функция, которая реализуется системой при условии реализации функций всех подсистем одновременно.

Системной функцией АЭС является производство электроэнергии; системной функцией системы мониторинга является измерительное наблюдение за состояниями объектов (технологических процессов), в данном случае АЭС.

В свернутом виде обе системные функции можно записать так:

$$JG \xrightarrow{SF_{AЭС}} ELENG \text{ и } IPr_{OАЭС} \xrightarrow{SF_{MON}} RS_{OАЭС}.$$

Здесь  $JG$  – ядерное топливо;  $ELENG$  – электрическая энергия;  $IP_{r_{OАЭС}}$  – информативные параметры технологических объектов АЭС;  $RS_{OАЭС}$  – шкала оценок состояния технологических объектов АЭС;  $SF_{AЭС}$  и  $SF_{MON}$  – системные функции соответственно АЭС и системы мониторинга. При этом областью определения любой  $SF_i$  является в общем случае пространство тех обобщенных объектов, которые инициируют действие  $SF_i$ :  $JG$  и  $IP_{r_{OАЭС}}$  в нашем случае.

А областью существования системной функции (любой и в нашем случае тоже) является пространство поведения системы или пространство результатов:  $ELENG$  и  $RS_{OАЭС}$  в нашем примере.  $SF_i$  по способу формализации – есть структурная конструкция, представляемая совокупностью состояний. При этом под состоянием системы целесообразно понимать значение набора информативных параметров, которые определяют все процессы в системе.

Определение 2. Система, которая является технологически открытой и допускает включение в структуру морфизмов и объектов без нарушения системной функции, называется модифицируемой.

В соответствии с [43,44]  $JG$ ,  $IP_{r_{OАЭС}}$ ,  $ELENG$ ,  $RS_{OАЭС}$  – объекты, а  $SF_{OАЭС}$  и  $SF_{MON}$  – морфизмы.

Определение 2,а: Модифицируемая система, которая допускает включение в структуру морфизмов и объектов, расширяющих исходную системную функцию, называется развивающейся.

Определение 2,в. Модифицируемая система, которая допускает включение в структуру морфизмов и объектов, сужающих исходную системную функцию, называется регрессирующей.

Определения (1 ÷ 2,в) можно использовать для формализации процесса изменений систем и прежде всего детализации такого процесса.

Составим обобщенное уравнение развития системы  $S_{MON}$  с учетом данных определений. Оно может быть записано следующим образом:

$$S_{MOD} \subset \{S_{ИСХ} \Delta S_{ИСХ}^{ДП} \Delta S_{ИСХ}^{КД} \Delta VAR(S_{ИСХ}) \Delta VAR(S_{ИСХ})^{ДП} \Delta VAR(S_{ИСХ})^{КД}\} \quad (1)$$

где  $S_{ИСХ}$  – структура системы, адекватная исходной системной функции;

$S_{ИСХ}^{ДП}$  – структура, присоединенная к исходной, адекватная диссипативному процессу;

$S_{ИСХ}^{КД}$  – структура, присоединенная к исходной, адекватная процессу, компенсирующему процесс диссипации;

$VAR(S_{ИСХ})$  – вариация структуры, адекватная вариации исходной системной функции  $SF_{ИСХ}$  в процессе её развития (модификации);

$VAR(S_{ИСХ})^{ДП}$  – структура, присоединенная к модифицированной, адекватная диссипативному процессу в модифицирующей подсистеме;

$VAR(S_{ИСХ})^{КД}$  – структура, присоединенная к модифицированной, адекватная процессу компенсации диссипации;

$\Delta$  - символ структурной операции присоединения [6].

Таким образом, развитием системы  $S$  будем называть процесс присоединения к исходной структуре  $S_{ИСХ}$  новых структурных компонентов, отражающих аппаратные или алгоритмические дополнения к исходному аппаратному или алгоритмическому составу, вызванные модификацией исходной системной функции  $S_{ИСХ}$  с целью выполнения новых задач или сохранения условия стазиса  $S_{ИСХ} \equiv Const$ . Нарушения условий стазиса ( $S_{ИСХ} \neq Const$ ) адекватны диссипативным процессам. В этом случае необходимо осуществлять аппаратно-алгоритмические дополнения  $S_{ИСХ}$  с целью

компенсации процесса диссипации, что вызывает локальное развитие  $S_{ИСХ}$ . Глобальное развитие  $S_{ИСХ}$  связано только с модификацией исходной системы. Именно так различаются глобальное и локальное развитие исходной системы.

В соответствии с соотношением (1) напомним уравнение развития системы мониторинга :

$$S_{MBO} \subset \langle \{IP_{r_i}\} * \{PD_j^i\} * \{KB_e^i\} * \{SF_k\}_{k=1, n} * \{Sk\}_{k=1, n} \rangle$$

$$S_{MBO1} \subset \{S_{MVISX} \Delta S_{MVISX}^{ДП} \Delta S_{MVISX}^{КД} \Delta VAR(S_{MVISX}) \Delta \Delta VAR(S_{MVISX})^{ДП} \Delta VAR(S_{MVISX})^{КД}\}, \quad (2)$$

где  $S_{MVISX} \subset \langle \{IP_{r_i}\} * \{SF_k\}_{k=1, n} * \{Sk\}_{k=1, n} \rangle$  – исходное уравнение системы мониторинга;

$S_{MVISX}^{ДП} \subset \langle \{IP_{r_i}\}^{ДП} * \{SF_k\}^{ДП} * \{Sk\}_{k=1, l}^{ДП} \rangle$  – уравнение системы мониторинга, претерпевшей процесс диссипации;

$S_{MVISX}^{КП} \subset \langle \{IP_{r_i}\}^{КП} * \{SF_k\}^{КП} * \{Sk\}_{k=1, m}^{КП} \rangle$  – уравнение подсистемы мониторинга, реализующей процесс компенсации диссипативной модификации  $S_{MVISX}$ ;

$VAR(S_{MVISX}) \subset \langle VAR\{IP_{r_i}\} * VAR\{SF_k\} * VAR\{Sk\} \rangle$  – изменения структуры  $S_{MVISX}$ , вызванные добавлением новых функций на наблюдаемом объекте, или заменой устаревшего оборудования на наблюдаемом объекте, или заменой оборудования в системе мониторинга;

$VAR(S_{MVISX})^{ДП} \subset \langle VAR\{IP_{r_i}\}^{ДП} * VAR\{SF_k\}^{ДП} * VAR\{Sk\}^{ДП} \rangle$  – изменения в структуре  $VAR(S_{MVISX})$ , адекватные диссипативным процессам на новом оборудовании наблюдаемого объекта или замененном оборудовании системы мониторинга;

$VAR(S_{MVISX})^{КП} \subset \langle VAR\{IP_{r_i}\}^{КП} * VAR\{SF_k\}^{КП} * VAR\{Sk\}^{КП} \rangle$  – изменения в структуре  $VAR(S_{MVISX})$ , связанные с использованием оборудования и алгоритмов компенсации диссипативных процессов в  $VAR(S_{MVISX})$ ;

В соответствии с уравнениями (1) и (2) условия развития любой системы и системы мониторинга безопасности в частности состоят в следующем:

1. Выход диапазона  $IP_{r_i}$  за пределы области определения  $S_{FISX}$ , что приводит к использованию дополнительных структур  $\Delta S_{FISX}$  с целью согласования диапазона входного параметра с границами области определения  $S_{FISX}$ .

2. Выход диапазона  $IP_{r_j}$  за пределы (границы) области существования  $S_{FISX}$  (нарушение предельных диапазонов  $PD_j$ ), что может привести к потере части информации о наблюдаемом объекте. Требуется использование дополнительных структур  $\Delta S_{FISX}$  для исходной системы мониторинга.

3. Выход  $\{IP_{r_j}\}^{ДП}$  – информативных параметров диссипативных процессов за границы диапазонов  $\{IP_{r_j}\}$  – информативных параметров стабильности наблюдаемой системы  $S_{FISX}$ .

4. Формирование функций необходимой модификации исходной системной функции  $S_{FISX}$ .

5. Существование информационной меры на областях определения всех информативных параметров  $\{IP_{r_j}\}$ , на областях предельных допусков  $\{PD_k\}$ , на областях определения и существования всех системных функций  $SF$ .

6. Возможность согласования всех информационных мер.

7. Наличие информационных мер всех диссипативных и компенсирующих процессов и их взаимная согласованность.

В соответствии с уравнениями (1) и (2) следует также различать развитие наблюдаемого объекта, приводящего к изменению ситуации мониторинга, и развитие исходной системы мониторинга (наблюдений, измерений), которое в значительной мере является отражением развития наблюдаемой системы. Очевидно, что второй тип развития дополняет первый и неразрывен с ним. Поэтому оптимизация процесса развития системы мониторинга определяется в целом процессами развития наблюдаемой системы, и наиболее продуктивным здесь является системный подход, который можно определить как метод объективной инструментальной синтеза и анализа всего комплекса средств измерений. Этот вывод является существенным именно потому, что настоящее время в имеющейся литературе проблема развития технических систем даже не поставлена.

### Литература

1. Муха, Ю.П. Метод проектирования развивающейся структуры сложной системы мониторинга / Ю.П. Муха, П.В. Поваров // Изв. ВолгГТУ. Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь». – 2011.- Вып.6(79).- С.69-76.
2. Муха, Ю.П. Критерии оптимизации развивающихся систем мониторинга/ Ю.П. Муха, П.В. Поваров //Изв. ВолгГТУ. Серия «Электроника, измерительная техника радиотехника и связь».- 2011.- Т.6, № 5. – С.56-61.
3. Муха Ю.П. Системные функции для супермногоканальных измерительных систем// Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники, 2001, №8.- С. 35-39.
4. Муха, Ю.П. Системное функциональное преобразование для медицинских измерений / Ю.П. Муха, Д.В. Жмурич//Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002, №4.- С.16-19.
5. Муха, Ю.П. Структурный синтез системной функции ИС/НС для сложной измерительной ситуации на медицинском объекте // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006, №4.- с. 26-32.
6. Муха, Ю.П. Алгебраическая теория синтеза сложных систем: Монография / Ю.П. Муха, О. А. Авдеюк, И.Ю. Королева//Волгоград: Изд. ВолгГТУ,2003.- 320с.

## ГИБКИЙ ИНТЕРФЕЙСНЫЙ БЛОК ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Муха Ю. П., Королева И. Ю., Королев А. Д.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрены проблемы передачи информации, полученной при помощи систем технического зрения, и предложено возможное решение этих проблем – применение Гибкого Интеллектуального Интерфейса (ГИИ). Формализована работа ГИИ при помощи теории функторов и категорий.

### **Flexible interface unit for technical vision systems. Mucha Y.P., Koroleva I.Y., Korolev A.D.**

The problems of the transmission of information received by vision systems, and to suggest possible solutions to these problems - the use of Flexible Intelligent Interface (FII). FII formalized work with the theory of functors and categories.

Современное производство невозможно представить без применения систем технического зрения, позволяющих автоматизировать производственные процессы. Однако для создания больших систем технического зрения, распределенных по всему производству, требуется передавать информацию между узлами системы.

Предположим, что информация, получаемая при помощи систем технического зрения, передается как в рамках сложной производственной сети, так и между её различными подсетями. В процессе обмена информацией между узлами системы и между подсистемами может возникнуть ряд трудностей, а именно:

- 1) Нестыковка оборудования от различных производителей в рамках одной сети из-за несовместимости оборудования или использования старого оборудования, не поддерживающего возможности современной техники;
- 2) Нестыковка производственных подсетей, опирающихся на различные стеки протоколов передачи информации.

Решением таких проблем является устройство, позволяющее делать автоматическую настройку, трансформацию передаваемых данных, ориентируясь на существующие стандарты, приводить передаваемые информационные пакеты к виду, воспринимаемому как источником, так и приемником сигнала. Назовем это устройство Гибким Интеллектуальным Интерфейсом (ГИИ).

Для построения ГИИ необходимо определить последовательность выполняемых им действий, а также, используя специализированный математический аппарат, формализовать выполняемые им действия.

Процесс передачи информации возможно представить как последовательную пересылку блоков данных от источника к ГИИ и от ГИИ к приемнику. Все три основных звена системы (источник, приемник, ГИИ) имеют структуру, ориентирующуюся на ГОСТ [1], состоящую из 7 уровней, каждый из которых отвечает за свою часть преобразований, выполняемых с исходными данными (рис. 1).

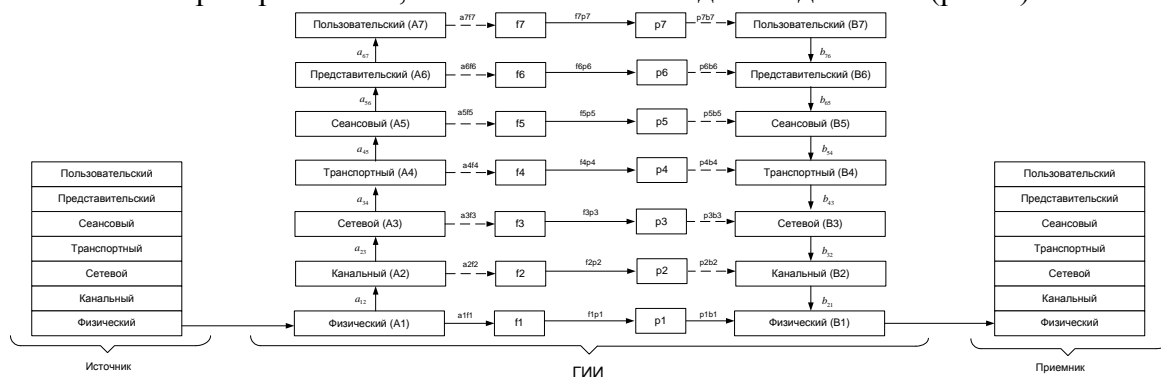


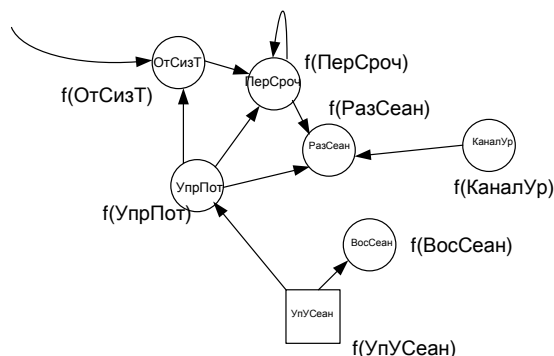
Рис 1. Схема передачи данных с использованием ГИИ

Где,  $f_1...f_7$ - функции определения необходимого преобразования и само преобразование;  $p_1...p_7$ -функции соответствующего уровня семиуровневой системы OSI;  $a_{12}...a_{67}$ -морфизмы уровней приемной части ГИИ;  $b_{76}...b_{21}$ -морфизмы уровней части стока ГИИ;  $a_1f_1...a_7f_7$ -морфизмы приемной части и части преобразования ГИИ;  $p_1b_1...p_7b_7$ -морфизмы приемной части и функциональной части соответствующего уровня ГИИ;  $f_1p_1...f_7p_7$ -морфизмы части преобразования и функциональной части соответствующего уровня ГИИ.

В случае возникновения трудностей при передаче данных проблемы нестыковки между системами и отдельными узлами системы устраняет ГИИ, выполняющий преобразование передаваемой информации на том уровне системы OSI[2,3], где происходит ошибка [4]. Причем, определение типа ошибки и соответствующего уровня системы OSI на котором произойдет коррекция, определяется интеллектуальной частью ГИИ. Для решения вопроса об интеллектуализации интерфейса, базирующегося на этой модели, требуется в каждый момент времени определить состояние системы, для чего необходимо составить базу данных состояний и параметров системы для точной диагностики и последующего принятия решения.

Формализуем процесс передачи информации через ГИИ. Для этого на первом этапе (рис. 1) опишем функции каждого из семи уровней ГИИ, изобразив их в графовом виде. На пользовательском уровне функции зависят от конкретного пользовательского приложения и в общем виде записи не поддаются.

Процесс преобразования входных данных внутри ГИИ можно записать при помощи категорного аппарата [5]. Запишем уравнения общего вида для каждого из семи уровней. Далее требуется раскрыть содержание функций  $p_1 - p_7$  в соответствии со стандартом [1]. На примере сеансового уровня покажем графовое изображение функциональной составляющей уровня:



ОтСизТ- отображение сеансового соединения из транспортного соединения. В любое время между сеансовым и транспортным уровнем существует взаимно-однозначное отображение, но время существования их может отличаться; УпрПот-управления потоком данных в сеансовом соединении. Для предотвращения переполнения данными принимающего логического объекта уровня представления, уровень сеансовый воздействует на транспортное соединение; ПерСроч- передача срочных данных; ВосСеан- восстановление сеансового соединения; РазСеан- разрыв сеансового соединения; УпУСеан- административное управление сеансовым соединением.

Основываясь на графовых представлениях каждого из уровней  $p_1 - p_7$ , оптимизируем работу системы. Для этого воспользуемся методом БФР [6]. В этом случае оптимизированную структуру ГИИ в целом можно представить в виде как на рисунке 2, на котором  $v_{1_1} - v_{1_3}$ -состояния функционального блока физического уровня;  $v_{2_1} - v_{2_{11}}$ -состояния функционального блока канального уровня;  $v_{3_1} - v_{3_{12}}$ -состояния функционального блока канального уровня;  $v_{4_1} - v_{4_7}$ -состояния функционального блока транспортного уровня;  $v_{5_1} - v_{5_5}$ -состояния функционального блока сеансового уровня;  $v_{6_1} - v_{6_4}$ -состояния функционального блока представительского уровня.

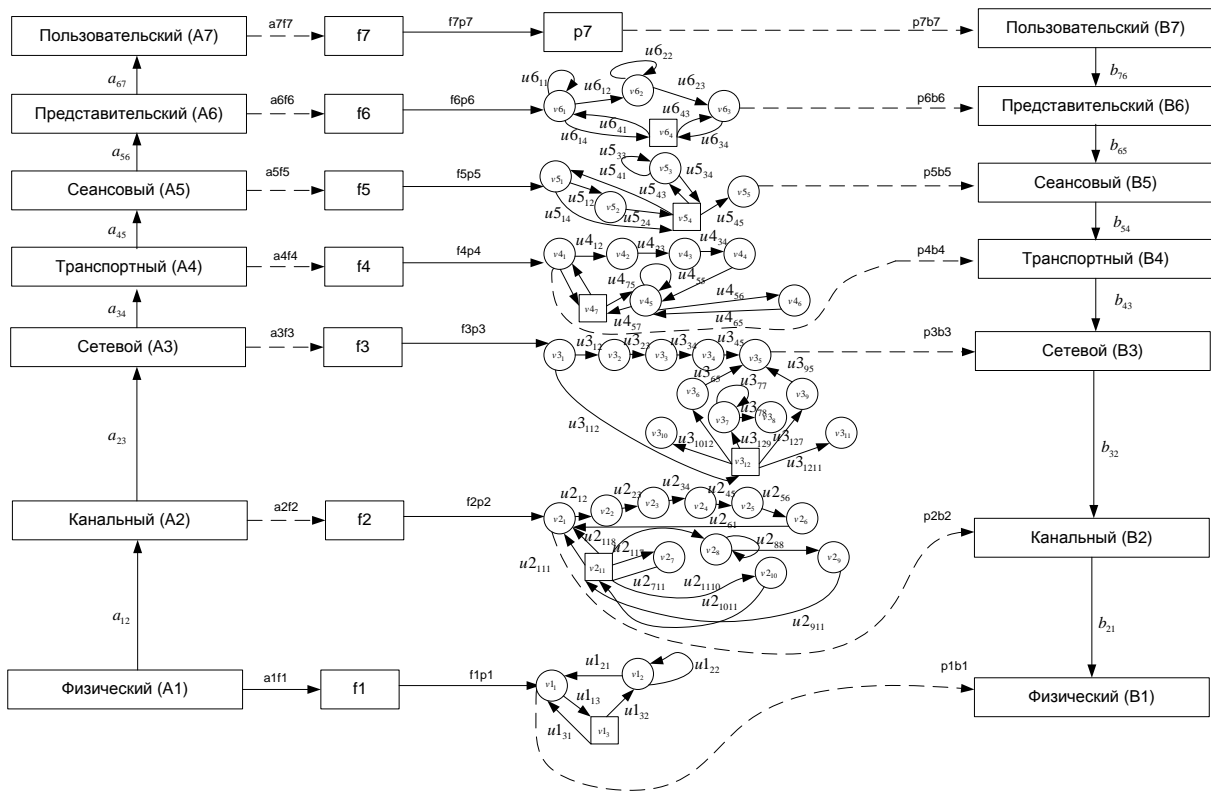


Рис. 2. Преобразования ГИИ

Таким образом, для каждого уровня ГИИ можно записать расширенное уравнение, в которое включена функция этого уровня ( $p_1 \dots p_7$ ). Приведем пример для сеансового уровня:

$$(((a_{12} * a_2 f_2) * a_3 f_3) * a_4 f_4) * a_5 f_5) * f_5(u_{1_{6x1}} u_{1_{14}} u_{1_{41}} u_{1_{12}} u_{1_{24}} u_{1_{43}} u_{1_{33}} u_{1_{34}} u_{1_{45}} u_{1_{46yx}}) * \\ *(((p_2 b_2 * b_{21}) * p_3 b_3) * p_4 b_4) * p_5 b_5)$$

Для составления полного уравнения требуется расшифровать последнее слагаемое для каждого уравнения –  $f_1 - f_7$ . Для этого требуется определить входные параметры, по которым интеллектуальная составляющая ГИИ сможет определить требуемые преобразования. Следующим шагом является создание базы данных признаков каждого состояния системы и откликов на каждое состояние. Это позволит полностью формализовать действия ГИИ и приступить к непосредственной реализации структуры устройства [8].

### Литература

1. ГОСТ Р ИСО 7498-2-99
2. Гибкий интеллектуальный интерфейс для несовместимых информационных систем / Ю.П. Муха, И.Ю. Королева, А.Д. Королев // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады IX Всероссийской научн.-техн. конф.; под общ. ред. Э.М. Соколова. - Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2011. – С. 126-129.
3. Муха, Ю. П. Теория и практика синтеза управляющего и информационного обеспечения измерительно-вычислительных систем: Монография/ Ю. П. Муха, О.А. Авдеюк, В.М. Антонович // ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – 220с.



4. Антонович, В. М. Структурный метод синтеза гибкого интеллектуального интерфейса сложной информационно-измерительной системы: дис. канд. техн. наук / Антоновича Виктора Михайловича; науч. рук. Ю. П. Муха ; ВолгГТУ – Волгоград, 2004. – 134с.
5. Габриель, П. Категория частных и теория гомотопий/ П. Габриель, М. Цисман// М.: Изд. “Мир”, 1071. – 295с.
6. Муха, Ю.П. Алгебраическая теория синтеза сложных систем: Монография/ Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, И.Ю. Королева // ВолгГТУ – Волгоград, 2003. – 320с.
7. Букур Н. Введение в теория в теорию категорий и функторов/ Н. Букур, А. Деяну // – М. : Изд. “Мир”, 1972. - 259с.
8. Интерфейсы для телемедицинских сетей передачи данных / Ю.П. Муха, И.Ю. Королева, А.Д. Королев // Телекоммуникации. – 2011. - № 12. – С. 41-44

### **СОЗДАНИЕ РЕДАКТОРА ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ НАРАБОТКИ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЗАМЕЩЕНИЯ**

Секачѳв В. А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Показана возможность перехода от графов к принципиальным схемам через метод замещения при структурном проектировании сложных информационно-измерительных систем.

**Possibility of transition from counts to schematic diagrams through a replacement method is shown at structural design of difficult information and measuring systems. Sekashev V.A.**

In this paper we have shown the possibility of transition from graphs to the concept of a substitution method in the structural design of complex information and measurement systems.

В процессе структурного проектирования в качестве объекта, отождествляемого с проектируемой системой, является структурная схема (граф), рѳбра которого отождествляются с потоками информации, а вершины – с преобразователями этой информации. Показана возможность перехода от графа к принципиальной схеме путѳм замены вершин графа фрагментами принципиальных схем.

Теоретические вопросы структурного проектирования подробно описаны в [5,6,7,8]. Подробно рассмотрены вопросы структурного проектирования с оптимизацией на основе блочно-функционального распределения (БФР). Основы этой теории реализованы в программных системах [1-4]. Эти программные системы позволяют проектировать структурные схемы и оптимизировать их [1], с использованием метода имитационного моделирования оценивать отклонения [2], преобразовывать строковые значения функциональных уравнений в структуры [3], редактировать многоуровневые структуры ИИС, расширяя вершины графа графами нижележащих уровней [4]. Принцип формирования электрической схемы состоит в замещении вершины графа, отождествляющей окончательную структурную схему с фрагментом принципиальной схемы, реализующей ту или иную блочную функцию, полученную в вершине графа. Как выбрать тот или иной фрагмент принципиальной

схемы? Чаще всего подбор осуществляется по электрическим параметрам – входному сопротивлению, диапазону значений амплитуды сигнала, диапазону частот, коэффициенту усиления, частоте получаемого сигнала и т. д. Поскольку для одной и той же блочной функции возможно несколько десятков (максимум!) её схемотехнической реализации, и необходимо вмешательство человека для получения оптимальных результатов. Для реализации этой программной системы необходимо создание двух программно-реализованных редакторов – редакторов дискретных элементов, где можно создавать графические отображения последних и редактор фрагментов принципиальных схем. Просматривается следующий способ взаимодействия этих редакторов – редактор графов – редактор принципиальных схем – редактор дискретных элементов. Последовательность проектирования:

- 1) На основании требований технического задания и технического проекта составляется предварительный граф структуры системы.
- 2) Происходит выделение подсистем.
- 3) Для каждой подсистемы формируется структура графа.
- 4) Происходит оптимизация по критерию поиска множества наименьшей или наибольшей внешней устойчивости (МНВУ).
- 5) Для каждого варианта полученного МНВУ происходит восстановление графа и оценка отклонений.
- 6) Выбирается оптимизированный граф с минимальным значением отклонений и минимальным количеством вершин.
- 7) Каждой вершине сопоставляется свой фрагмент принципиальной схемы. Если фрагмент отсутствует в базе, то с помощью редактора принципиальных схем он создаётся из библиотеки дискретных элементов, которая также может пополняться и редактироваться.

На рис. 1 показаны, как может выглядеть окна редактора принципиальных схем и редактора дискретных элементов.

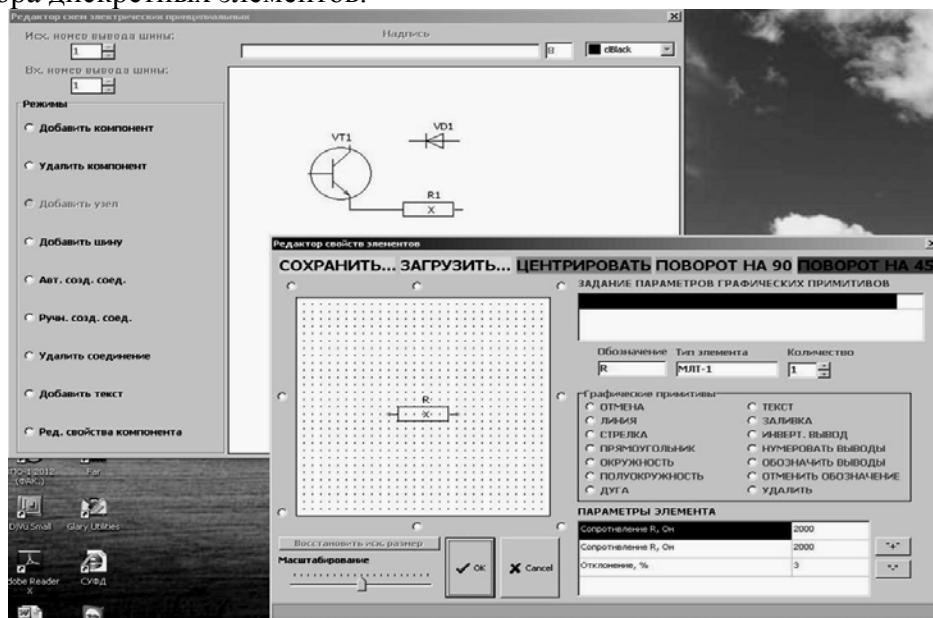


Рис.1. Окно редактора принципиальных схем и дискретных элементов

## Литература

1. Функциональный оптимизатор структур измерительных систем : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. ВНИИЦ №

2007613295 Российская Федерация / Муха Ю. П., Секачев В. А.; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 03.08.2007

2. Модуль для оценки отклонений структур измерительных систем : свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. ВНИИЦ № 2007613259 Российская Федерация / Муха Ю. П., Секачев В. А.; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 03.08.2007

3. Синтезатор структур измерительных систем из функционального уравнения: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. ВНИИЦ № 2007613258 Российская Федерация / Муха Ю. П., Секачев В. А.; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 03.08.2007

4. Редактор многоуровневых структур измерительных систем: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. ВНИИЦ № 2007613260 Российская Федерация / Муха Ю. П., Секачев В. А.; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 03.08.2007

5. Муха, Ю.П., Алгебраическая теория синтеза сложных систем [Текст] / Ю. П. Муха, О.А. Авдеюк, И.Ю. Королёва. – Волгоград: Изд-во Политехник, 2003. - 320 с.

6. Муха, Ю.П. Математические методы информатики в задачах и примерах. Опыт применения в проектировании сложных систем: учебное пособие/ Ю.П. Муха, О. А. Авдеюк, С.В. Горбачев, В.А. Секачев, В.И. Сырякин, В.С. Титов, Т.А. Ширабакина. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2012- 484с.

7. Муха, Ю.П. Оптимизация измерительно– вычислительных систем с использованием экстремальных структур на графах / Ю.П. Муха, О.А. Авдеюк, Н.В. Авдеюк//2-я межвузовская научно-техн. конф. студентов и молодых ученых, г. Волжский, 1996 г.

8. Муха, Ю.П. Информационно-измерительные системы с адаптивными преобразованиями. Управление гибкостью функционирования: монография / Ю. П. Муха, О.А. Авдеюк, И.Ю. Королёва. - Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – 304с.

## **ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

*\*Дородников Н.А., Дородникова И.М.*

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, \*Санкт-Петербург, НИУ ИТМО*

Рассмотрены и классифицированы типичные проблемы количественной и качественной эволюции локальных сетей предприятий, выявлены способы предотвращения проблем и методы их решения.

### **Problems of corporate local networks. Dorodnikov N.A., Dorodnikova I.M.**

Examined and classified the typical problems of a quantitative and qualitative evolution of the local networks, identified ways to prevent problems and recommended solutions.

Сегодня ИТ-технологии являются неотъемлемой частью всех отраслей человеческой деятельности. При этом, как правило, предприятия в момент основания обладают ограниченными материальными ресурсами, вследствие чего, ради экономии, оборудование для обеспечения коммуникаций покупается под текущие цели и масштабы.

Для развивающихся предприятий распространена проблема, связанная с обеспечением сопутствующего развития систем коммуникаций. В широком смысле, в состав систем коммуникаций входят каналы связи и технические средства, соответствующие программные решения, обслуживающий персонал. Также, к ним относятся системы телефонии.

Для выявления проблем эволюции сетей следует выявить типы данной эволюции. На данный момент определено два типа эволюции: интенсивный и экстенсивный.

Интенсивный тип эволюции – качественное увеличение. Когда на той же технической и количественной базе увеличиваются потоки данных, используются новые программные решения, новые виды серверов, и пр. Очевидно, что в этом случае на сервер ложится дополнительная нагрузка, и именно его вычислительные мощности становятся слабым звеном. Также, при использовании обмена мультимедиа-контентом, больше используются и каналы связи, и средства хранения информации. Данные проблемы решаются путем наращивания серверных мощностей. Однако существуют некоторые сложности, связанные с этим методом. Рассмотрим один из примеров: если на предприятии организован корпоративный домен, то замена сервера, предоставляющего его, может привести к ошибкам в домене, и к возможной необходимости перевода пользователей. Также, в зависимости от вида добавленных серверных ролей, могут потребоваться дополнительные меры по обеспечению безопасности и настройки. Это дополнительная сложность работы для системных администраторов.

Экстенсивный тип эволюции – количественное увеличение. Как правило, такое бывает при объединении офисов, при открытии филиалов, новых отделов. Тип нагрузки не меняется, но количество пользователей растет. При количественной эволюции сети ситуация сложнее. Выделим и тут две разновидности – наращивание и объединение.

**Наращивание** сети вызывает обычно аппаратные и программные проблемы. Про аппаратные можно сказать, что если с рабочими местами и соответствующими сетевыми розетками в помещении все понятно, то с серверным оборудованием необходимо повозиться. Администраторы сталкиваются с ограничениями, связанными с централизацией служб, данных и алгоритмов. Если сеть простая и построена на одноуровневых коммутаторах, то администраторы просто наращивают их число, или заменяют их на аналогичные, но с большим числом портов. Также, если при организации сети не брался запас по производительности оборудования, то возможно придется заменить коммутатор или маршрутизатор на более мощный по вычислительным возможностям. На данном этапе рекомендуется позаботиться также и о надежности информации. Предусмотреть варианты дублирования основных узлов, избыточные соединения, резервирование на разных уровнях. Возможно, придется также увеличить ширину интернет-канала, завести резервный канал. К данным действиям также добавятся мероприятия по повышению производительности серверов, т.к. с ростом объема передаваемых данных растет и нагрузка на общие узлы.

Необходимо также учитывать, возможное расширение телефонии, а именно — приобретать модульные АТС или использовать программные решения на базе Asterisk, снабдив сеть необходимым количеством voip-шлюзов, для совместимости со старыми телефонами, или же заменив также и сами телефоны на цифровые ip-аппараты. Это автоматически расширит и возможности голосовой связи, позволит легко организовывать целые call-центры, редактировать правила, получать логи и

записи разговоров, и т.д., что потребует от администраторов соответствующей квалификации и умений.

Помимо аппаратных проблем, могут возникнуть и программные. Например, проблема адресации. Обычно, локальная сеть небольшого предприятия целиком уместается в диапазоне /24 (1 сеть класса C). Это удобно и экономно, но возможно использование лишь до 254 узлов. При разрастании сети, увеличивается количество устройств, и тогда приходится проектировать сеть заново. Если сеть простая, и в ней не используется сложных сервисов, и клиентские машины получают адреса по DHCP, то особых проблем это не вызовет. Ситуация сложнее, если адреса являются статическими, т.к. придется менять их на каждом компьютере. Возможно также разделение сети на подсети в соответствии с отделами, задачами, доступом. В таком случае будет необходимо соответствующим образом настраивать зоны dns и настраивать dhcp.

Проблемы **объединения** сетей появляются, когда инфраструктуры каждой из сетей уже готовы. И тут тоже возможны варианты по территориальному расположению - местные ли сети, или географически удаленные. И в тех, и в тех остаются открытыми вопросы и ограничения централизации, которые в свою очередь делятся на централизацию служб, централизацию данных и централизацию алгоритмов.

Многие службы централизуются потому, что при их реализации предполагалось наличие в распределенной системе только одного сервера, запущенного на конкретной машине. При увеличении числа пользователей сервер легко может стать критическим местом системы. Даже если имеется фактически неограниченный запас по мощности обработки и хранения данных, ресурсы связи с этим сервером, в конце концов будут исчерпаны. К сожалению, использование единственного сервера время от времени неизбежно, например, для служб управления особо конфиденциальной информацией, такой как истории болезни, банковские счета, кредиты и т.п. В подобных случаях, необходимо реализовывать службы на одном сервере в отдельной хорошо защищенной комнате и отделять их от других частей распределенной системы посредством специальных сетевых устройств. Копирование информации, содержащейся на сервере, в другие места для повышения производительности не допускается.

Централизация данных так же вредна, как и централизация служб. Невозможно отслеживать телефонные номера и адреса 50 миллионов человек. Предположим, что каждая запись укладывается в 50 символов. Необходимой емкостью обладает один 2,5-гигабайтный диск. Но и в этом случае наличие единой базы данных вызовет перегрузку входящих и исходящих линий связи. Предположим, что в Интернет служба доменных имен (DNS) реализована в виде одной таблицы. DNS обрабатывает информацию с миллионов компьютеров во всем мире и предоставляет службу, необходимую для определения местоположения web-серверов. Если бы каждый запрос на интерпретацию URL передавался на единственный DNS-сервер, никто не смог бы воспользоваться Web.

Централизация алгоритмов так же не выдерживает критики. В больших распределенных системах большое число сообщений необходимо направлять по множеству каналов. Теоретически, для вычисления оптимального пути необходимо получить полную информацию о загруженности всех машин и линий и, по алгоритмам из теории графов, вычислить все оптимальные маршруты. Затем, эта информация должна быть распределена по системе для улучшения маршрутизации. Проблема состоит в том, что сбор и транспортировка всей информации может перегрузить часть сети. Следует избегать алгоритма, который требует передачи информации, собираемой со всей сети, на одну из ее машин для обработки с

последующей раздачей результатов. Использовать следует только децентрализованные алгоритмы. Эти алгоритмы обычно обладают следующими свойствами, отличающими их от централизованных алгоритмов:

- ни одна из машин не обладает полной информацией о состоянии системы;
- машины принимают решения на основе локальной информации;
- сбой на одной машине не вызывает нарушения алгоритма;

У географической масштабируемости, помимо проблем местных сетей, существуют и дополнительные проблемы. Одна из основных причин сложности масштабирования существующих распределенных систем, разработанных для локальных сетей, состоит в том, что в их основе лежит принцип синхронной связи (synchronous communication). В этом виде связи, запрашивающий службу агент, которого принято называть клиентом (client), блокируется до получения ответа. Этот подход обычно успешно работает в локальных сетях, когда связь между двумя машинами продолжается максимум сотни микросекунд. Однако в глобальных системах необходимо принять во внимание факт, что связь между процессами может продолжаться сотни миллисекунд, то есть на три порядка дольше.

Другая проблема, препятствующая географическому масштабированию, состоит в том, что связь в глобальных сетях фактически всегда организуется от точки к точке и, потому, ненадежна. В противоположность глобальным, локальные сети обычно дают высоконадежную связь, основанную на широковещательной рассылке, что делает разработку распределенных систем для них значительно проще. Для примера рассмотрим проблему локализации службы. В локальной сети система просто рассылает сообщение всем машинам, опрашивая их на предмет предоставления нужной службы. Машины, предоставляющие службу, отвечают на это сообщение, указывая в ответном сообщении свои сетевые адреса. Невозможно реализовать подобную схему определения местоположения в глобальной сети. Вместо этого необходимо обеспечить специальные места для расположения служб, которые может потребоваться масштабировать на весь мир и обеспечить их мощностью для обслуживания миллионов пользователей. Географическая масштабируемость жестко связана с проблемами централизованных решений, которые мешают масштабированию по размеру. Если имеется система с множеством централизованных компонентов, то географическая масштабируемость будет ограничиваться проблемами производительности и надежности, связанными с глобальной связью. Кроме того, централизованные компоненты способны вызвать перегрузку сети. Во многих случаях остается открытым вопрос, как обеспечить масштабирование распределенной системы на множество административно независимых областей. Основная проблема, которую нужно при этом решить, состоит в конфликтах правил, относящихся к использованию ресурсов (и плате за них), управлению и безопасности. Так, множество компонентов распределенных систем, находящихся в одной области, обычно может быть доверено пользователям, работающим в этой области. В этом случае системный администратор может тестировать и сертифицировать приложения, используя специальные инструменты. Пользователи доверяют своему системному администратору. Однако это доверие не распространяется за границы области. Если распределенные системы распространяются на другую область, могут потребоваться два типа проверок безопасности. Во-первых, распределенная система должна противостоять атакам из новой области. Так, например, пользователи новой области могут получить ограниченные права доступа к файловой службе системы в исходной области, скажем, только на чтение. Точно так же может быть закрыт доступ чужих пользователей и к аппаратуре, такой как дорогостоящие устройства

печати или высокопроизводительные компьютеры. Во-вторых, новая область сама должна быть защищена от злонамеренных атак из распределенной системы. Типичным примером является загрузка по сети программ, таких как апплеты в web-браузерах. Изначально новая область не знает, чего ожидать от чужого кода, и потому строго ограничивает ему права доступа.

### Литература

1 Дородников Н.А. Разработка системы планирования, развертывания и комплексной защиты сети / Н.А. Дородников, Ю.Г.Филиппова, И.М.Дородникова Филиппова Ю.Г., Дородникова И.М.// Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2012. № 1.– С. 524-526.

2. Безопасность сетей. Полное руководство Автор: Роберта Брэгг, Марк Родс-Оусли, Кит Страссберг Издательство: Эком 2006 г.

3. TCP/IP. Сетевое администрирование, 3-е издание Автор: Крэйг Хант. Издательство: Символ-Плюс, 2004г.

### РАСЧЕТНОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ «КАРБИД ХРОМА – ТИТАН»

Крохалев А.В., Харламов В.О., Приходьков К.В., Авдеюк О.А., Савкин А.Н., Кузьмин С.В., Лысак В.И.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Приведены результаты термодинамического моделирования фазовых равновесий в системе Cr-C-Ti. Описаны особенности возможного взаимодействия между компонентами твердых сплавов.

**Design and experimental study of interphase interaction in alloys of chromium carbide-titanium. Krokhalev A. V., Kharlamov V.O., Prikhodkov K. V., Avdeuk O.A., Savkin A. N., Kuzmin S.V., Lysak V.I.**

The results of thermodynamic modeling of phase equilibria in the system Cr-C-Ti. The features of possible interaction between the components hard alloys.

В настоящее время для получения твердых сплавов все чаще используют компактирование порошковых смесей карбидов с металлами взрывом. Взрывная обработка позволяет одновременно достигать и давлений, достаточных для уплотнения порошков до практически беспористого состояния, и температур, достаточных для сварки структурных компонентов материала в единое целое [1-3].

Для анализа процессов, происходящих при ударно-волновом воздействии на порошковые смеси, большое значение имеет информация о характере межфазного взаимодействия между их компонентами. При использовании новых, малоизученных составов твердых сплавов подобная информация, как правило, отсутствует. В этих условиях приходится прибегать к проведению компьютерного термодинамического моделирования.

Так, например, при исследовании триботехнических твердых сплавов на основе карбида хрома  $Cr_3C_2$  с титановой связкой [2] нами с использованием программного комплекса Thermo-Calc 5 был построен политермический разрез тройных системы Cr-C-Cr, соответствующий квазибинарной системе  $Cr_3C_2$ -Ti (рис.1).

Анализ полученного разреза показал, что в сплавах карбида хрома с титаном возможно химическое взаимодействие компонентов, ведущее к образованию карбида титана  $TiC$  и обедненных углеродом карбидов хрома  $Cr_7C_3$  и  $Cr_{23}C_6$  или чистого  $Cr$  в зависимости от исходного содержания титана в смеси порошков.

Следовательно, воздействие достаточно высокой температуры на такие сплавы без изменения фазового состава практически не возможно.

Поскольку каких-либо тройных фаз в системе  $Cr-C-Ti$  не образуется, а в исследуемом интервале концентраций не наблюдается и химического взаимодействия  $Ti$  и  $Cr$  с образованием фаз Лавеса ( $\sigma$ -фаз), то можно предположить, что взаимодействие исходных компонентов порошковой смеси при этом будет приводить к образованию на поверхности раздела между  $Cr_3C_2$  и  $Ti$  чередующихся слоев стабильных фаз  $TiC$  и  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  или  $Cr$ , границы которых будут перемещаться в сторону исходных фаз вплоть до исчезновения (полного или частичного) последних.

Для проверки данной гипотезы микрорентгеноспектральному анализу подвергли материал, полученный путем ударно-волнового сжатия до давления 11,9 ГПа с одновременным разогревом в ударных волнах до  $660^\circ C$  порошковой смеси карбида хрома  $Cr_3C_2$  с титановой связкой в количестве 30% по объему.

Изучение линейного профиля распределения элементов между фазами твердого сплава (рис. 2) показало, однако, отсутствие следов химического взаимодействия между компонентами исходной порошковой смеси: титан целиком остался в составе металлической фазы сплава, а хром и углерод – в составе карбидной фазы.

Обнаруженная закономерность может быть объяснена только чрезвычайно малой длительностью воздействия на материал давления и температуры, которая не позволила процессам диффузии в сколь-нибудь заметной степени привести к изменению фазового состава материала.

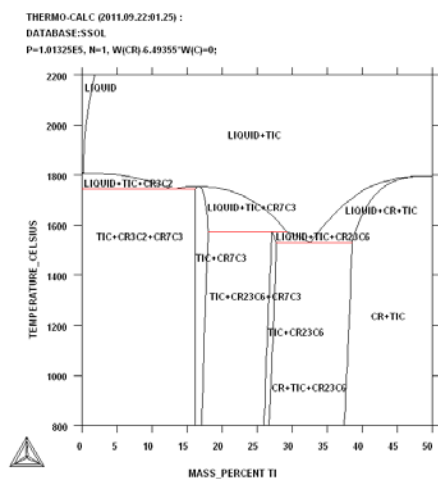


Рис. 1. Квазибинарное сечение  $Cr_3C_2-Ti$  системы  $Cr-C-Ti$

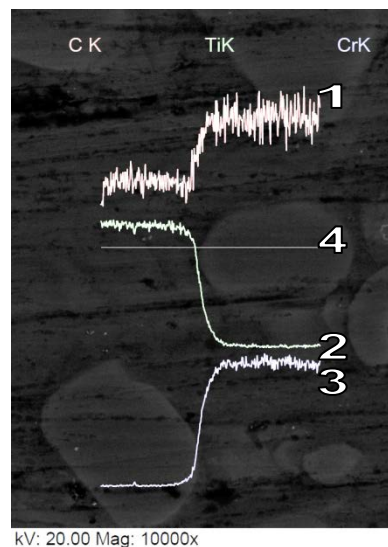


Рис. 2. Распределение элементов между фазами, РЭМ, SMA Quanta 3D FEG: 1, 2 и 3 – содержание  $C$ ,  $Ti$  и  $Cr$  соответственно, 4 – линия сканирования состава.

Отсутствие следов вторичного межфазного взаимодействия следует расценивать как экспериментальное подтверждение возможности получения с использованием взрыва твердых сплавов, состав которых может принципиально



отличаться от термодинамически равновесного и полностью соответствовать исходному составу порошковой смеси.

### Литература

1. Крохалев, А.В. Получение износостойких покрытий из смесей порошков карбида хрома с металлической связкой с использованием взрывного нагружения / А.В.Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия "Сварка взрывом и свойства сварных соединений". Вып. 4 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. –№ 5. - С. 117-122.
2. Крохалев, А.В. Закономерности формирования твёрдых сплавов из смесей порошков карбида хрома с титаном с использованием энергии взрыва / А.В. Крохалев, В.О. Харламов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. - 2012. - № 1. – С.32-37.
3. Крохалев, А.В. Особенности формирования твёрдых сплавов из смесей порошков карбида хрома с титаном при взрывном прессовании / А.В. Крохалев, В.О. Харламов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, О.А. Авдеюк, А.В. Севостьянова // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 13 (100). - С. 18-23.

### РАСЧЕТНАЯ МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ УДАРНЫХ АДИАБАТ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Крохалев А.В., Харламов В.О., Приходьков К.В., Авдеюк О.А., Савкин А.Н., Кузьмин С.В., Лысак В.И.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Предложены формулы для аналитического расчета ударных адиабат продуктов детонации взрывчатых веществ с учетом направления распространения детонации и разлета продуктов взрыва.

**Rated how to build drums adiabat when modeling an explosive detonation product handling materials. Krokhaliev A. V., Kharlamov V.O., Prikhodkov K. V., Avdeuk O.A., Savkin A. N., Kuzmin S.V., Lysak V.I.**

Formulae for analytical calculation of shock adiabat detonation products of explosives in view of dissemination products of detonation and explosion

В настоящее время при моделировании различных процессов взрывной обработки материалов, и в частности, взрывного компактирования порошков [1-3], используется метод (P,u) -диаграмм, основанный на поэтапном определении характеристик падающей и отраженных волн путем анализа пересечений ударных адиабат элементов схемы нагружения, обрабатываемого материала и продуктов детонации в координатах "давление - массовая скорость" [4].

Основные трудности при построении ударной адиабаты продуктов детонации связаны с необходимостью учета их разлета со свободной поверхности заряда (разлет в других направлениях может не учитываться в связи с использованием боковых написаний заряда).

Сделать это в первом приближении можно, если учесть, что при давлениях, мало отличающихся от давлений в точке Жуге, ударная адиабата двойного сжатия продуктов взрыва совпадает с изоэнтропой:

$$P = A\rho^k, \quad (1)$$

причем ее показатель  $k$  может считаться неизменным.

Примем за исходную точку построения этой изоэнтропы состояние ударного сжатия продуктов детонации, характеризующееся максимально возможным для выбранной схемы нагружения давлением  $P_x$ . В случае скользящего нагружения это давление отвечает состоянию продуктов детонации в плоскости Чепмена-Жуге, а при нагружении нормально падающей детонационной волной соответствует ее набеганию на абсолютно жесткую стенку и полному торможению продуктов взрыва.

И в том, и в другом случае перемещение продуктов детонации в направлении преграды отсутствует и его появление приведет к снижению давления в соответствии с изоэнтропой расширения, которая может быть записана в виде:

$$u = \int \frac{P_x dP}{P \rho c}, \quad (2)$$

где  $u$  - скорость продуктов детонации в направлении преграды;  
 $P$  - давление продуктов детонации на границе раздела с ней;  
 $\rho, c$  - плотность продуктов детонации и скорость звука в них.

Интегрирование уравнения (2) с учетом того, что изоэнтропа проходит через точку с параметрами  $(P_x, c_x, \rho_x)$  дает:

$$u = \frac{2k}{(k-1)} \frac{P_x}{c_x \rho_x} \left[ 1 - \left( \frac{P}{P_x} \right)^{\frac{k-1}{2k}} \right], \quad (3)$$

где  $c_x, \rho_x$  - скорость звука и плотность продуктов детонации, сжатых до давления  $P_x$ .

Примем  $k=3$  и будем считать, что разлет продуктов детонации по свободной поверхности заряда в реальных условиях нагружения происходит так же, как и в случае абсолютно жесткой преграды. Тогда для определения величины  $P_x$  при нагружении нормально падающей детонационной волной можно использовать выражение:

$$P_x = \frac{64}{27} P_H \left( \frac{h}{D\tau} \right)^3, \quad (4)$$

где  $P_H$  - давление продуктов взрыва в плоскости Чепмена-Жуге;  
 $h$  - высота заряда взрывчатого вещества;  
 $D$  - скорость его детонации;  
 $\tau$  - время, отсчитываемое от момента инициирования детонации на свободной поверхности заряда.

При скользящем нагружении в случае, когда волна разгрузки еще не успела достигнуть поверхности промежуточной прокладки, давление  $P_x$  следует принять равным:

$$P_x = P_H, \quad (5)$$

а в дальнейшем использовать известное решение о разлете сжатого газа от абсолютно жестком стенки:

$$P_x = P_H \left( \frac{h}{C_H \tau} \right)^3, \quad (6)$$

где  $C_H$  - скорость звука в продуктах взрыва за фронтом детонации;  
 $\tau$  - время, отсчитываемое от начала разлета продуктов детонации в их фиксированном сечении, движущемся вдоль поверхности промежуточной прокладки параллельно фронту детонации со скоростью, равной массовой скорости продуктов взрыва в плоскости Чепмена-Жуге.

Эти допущения позволяют после некоторых преобразований получить аналитические выражения для адиабат продуктов взрыва:

- для нагружения нормально падающей детонационной волной:

$$P = \frac{64}{27} P_H \left( \frac{h}{D\tau} - \frac{u}{D} \right)^3, \quad (7)$$

где  $\tau \geq \frac{h}{D}$  - время, отсчитываемое от момента инициирования детонации, на свободной поверхности заряда;

- для скользящего нагружения:

$$P = \begin{cases} P_H \left( 1 - \frac{4u}{3D} \right)^3 & \text{при } \tau \leq \frac{h}{D} \\ P_H \left( \frac{h}{D\tau} - \frac{4u}{3D} \right)^3 & \text{при } \tau > \frac{h}{D} \end{cases}, \quad (8)$$

где  $\tau$  - время, отсчитываемое от начала нагружения данной точки поверхности промежуточной прокладки.

В формуле (8) учтено также, что продукты взрыва движутся относительно поверхности промежуточной прокладки в направлении распространения по заряду взрывчатого вещества фронта детонации.

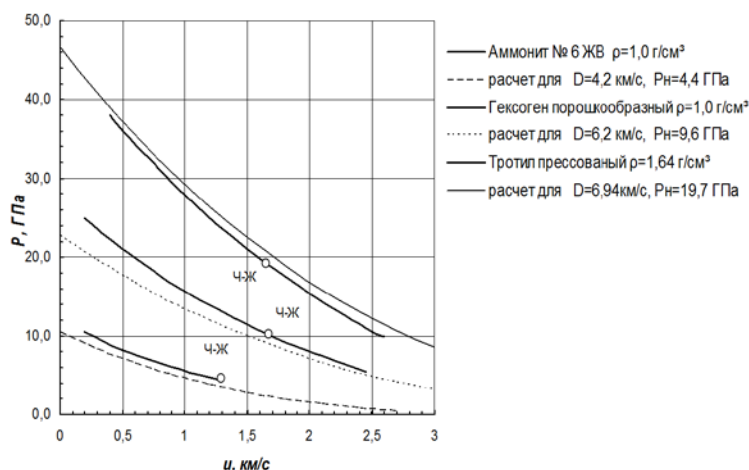


Рис. 1. Ударные адиабаты продуктов детонации некоторых взрывчатых веществ.

Как видно из рис.1, ударные адиабаты продуктов детонации некоторых, наиболее распространенных взрывчатых веществ, построенные на момент времени, соответствующий началу отражения, с использованием данной методики, с достаточной для оценочных расчетов точностью совпадают с известными ударными адиабатами, что указывает на приемлемость изложенного подхода к построению адиабат продуктов взрыва.

### Литература

1. Крохалев, А.В. Получение износостойких покрытий из смесей порошков карбида хрома с металлической связкой с использованием взрывного нагружения / А.В.Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия "Сварка взрывом и свойства сварных соединений". Вып. 4 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. –№ 5. - С. 117-122.
2. Крохалев, А.В. Закономерности формирования твёрдых сплавов из смесей порошков карбида хрома с титаном с использованием энергии взрыва / А.В. Крохалев, В.О. Харламов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. - 2012. - № 1. - С. 32-37.
3. Крохалев, А.В. Особенности формирования твёрдых сплавов из смесей порошков карбида хрома с титаном при взрывном прессовании / А.В. Крохалев, В.О. Харламов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, О.А. Авдеюк, А.В. Севостьянова // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 13 (100). - С. 18-23.
4. Крохалев, А.В. Компьютерный расчет параметров сжатия при нанесении порошковых покрытий взрывом / А.В.Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия "Сварка взрывом и свойства сварных соединений". Вып. 4 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. –№ 5. - С. 110-116.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «КАРБИД ХРОМА – ТИТАН» ПОД ДЕЙСТВИЕМ КИСЛОРОДА

Крохалев А.В., Харламов В.О., Приходьков К.В., Авдеюк О.А., Савкин А.Н., Кузьмин С.В., Лысак В.И.

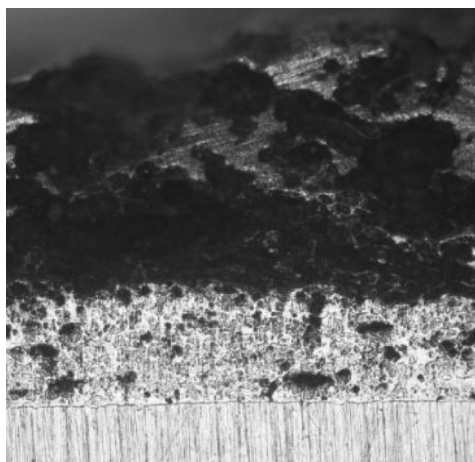
*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Приведены результаты термодинамического моделирования фазовых равновесий в системе Cr-C-Ti-O. Описаны особенности возможного взаимодействия между компонентами твердых сплавов.

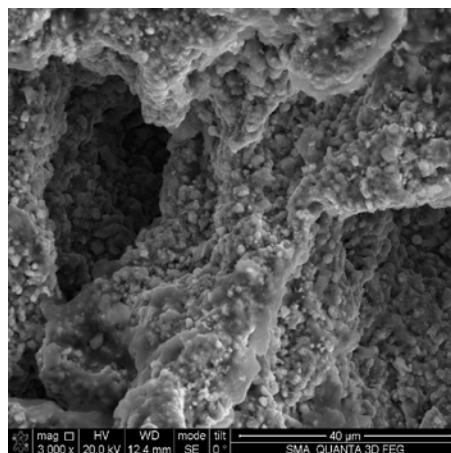
**Modeling changes phase composition of alloys of chromium carbide-titanium under the influence of oxygen. Krokhaliev A. V., Kharlamov V.O., Prikhodkov K. V., Avdeuk O.A., Savkin A. N., Kuzmin S.V., Lysak V.I.**

The results of thermodynamic modeling of phase equilibria in the system Cr-C-Ti-O. The features of possible interaction between the components hard alloys.

В настоящее время для получения покрытий из твердых сплавов системы  $C_3C_2$ -Ti используют взрывное нагружение порошковых смесей карбида хрома с металлическим титаном на поверхности плакируемых заготовок [1-3]. При практической реализации процесса приходится сталкиваться, однако, с такими трудностями, как образование на поверхности покрытия дефекта в виде пены (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Пена на поверхности твердого сплава после взрывного прессования при температуре разогрева порошка свыше  $1000^{\circ}\text{C}$   
а – макроструктура,  $\times 50$ ; б – РЭМ  $\times 3000$

Энергодисперсионный микроанализ, проведенный с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 3D FEG, показал появление в составе видоизмененного подобным образом материала кислорода в количестве около 10%, а также соответствующее снижение содержания углерода, хрома и титана [4].

Для анализа процессов, происходящих при ударно-волновом воздействии на порошковые смеси в этом случае нами с использованием программного комплекса Thermo-Calc был построен политермический разрез тройной системы Cr-C-Ti-O, соответствующий квазибинарной системе « $Cr_3C_2+40\%Ti-O$ » (рис.2).

Анализ полученного разреза показал, что при нормальных условиях в структуре полученного материала должны присутствовать Cr, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и TiC. Равновесной в системе является также газовая фаза CO, образование которой, по-видимому, и обуславливает наблюдаемое вспенивание.

Учитывая уровень температур, достижение которых приводит к появлению описанного дефекта (свыше 1000°C), можно предположить, что его образование является следствием начала взаимодействия компонентов сплава (и прежде всего титана) с кислородом воздуха. Это взаимодействие должно служить источником дополнительного разогрева поверхностных слоев твердого сплава, в результате чего можно ожидать не только самоускорения протекания реакций окисления, но и начала активного химического взаимодействия между Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> и Ti с образованием равновесных TiC и Cr.

Сохранение первоначального фазового состава полученного твердого сплава на участках непосредственно примыкающих к поверхности стальной подложки, на которой осуществлялось взрывное нагружение, может быть объяснено интенсивным теплоотводом в нее, препятствующим разогреву порошкового материала.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что при получении твердых сплавов взрывом существуют ограничения по допустимым значениям температуры разогрева порошковой смеси, обусловленные началом взаимодействия ее компонентов с кислородом воздуха.

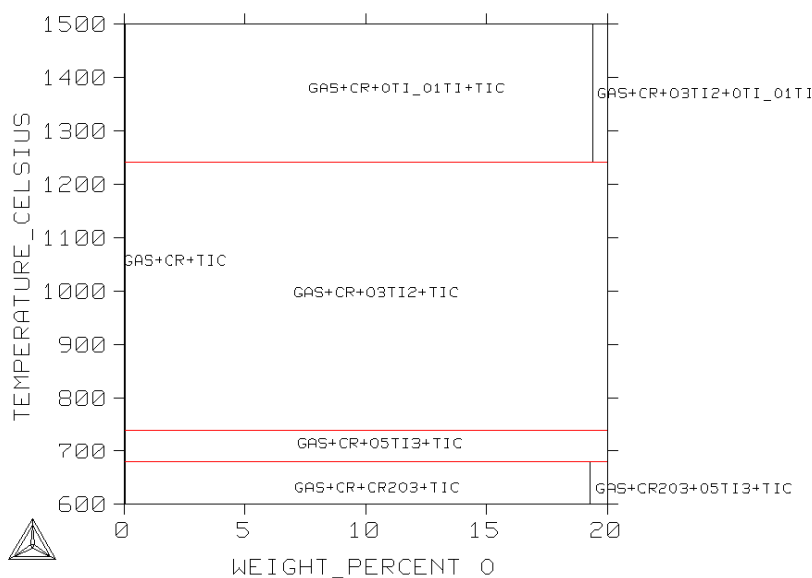


Рис. 2 – Квазибинарный разрез «твердый сплав(Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>+40% Ti)–кислород» фазовой диаграммы системы Cr-C-Ti-O

### Литература

1. Крохалев, А.В. Получение износостойких покрытий из смесей порошков карбида хрома с металлической связкой с использованием взрывного нагружения / А.В.Крохалев, В. О. Харламов, С. В. Кузьмин, В. И. Лысак // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия "Сварка взрывом и свойства сварных соединений". Вып. 4 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. –№ 5. - С. 117-122.
2. Крохалев, А.В. Закономерности формирования твёрдых сплавов из смесей порошков карбида хрома с титаном с использованием энергии взрыва / А.В. Крохалев, В.О. Харламов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. - 2012. - № 1. - С. 32-37.

3. Крохалев, А.В. Особенности формирования твёрдых сплавов из смесей порошков карбида хрома с титаном при взрывном прессовании / А.В. Крохалев, В.О. Харламов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, О.А. Авдеюк, А.В. Севостьянова // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 13 (100). - С. 18-23.

4. Исследование формирования твёрдых сплавов при взрывном прессовании смесей порошков карбида хрома с титаном / В.О. Харламов, А.В. Крохалев, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак, В.Д. Рогозин // Изв. ВолгГТУ. Серия "Сварка взрывом и свойства сварных соединений". Вып. 5 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 14 (101). - С. 99-109.

## **ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ**

Полянчикова М. Ю.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена возможность применения активных технологий обучения при освоении студентами модульных образовательных программ высшего профессионального образования.

### **Using the quality function deployment methodology in planning of production. Polyanchikova M. Yu.**

The application of training active technologies at development by students of higher education modular educational programs.

Модульно-компетентностный подход, заложенный федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС) профессионального образования, представляет собой концепцию организации учебного процесса, в которой в качестве цели обучения выступает совокупность профессиональных компетенций обучающегося [1].

Переход на программы модульного обучения ознаменовал собой формирование новой педагогики профессионального образования. Преподаватели ВУЗов должны коренным образом пересмотреть организацию учебного процесса и содержание образования в контексте внедрения новых подходов и оценке профессиональных и общих компетенций обучающихся и организации производственной практики, учитывая, что выпускник в будущем столкнется со значительным числом практических проблем. Поэтому главной задачей высшей школы становится развитие именно творческих качеств личности, способности воспринимать и перерабатывать новые научные идеи, анализировать и применять их в условиях самостоятельной профессиональной деятельности.

Для реализации такой цели необходимо способствовать развитию у студентов познавательных процессов, разрабатывая систему заданий творческого характера, позволяющую приобретать знания, умения и навыки в процессе активной познавательной деятельности.

Благодаря разработанным заданиям творческого характера удалось получить следующие результаты, представленные в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты освоения программы студентами технической специальности очной формы обучения

Наименование показателя	Средняя оценка по группе	
	активное обучение	традиционное обучение
Процент вовлеченности студентов в образовательный процесс	75%	60%
Процент усвоения студентами знаний по модулю	89,3	76,4%
Средний балл в группе по предмету	96,3	85,4
Средний балл в группе по смежному предмету	82,4	75,2

Как видно из представленных данных в таблице 1, активизация процесса обучения оказывает положительное влияние на организацию познавательной деятельности студента.

### Литература

1. Бабанова, И. А. Деловые игры в учебном процессе /И. А. Бабанова // Научные исследования в образовании. – 2012. – № 7. – С. 19-24.
2. Кларин, М. В. Интерактивное обучение — инструмент освоения нового опыта / М. В. Кларин // Педагогика. — 2000. — № 7.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИЙ КАЧЕСТВА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОДУКЦИИ

Полянчикова М. Ю., Петрова Ю. В.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена возможность применения методологии структурирования функций качества при проектировании продукции трубного производства.

### **Using the quality function deployment methodology in planning of production. Polyanchikova M. Yu., Petrova Yu. V.**

The application of quality function deployment methodology to plan tubular goods.

Проектирование конкурентоспособной продукции требует от служб предприятия не только изготовления качественной продукции, удовлетворяющей требования потребителей, но и продукции, превосходящей возможности конкурентов. Такая технология сочетания бенч-маркинга с анализом требований потребителей носит название методологии структурирования функций качества (метод QFD). [1, 2]

По результатам проведенных аналитических работ составлена таблица (называемая в рамках методологии «Дом качества»), содержащая информацию по: требованиям потребителей; возможностям волгоградского предприятия их удовлетворить и показателям продукции конкурентов. По результатам анкетирования проведена статистическая обработка результатов, которая позволила не только



определить степень важности требований для потребителя, но и оценить степень достоверности и адекватности результатов.

Использование методологии QFD оказалось весьма полезным при проектировании нового вида продукции трубного завода в г.Волгограде.

### Литература

1. Канне, М.М. Системы методы и инструменты менеджмента качества: Учебник для вузов / Канне М.М., Иванов Б.В., Корешков В.Н., Схиртладзе А.Г. //Под ред. М.М.Кане. – СПб.: Питер, 2009. – 560 с.

2. Маркушина, Е. Структурирование функций качества (QFD) [Электронный ресурс] / Е. Маркушина. – 2010. – Режим доступа: <http://www.kinsmark.com/index.php/ru/marketing/229-qfd1>

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПО ФУНКЦИИ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ СТОХАСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Лавеева К. А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

В статье описывается методика идентификации системы по функции автокорреляции вероятностного сигнала ее на выходе. Данная методика основана на представлении функции автокорреляции в качестве импульсной характеристики цифрового фильтра и его последующей идентификации рекуррентным методом наименьших квадратов, а также методами Прони и Стейглица-МакБрайта.

### Identification of linear system on the stochastic signal autocorrelation function.

**Laveeva K. A.**

This article describes how to identify the system on the autocorrelation function of stochastic output signal. This methodology is based on the representation of the autocorrelation function as the impulse response of the digital filter and the subsequent identification of the recurrence method of least squares, as well as Prony and Steiglitz-McBride methods.

В инженерной практике часто возникают задачи, требующие идентификации какого-либо блока моделируемой системы. Предположим, что такой блок (далее - первичный преобразователь) не может быть идентифицирован стандартными методами. Если для дальнейшего проектирования системы необходимо получить аналитическую модель стохастического процесса, возникающего на выходе системы, можно применить описанную в данной статье методику для идентификации системы по автокорреляционной функции выходного сигнала.

Из проведенного литературного анализа следует, что подобная задача решалась А.Н. Лебедевым и др. [1]. Однако предложенный им подход является трудно формализуемым в случае систем высоких порядков, и используемый автором метод идентификации не является оптимальным.

Рассмотрим подход к решению данной задачи, при условии, что первичный преобразователь – аналоговое устройство с передаточной функцией  $W(p)$ , на выходе которого возникает дискретизированный сигнал, для которого можно определить набор отсчетов функции автокорреляции  $R_y[n]$ .

В данной статье предлагается осуществлять расчет функции корреляции на выходе аналоговой системы, используя следующее соотношение [1]:

$$R_y(p) + R_y(-p) = W(p)W(-p) \cdot [R_x(p) + R_x(-p)], \quad (1)$$

где  $R_x(p)$ ,  $R_y(p)$  - изображения по Лапласу корреляционных функций аналоговых сигналов на входе и выходе непрерывной системы с дробно-рациональной передаточной функцией  $W(p)$  в устойчивой форме. Следовательно, если на входе системы возникает вероятностный сигнал с известной функцией автокорреляции  $R_x(\tau)$  то, получив изображение  $R_y(p)$  функции корреляции сигнала на выходе, можно определить  $W(p)$  посредством факторизации спектральной плотности мощности [2].

Поскольку при моделировании на ЭВМ все модели блоков и сигналов являются цифровыми, идентификация функции автокорреляции, как импульсной характеристики некоторой системы, приведет к получению передаточной функции  $W_r(z)$  в виде  $z$ -изображения. Следовательно, в дальнейшем потребуется осуществить переход от цифровой передаточной функции к непрерывной  $W_r(p) = R_y(p)$ .

Наиболее пригодным для программной реализации на ЭВМ является метод отображения дифференциалов ( $z$ -форм), согласно которому переход от переменной  $z$  к  $p$  осуществляется путем замены переменных в выражении для передаточной функции  $W_r(z)$  следующим образом:

$$z = pT + 1, \quad z = 1/(1 - Tp), \quad z = (2 + Tp)/(2 - Tp), \quad (2)$$

где  $T$  - период дискретизации.

Было выяснено [3], что наименьшей погрешностью в данном случае обладает метод прямой разности, т.е. переход по формуле:  $z = pT + 1$ .

Таким образом, требуется определить  $a_m$ ,  $b_l$  - коэффициенты полиномов числителя и знаменателя идентифицируемой передаточной функции в  $z$ -форме:

$$W_r(z) = R_y(z)/T = (a_0 z^m + a_1 z^{m-1} + \dots + a_m) / (b_0 z^l + b_1 z^{l-1} + \dots + b_l) \quad (3)$$

методами идентификации по импульсной характеристике цифрового фильтра.

Проведенный литературный обзор показал, что наиболее пригодными для решения поставленной задачи являются такие параметрические методы идентификации, как рекуррентный метод наименьших квадратов, метод Прони и метод Стейглица-МакБрайта. Следует заметить, что данные методы предполагают известным порядок передаточной функции  $W_r(z)$  или  $W_r(p)$ .

Рассмотрим применение описанной методики идентификации системы на примере первичного преобразователя с передаточной функцией вида:

$$W(p) = \frac{K}{1 + T_1 p + T_2 p^2} \cdot \frac{K_1}{1 + T_3 p},$$

где  $K=2$ ,  $K_1=5$ ,  $T_1=1$ ,  $T_2=3$ ,  $T_3=5$ , на вход которого поступает вероятностный сигнал в виде белого шума со спектральной плотностью  $S_0=1$ .

Была вычислена несмещенная оценка корреляционной функции (отнесенная к периоду дискретизации) выходного сигнала, смоделированного в системе *matlab*. Выходной сигнал моделировался посредством функции *lsim*, с периодом дискретизации  $T=0.001$ , при входном воздействии в виде белого шума. Согласно описанной методике,

была проведена идентификация по несмещенной оценке автокорреляционной функции, представленной в качестве импульсной характеристики некоторой системы.

При этом рекуррентный метод наименьших квадратов привел к неудовлетворительным результатам идентификации.

Характеристика, полученная методом Прони, была наиболее близкой к аналитической автокорреляционной функции. Хотя метод Стейглица-МакБрайда более устойчив, он является чувствительным к округлению, что ограничивает его применение в системе с целочисленной арифметикой. Проведение идентификации данными двумя методами по аналитической функции автокорреляции привело к довольно малой абсолютной погрешности - порядка  $10^{-5}$ .

Таким образом, описанная методика может применяться для идентификации системы по автокорреляционной функции выходного сигнала, и наиболее пригодным методом идентификации является метод Прони, который обеспечивает наименьшую погрешность.

### Литература

1. Методы цифрового моделирования и идентификации стационарных случайных процессов в информационно-измерительных системах / А. Н. Лебедев и др. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 64 с.
2. Быков, В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике / В. В. Быков. – М. : Изд-во «Советское радио», 1971. – 325 с.
3. Шилин, А. Н. Анализ погрешностей цифрового моделирования корреляционной функции шумового сигнала / А. Н. Шилин, К. А. Лавеева // Приборы. - 2012. - № 7. - С. 37-43.

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

Шилин А.Н., Медведев В.В.

*Волгоград. Волгоградский государственный технический университет*

В работе проведен анализ существующих систем управления технологическим процессом лазерной термообработки деталей. Рассмотрены структура системы автоматического контроля режимов лазерного термического упрочнения и алгоритм её работы.

### **Automatic control system for the laser hardening, Shilin A.N, Medvedev V.V.**

Control systems for the laser treatment process were analyzed in the paper. The structure of the automatic control system for laser hardening with continuous modes correction was designed and algorithm of its work was described.

В машиностроении широко применяется технологический процесс лазерного термического упрочнения (ТП ЛТУ), который предназначен для поверхностного упрочнения деталей машин, работающих в тяжелых условиях. Для повышения качества термообработки и внедрения систем автоматизации необходимо внедрение информационных систем контроля, позволяющих управлять режимами термообработки в реальном времени.

Основным показателем качества поверхности после её упрочнения лазерным излучением является глубина упрочненного слоя. Поэтому основной задачей разработки информационных систем является получение оперативной информации о глубине упрочненного слоя на основе поверхностного распределения температурного поля в зоне обработки.

Максимально достигаемая глубина закалки на оси лазерного излучения при упрочнении без оплавления поверхности определяется с помощью известных выражений [1]. Однако расчетные зависимости не позволяют точно определить глубину из-за влияния множества случайных факторов. На практике контроль глубины и микроструктуры упрочненного слоя детали после обработки производят стандартным металлографическим методом, что приводит к порче заготовок. Более совершенными являются лазерные системы, в состав которых входит звено обратной связи, предназначенное для точечного контроля температуры в зоне обработки [2]. Недостатком таких систем является невозможность оценки глубины упрочненного слоя, которая является основным показателем результата термообработки

Современное оборудование лазерного термического упрочнения оснащается системами управления, которые содержат тепловизоры [3], позволяющие осуществлять контроль поверхностного распределения температур детали и по поверхностному градиенту вычислять градиент по глубине закалки, определяющий процесс теплового воздействия. Известные системы содержат в своем составе матрицу приемников излучения. Однако такое устройство обрабатывает избыточную информацию, поскольку изображение перемещается относительно матрицы и создает дополнительные «геометрические шумы» [4].

С целью повышения быстродействия авторами предложено использовать линейный многоэлементный приемник инфракрасного (ИК) излучения, который позволит получать информацию о распределении температуры по поверхности детали на линии, перпендикулярной траектории обработки (см. рисунок 1). Линейка ИК-приёмников установлена с возможностью перемещения вдоль траектории обработки с целью снижения влияния «паразитного» излучения от приповерхностной плазмы в зоне обработки. Рабочее положение приемника выбирается автоматически таким образом, чтобы обеспечивался максимально возможный уровень выходного сигнала с центрального приемника при сохранении заданного закона распределения температуры на поверхности детали по линии визирования.

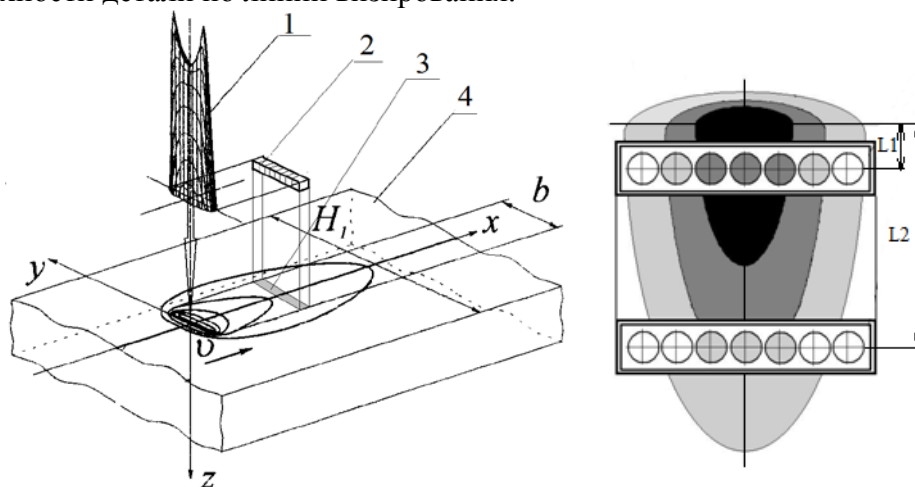


Рисунок 1. Схема положения приемника инфракрасного излучения:  
1 – лазерный луч; 2 – многоэлементный линейный ИК-приемник; 3 – линия визирования; 4 – обрабатываемая поверхность.

Разработанная система (рисунок 2) состоит из источника лазерного излучения 1, оптической головки 2, линейки фотоприемников 3, микропроцессора 4, контроллера исполнительных механизмов 5, панели управления 6, привода перемещения рабочего стола 7 и привода фотоприемников 8. Мощность лазерного излучения  $P_0$  задается напряжением источника 1 при помощи блока питания 9. Начальная скорость обработки  $v_0$  регулируется посредством привода перемещения рабочего стола 7. Каждый элемент приемника снабжен светофильтром 10, а также усилителем 11.

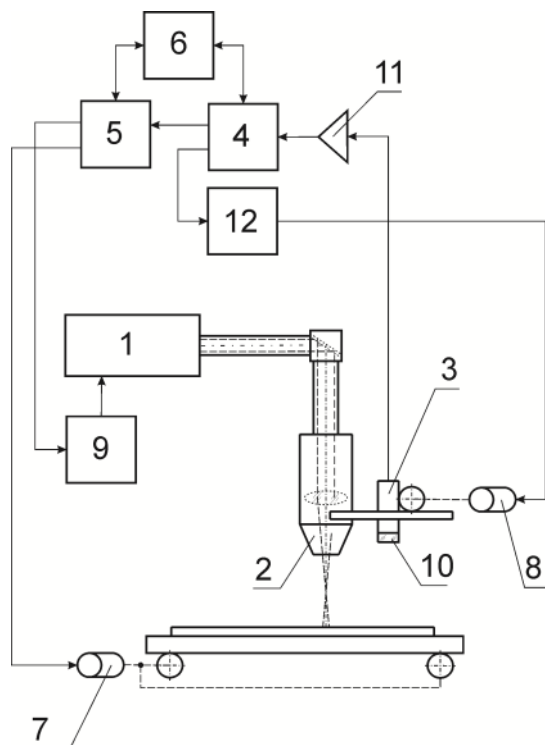


Рисунок 2. Автоматическая система управления лазерным термическим упрочнением

В начале обработки требуемая глубина упрочнения  $z$ , параметры изделия и технологического процесса задаются оператором при помощи панели управления 6. При заданных величинах распределение температурного поля  $T$  и требуемой глубины закаленной зоны  $z$ , однозначно определяют оптимальные параметры технологического режима. Смещение приемника 3 (см. рисунок 1) зависит от текущей скорости обработки и корректируется микропроцессором 4.

Разработанная информационно-управляющая система обладает более высоким быстродействием, чем системы на основе матричных фотоприемников.

### Литература

1. Андрияхин, В. М. Процессы лазерной сварки и термообработки / В. М. Андрияхин. – М. : Наука, 1988. – 176 с.
2. Акулина, Г.А. Г.А. Лазерная закалка деталей машин: обзор / Г. А. Акулина, Э. С. Цырлин. – М. : НИИмаш, 1984. – 64 с.
3. Кирилина, А. Н. Обоснование параметров процесса и автоматизации лазерного термического упрочнения лезвийных инструментов / А. Н. Кирилина // Мехатроника, автоматизация, управление. Приложение. – 2007. – № 7. – С. 6-11.

4. Сергунов, А. А. Методы коррекции неравномерности чувствительности инфракрасных матричных фотоприемников / А. А. Сергунов // Известия вузов. Приборостроение. Т52. – 2009. – № 8. – С. 38-41.

## **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Стрижиченко А.В.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена возможность применения информационно-измерительной системы для управления нелинейным технологическим процессом сушки древесины.

### **Information-measuring system for process control of wood drying Strizhichenko A.V.**

The possibility of use of information and measuring system for management of nonlinear technological process of drying of wood is considered.

Древесина является сложным объектом, т.к. обладает неоднородной структурой и характеризуется различными свойствами в различных направлениях.

В настоящее время сушка древесины на предприятиях проводится в конвекционных сушильных камерах по сушильной программе, согласно которой в пространстве камеры параметры сушильного агента изменяются по заданному расписанию.

Процессы влагопереноса в древесине сложны. Движущими его силами при сушке являются градиенты влажности, температуры и давления, и повышенные их значения могут привести к необратимым механическим изменениям в материале. Неравномерность влажности различных слоев древесины приводит к значительным затруднениям при её сушке. Необходимо также учитывать свойство термовлагопроводности древесины при проведении сушки. Если одна зона древесины нагрета сильнее, чем другая, то в материале возникает интенсивный поток влаги от более горячих зон к более холодным.

В процессе сушки древесина может нежелательно изменить окраску под воздействием высокой температуры и влажности сушильного агента, однако при высоких температурах в древесине уничтожаются гнилостные бактерии, грибок и личинки дереворазрушающих насекомых.

Поддержание высокого градиента влажности в процессе сушки приводит к быстрому удалению влаги, сокращает время сушки, однако в таком режиме велика вероятность коробления и растрескивания материала.

При низком градиенте влажности сушка древесины будет качественной, однако продолжительность её и энергозатраты велики, а сам процесс - неэкономичным.

Для обеспечения оптимального сушильного процесса необходимо управление технологическим процессом с учетом обратных связей, которое позволит оценивать градиенты температуры и влажности и не допускать их критических значений.

На рис. 1 представлена функциональная схема информационно-измерительной системы для управления процессом сушки древесины.

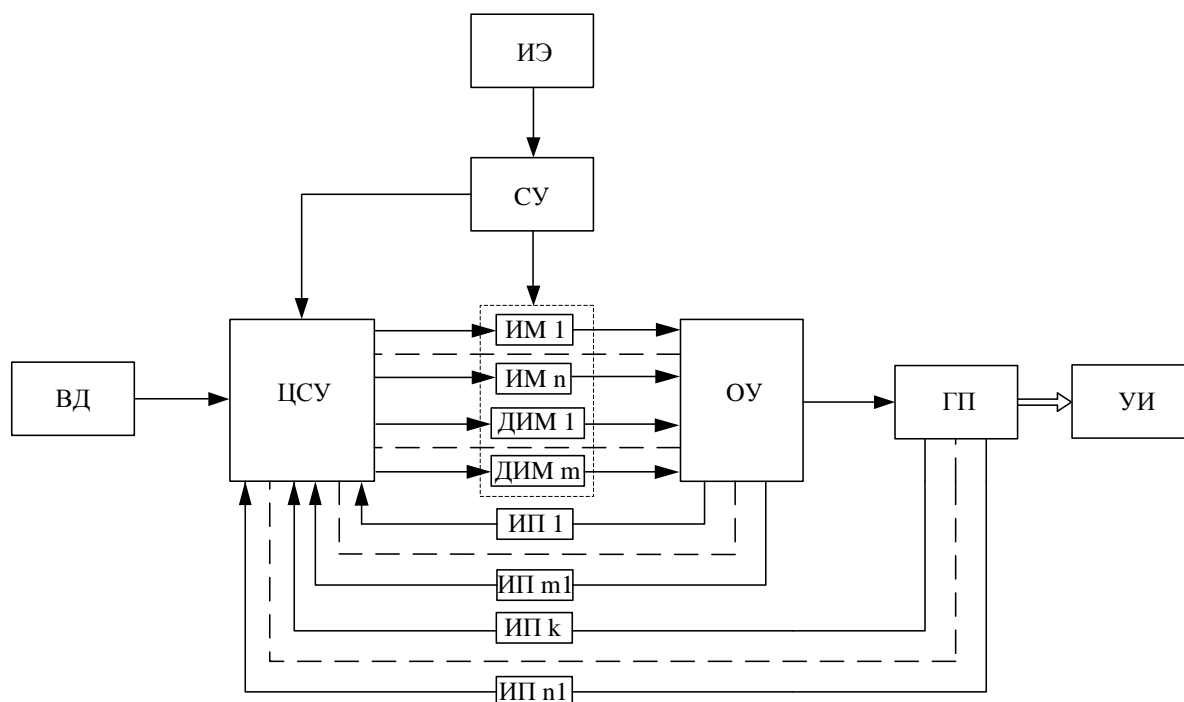


Рис. 1 Функциональная схема ИИС для управления процессом сушки древесины

ВД - блок ввода данных;  
 ЦСУ - цифровая система управления;  
 ИЭ - источник энергии;  
 СУ - система учета энергии;  
 ИМ - исполнительный механизм;  
 ДИМ - дополнительный исполнительный механизм;  
 ИП - измерительный преобразователь;  
 ОУ - объект управления;  
 ГП - система контроля качества готовой продукции;  
 УИ - устройство индикации.

Цифровая система позволит проводить низкодефектную и экономичную сушку древесины, т.е. обеспечить баланс между затратами энергии, качеством материала и длительность процесса.

### Литература

1. [Стрижиченко, А.В.](#) Применение численного анализа для исследования режимов сушки древесины / [А.В. Стрижиченко](#) // Математические методы в технике и технологиях : сб. матер. XXV междунар. науч. конф.: в 10 т. Т 8. секция 12. - Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012. - 216 с.
2. [Шилин, А.Н.](#) Прибор контроля влажности древесины, реализующий оптический и диэлькометрический принципы действия / [А.Н. Шилин, А.В. Стрижиченко](#) // Приборы. - 2012. - № 3. - С. 58-62.
3. Сушильный процесс. Теория сушки древесины  
<http://www.snables.debryansk.ru/Teory.htm>

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Шилин А.Н., Шилин А.А.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет.*

В работе приведена информационно-измерительная система определения места повреждения (ОМП) воздушной линии электропередачи (ВЛЭП). Принцип работы системы основан на регистрации изменения электромагнитного поля вокруг ВЛЭП при аварийных режимах. Логический блок по измеренным сигналам определяет вид аварийного режима. Информация об аварийном режиме передается на диспетчерский пункт.

### **Information measuring system for monitoring overhead power lines. Shilin A.N., Shilin A.A.**

The paper contains information and measuring system for determining the location of the damage (WMD) overhead transmission line (overhead lines). The system works based on the registration of the change of the electromagnetic field around the overhead lines in emergency conditions. Logical block the measured signals determines the type of emergency mode. Information about the emergency mode is transmitted to the control station.

В настоящее время энергетическая система России характеризуется высокой степенью морального и физического износа, высокими потерями и пониженным уровнем надежности. Поэтому вопрос о модернизации энергетической системы является весьма актуальным и поэтому необходим выбор наиболее перспективного развития энергетики, основанного на последних достижениях отечественной и мировой науки и техники. Необходимо отметить, что во многих странах мира ведутся работы по созданию интеллектуальных электрических сетей (*Smart Grid*, «умных», в России — активно-адаптивных сетей). Интеллектуальные сети это сложный технический комплекс, который в автоматическом режиме должен выявлять наиболее слабые и аварийно опасные участки сети, а затем корректировать характеристики и схему сети с целью предотвращения аварий и снижения потерь. Таким образом, интеллектуальные сети должны в своем составе содержать системы контроля аварийных режимов и передачи информации. Для решения проблемы регистрации аварийных режимов авторами была разработана (рисунок 1) информационно-измерительная система [1] (ИИС).

Система содержит блок первичной обработки информации, в состав которого входят датчики двух величин: напряженности электрической поля  $E$  и индукции магнитного поля  $B$ . Датчики электрического поля



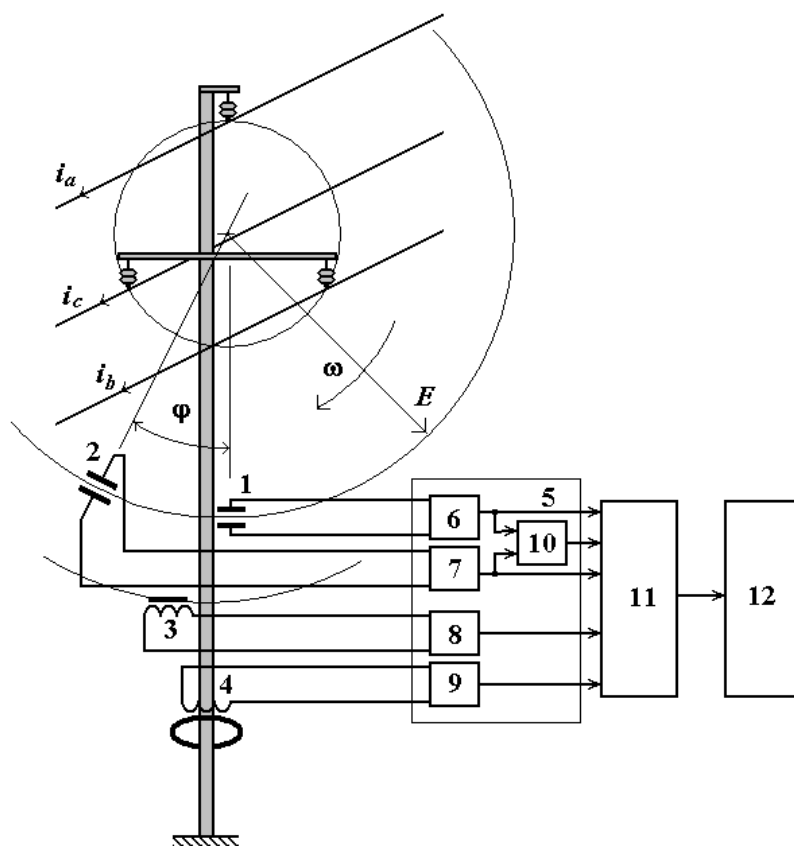


Рисунок 1 – Функциональная блок-схема ИИС

представляют собой конденсаторы емкостью  $C$ , а датчики магнитного поля представляют собой катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником. Датчики 1 и 2, регистрируют суммарную напряженность электрического поля  $E$ , создаваемую всеми проводами линии. Датчики 1 и 2 устанавливаются в плоскости, которая перпендикулярна проводам ВЛЭП, с угловым относительным смещением  $\varphi$  по окружности, центр которой совпадает с центром окружности, проходящей через центры поперечных сечений трех проводов. Датчик магнитного поля 3, регистрирует индукцию магнитного поля  $B$ , создаваемую проводами линии, и установлен таким образом, что ось ферромагнитного сердечника совпадает с окружностью, центр которой совпадает с центром проходящей через три провода описанной окружности. Кроме того, блок первичной обработки информации содержит датчик тока короткого замыкания (КЗ) по опоре ВЛЭП 4, который регистрирует магнитное поле тока КЗ. Датчик 4 выполнен в виде катушки индуктивности с замкнутым вокруг опоры ВЛЭП ферромагнитным проводом.

Сигналы с датчиков 1, 2, 3, 4 поступают на входы блока обработки сигналов 5, который содержит набор усилителей 6, 7, 8, 9 и устройство определения сдвига фаз сигналов 10, на вход которого поступают сигналы с усилителей 6 и 7. При нормальном режиме вектор электрического поля  $E$  вращается с угловой скоростью  $\omega = 2\pi f$  относительно центра окружности, проходящей через три провода ВЛЭП. Сигналы датчиков электрического поля 1 и 2 отличаются сдвигом фаз  $\varphi$ , определяющимся угловым смещением. Необходимо отметить, что вращение вектора электрического поля  $E$  обусловлено временным сдвигом фаз напряжений в трехфазной системе и пространственным расположением проводов [2]. Поэтому в нормальном режиме

работы воздушной линии на выходе устройства определения сдвига фаз сигналов 10 инициируется единичный сигнал. При работе двух фаз вектор электрического поля пульсирует, но не вращается и его значение максимально по направлению линии, проходящей через оси проводов двух работающих фаз, а минимально по направлению оси симметрии этих двух проводов. Поэтому по анализу сигналов с усилителей 6 и 7 можно определить фазу, в которой произошел обрыв. Устройство определения сдвига фаз сигналов 10 позволяет повысить достоверность распознавания двух режимов: режим нормального функционирования ВЛЭП и режим полного отключения сети. Поскольку в трехфазной системе при нормальной работе суммы токов и напряжений близки к нулю, а при полном отключении сети суммы токов и напряжений равны нулю, т.е. отличаются незначительно, то при некоторых случайных факторах распознать два режима с помощью сигналов с датчиков 1, 2 и 3 практически сложно. Сигналы с усилителей 6, 7, 8, 9 и устройства определения сдвига фаз сигналов 10 поступают на логический блок обработки информации 11, который по поступающим сигналам идентифицирует вид аварийного режима. Сигналы об аварийном режиме и его координате с блока 11 передаются с помощью блока передачи информации 12, выполненного в виде GSM/GPRS модема, на диспетчерский пункт.

### Литература

1. П.м. 100632 Российская Федерация, МПК G 01 R 31/08. Устройство для определения местоположения и вида повреждения на воздушной линии электропередачи / А.А. Шилин, А.Н. Шилин, В.С. Лукьянов ; ГОУ ВПО ВолгГТУ. – 2010.
2. Нейман, Л. Р. Теоретические основы электротехники. В 3 т.Т. 1 / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. – СПб. : Питер, 2003. – 443 с.

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА КОЛЕБАНИЙ МНОГОЯРУСНОЙ ТАРЫ В КУЗОВЕ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Раюшкина А.А., Ширяев С.А., Крашенинников А.В., Бакумова М.С.  
*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Разработаны алгоритм и программа расчета на языке Turbo Paskal – 7.0 математической модели колебаний многоярусной тары в кузове автомобиля в результате воздействия случайных дорожных неровностей.

**Development of algorithm and program of the calculation of fluctuations of a multi-tier of containers in the back of the truck. Rayushkina A.A., Shiryaev S.A., Krashenninnikov A.V., Bakumova M.S.**

Developed algorithm and calculation program in Turbo Paskal - 7.0 mathematical model of oscillations of a multi-tier of containers in the body of the vehicle as a result of the impact of random road irregularities.

В настоящее время только третья часть овощей и фруктов доходят до стола потребителей с соответствующим качеством. В денежном выражении эти потери ежегодно составляют примерно 30 млн. долл. [1]. Приведенные данные говорят об актуальности работ, направленных на снижение потерь плодоовощной продукции на всех этапах ее доставки потребителям. Максимальный уровень качества можно

получить только при наличии возможности выбора оптимальной технологии (гибкой технологии перевозки). Для проектирования такой технологии, позволяющей изменяться (перестраиваться) в зависимости от уровня качества входящей продукции, начиная с этапа ее уборки, авторами была выполнена работа, направленная на снижение потерь плодоовощной продукции.

Одним из основных эксплуатационных требований, предъявляемых к современному автомобилю, является максимальное повышение плавности его хода, так как колебания кузова автомобиля отражаются на сохранности перевозимого груза и самого автомобиля. В результате экспериментальных и теоретических исследований в этой области была разработана математическая модель колебаний многоярусной тары с грузом в подрессоренном кузове автотранспортного средства, позволяющая определять параметры абсолютных и относительных колебаний единицы тары и величину ее отрыва от своего нулевого положения [2, 3, 4].

На основе этой модели разработаны алгоритм и программа расчета на языке Turbo Paskal – 7.0. Реализация программы на ЭВМ позволила провести расчет ускорений, скоростей, перемещений кузова автомобиля с грузом при различных условиях движения и величину отрыва груза от пола кузова автомобиля. Вид окна ввода исходных данных приведен на рисунке 1.

Parameter Description	Value	Selected
Введите собственную массу автомобиля в кг. [ Ma ]	6800	<input type="radio"/>
Введите массу 1 единицы тары с грузом в кг. [ mt ]	50	<input type="radio"/>
Введите число единиц тары по горизонтали [ nj ]	18	<input type="radio"/>
Введите число единиц тары в поперечном направлении [ nd ]	6	<input type="radio"/>
Введите высоту неровностей дороги в м. [ A ]	0.009	<input type="radio"/>
Введите скорость автомобиля в м/с [ Va ]	5.56	<input checked="" type="radio"/>
Введите длину волны неровностей дороги в м. [ l ]	1.8	<input type="radio"/>
Введите суммарную жесткость всех упругих элементов всех подвесок автомобиля в Н/м [ c ]	890000	<input type="radio"/>
Введите суммарный коэффициент сопротивления амортизатора всех демпфирующих элементов всех подвесок автомобиля в Н/(м/с) [ r ]	4000	<input type="radio"/>
Введите жесткость 1 единицы тары в Н/м [ ct ]	2000	<input type="radio"/>
Введите коэффициент неупругого сопротивления 1 единицы тары в Н/(м/с) [ rt ]	200	<input type="radio"/>
Введите время транспортирования (с) [ Tt ]	10	<input type="radio"/>
Величина изменения параметра	2.78	
Количество изменений	9	

Рисунок 1 – Вид окна ввода исходных данных

Результаты расчетов по данной модели позволяют сделать вывод о влиянии каждого из исходных параметров (масса груза, собственная масса автомобиля, скорость его движения, высота и длина волны неровности дорожного покрытия, жесткость упругих элементов подвески и пр.) на повреждаемость плодоовощной продукции, а

также оценить взаимное влияние этих параметров на повреждаемость. Вид окна, показывающего некоторые результаты исследования, приведен на рисунке 2.

Правильность расчетов по модели была подтверждена экспериментальными данными.

Предлагаемая математическая модель позволяет на стадии проектирования технологического процесса доставки плодоовощной продукции определить степень ее повреждения и в соответствии с этим выработать требования к автотранспортным средствам, таре и упаковке данной продукции и прочим параметрам технологического процесса доставки плодоовощной продукции потребителям с целью сокращения ее потерь и повреждений.

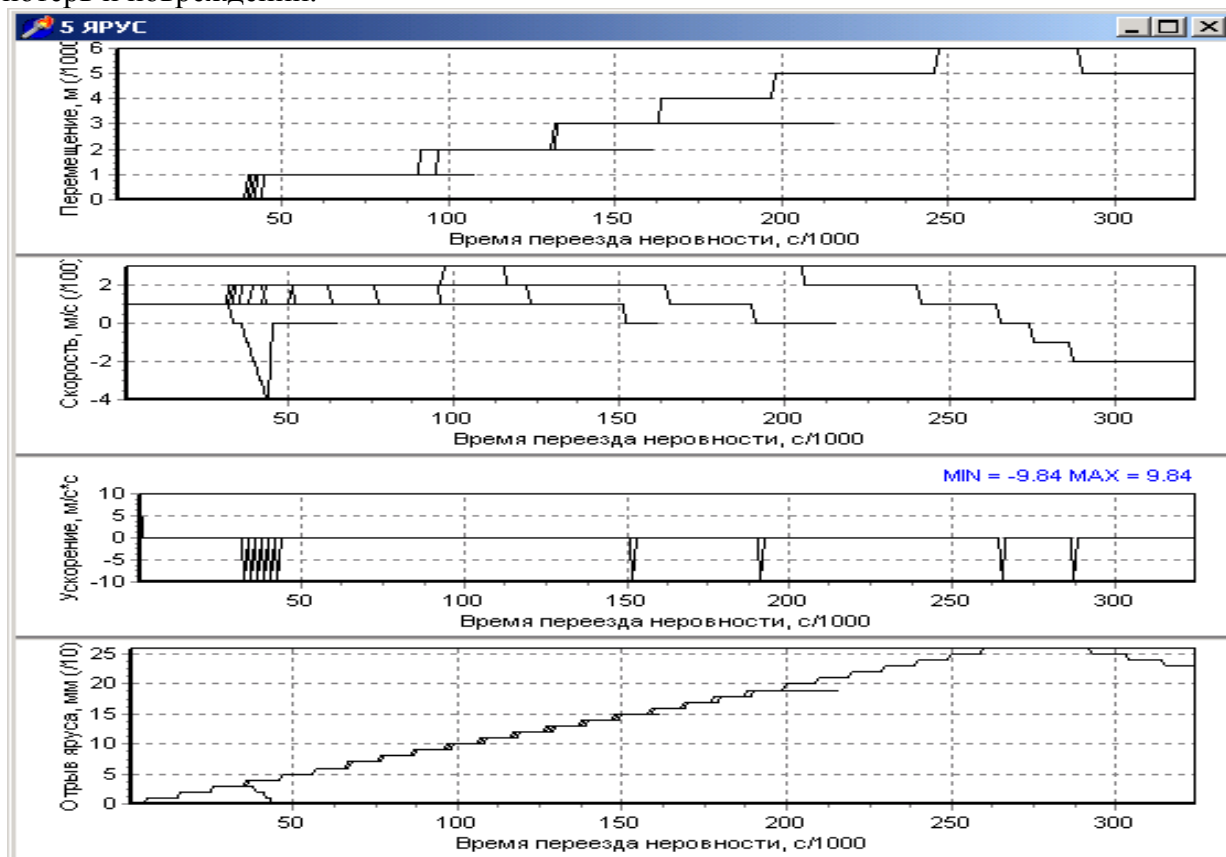


Рисунок 2 – Вид окна, показывающего результаты исследования

### Литература

1. Ганченко, Г. И. Обеспечение населения больших городов и промышленных центров скоропортящейся продукцией / Г. И. Ганченко // Автомобильный транспорт. – 1993. – №11-12. – С.14-16.
2. Воздействие виброускорений на повреждаемость плодоовощной продукции при ее доставке потребителям автомобильным транспортом / В.А. Гудков, С.А. Ширяев, Е.В. Балакина, А.А. Раюшкина // Изв. ВолгГТУ. Сер. Транспортные наземные системы: Межвуз. сб. науч. статей / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – Вып.1, №3. – С. 119-124.
3. Гудков, В.А. Снижение повреждений плодоовощной продукции / В.А. Гудков, С.А. Ширяев // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2005. – № 9. – С. 18-23.

4. Раюшкина, А.А.. Повышение сохранности плодоовощной продукции при ее доставке потребителям автомобильным транспортом: автореф. дис. канд. техн. наук / А.А. Раюшкина. – М., 2004. – 15 с.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПассаЖИРОВ И ОПЕРАТОРОВ РЫНКА ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Ширяев С.А., Куликов А.С., Раюшкина А.А., Макаров И.В.  
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрены основные направления развития информационного обеспечения пассажиров и операторов рынка городского транспорта, повышающие качество их обслуживания.

**The main directions of the development of the information support of the passengers and operators of urban transport. Shiryayev S.A., Kulikov A.S., Rayushkina A.A., Makarov I.V.**

In the article, we discussed the main directions of development of the information security of passengers and operators of public transport, increase the quality of their service.

К перспективам развития информационного обеспечения городского пассажирского транспорта относятся направления, которые в первую очередь обеспечивают пассажиров необходимой, своевременной, достоверной и качественной информацией. Исходя из ГОСТ Р 51004-96 «Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества» показатели информационного обслуживания пассажирских перевозок неразрывно связаны с показателями качества перевозочного процесса (рис.1).

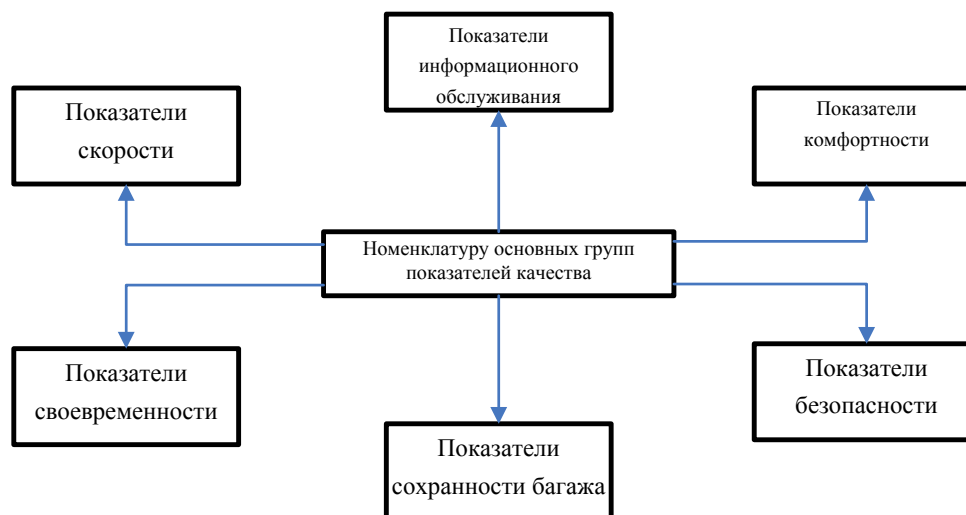


Рисунок 1. Номенклатура основных групп показателей качества пассажирских перевозок

Показатели информационного обслуживания характеризуют особенности пассажирских перевозок, обуславливающие периодичность доведения до пассажиров

сведений, необходимых для принятия ими правильных решений в процессе пользования услугами городского пассажирского транспорта.

К показателям информационного обслуживания относят частоту передачи информации: об отправлении и прибытии транспортных средств (ТС); о предоставляемых пассажирам услугах и их стоимости; о размещении объектов инфраструктуры по пути следования транспорта, таких например, как остановочные и пересадочные пункты, пункты связи, общественного питания, медицинского обслуживания, учреждений культуры, постов полиции и др.

Все перечисленные выше показатели являются критериями качества информационного обслуживания перевозочного процесса, а уровень этого обслуживания определяется степенью удовлетворения всех участников транспортного процесса вышеперечисленными показателями.

Перспективы развития информационного обеспечения видятся в интегрировании существующих информационных систем, решающих частные задачи, в общую систему, информирующую всех участников транспортного процесса и в первую очередь пассажира и перевозчика. Подобная система могла бы предоставлять более полную информацию с наименьшей погрешностью и высокой степенью надежности. Примером может быть сочетание спутниковых навигационных систем и систем видеонаблюдения. Система спутниковой навигации дает общее представление о движении транспорта по дороге, давая достаточно точные координаты местоположения транспортного средства и его скорости. Система видеонаблюдения позволяет следить за текущей ситуацией на дороге. В дополнение к этому автоматизированная система контроля оплаты проезда пассажиров и система вывода информации для их оповещения позволяет иметь максимально полную картину пассажиропотоков в городе [1, 2].

Есть все основания полагать, что видеонаблюдение займет значительное место в автоматизированных системах управления дорожным движением (АСУД). Технология компьютерной обработки изображений, сформированных при помощи телевизионной камеры, которая установлена вблизи определенного участка автодороги, обладает множеством неоспоримых преимуществ по сравнению с другими способами измерения характеристик транспортных потоков. Видеоизображение является наиболее полноценным и адекватным человеческому восприятию источником информации. В отличие от людей, автомобили как объекты наблюдения имеют более простой и предсказуемый характер движения – заранее известны область и возможные направления их движения. При правильной установке телекамеры корпуса отдельных автомобилей на трассе не закрывают друг друга. Всё это упрощает организацию видеонаблюдения за автомобилями и повышает качество работы подобных систем. Одновременно информация о транспортных средствах и характере их движения может представлять большую ценность для различных категорий потребителей.

Системы видеонаблюдения за транспортными средствами могут сообщать о скорости транспортных потоков, пробках на дорогах, ДТП и особо опасном либо запрещенном поведении транспортных средств. Сведения о пробках на дорогах будут полезны как для простых граждан, которые выбирают предполагаемый маршрут поездки, так и для государственных регулирующих служб – им это поможет принимать решения об удалении машин, блокирующих движение и т.д. Сообщения о ДТП станут автоматически передаваться в спасательные и аварийные (технические) службы. Если система анализа видео изображения дополнена модулем считывания номерных знаков машин, то данные, получаемые системой, могут использоваться для привлечения нарушителей к ответственности.

Сегодня особое внимание уделяется созданию специализированных модулей анализа видеоизображения, ориентированных на использование в составе перспективных систем управления и контроля дорожного движения. Такие модули решают следующие задачи: обнаружение ТС на динамическом изображении; распознавание класса и габаритов ТС, определение его координат, скорости, событий «остановка ТС в зоне наблюдения» и «начало движения ТС в зоне наблюдения»; обнаружение ТС на статическом изображении (отдельном кадре); сопровождение движущихся ТС при их переходе из зоны наблюдения одной телекамеры в зону наблюдения другой телекамеры; согласование работы обзорной телекамеры, дающей общий вид определенного участка, и PTZ-телекамеры, которая может наводиться на отдельный объект для распознавания государственного регистрационного номера.

### Литература

1. Ширяев, С.А. Совершенствование системы мониторинга транспортных потоков в городах / С.А. Ширяев, А.С. Куликов // Инновационные информационные технологии : матер. первой междунар. науч.-практ. конф., г. Прага, 23-27 апр. 2012 г. / Моск. гос. ин-т электроники и математики (МИЭМ) [и др.]. – М., 2012. – С. 494-495.
2. Ширяев, С.А. Использование IT-технологий для автоматизации систем оплаты проезда на общественном транспорте / С.А. Ширяев, О.В. Устинова, А.А. Раюшкина // Инновационные информационные технологии : матер. первой междунар. науч.-практ. конф., г. Прага, 23-27 апр. 2012 г. / Моск. гос. ин-т электроники и математики (МИЭМ) [и др.]. – М., 2012. – С. 497-499.

### АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА С ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛЬЮ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ И РАЗНЫМИ ЧИСЛАМИ ПЕКЛЕ ПО РЕАГИРУЮЩИМ КОМПОНЕНТАМ

Голованчиков А.Б., Дулькина Н.А., Аристова Ю.В.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Рассмотрена химическая реакция, когда числа Пекле диффузионной модели существенно зависят от свойств ионов или молекул реакционной массы, и предложен алгоритм численного расчета модели.

**Algorithm of calculation of the chemical reactor with diffusive model of streams structure and different peclet numbers of reacting components. Golovanchikov A.B., Dulkina N.A., Aristova Y.V.**

Chemical reaction with different Peclet numbers of diffusive model is considered, and the algorithm of numerical calculation of the model is offered.

Система дифференциальных уравнений для простой реакции вида  $A + B \rightarrow R$  с разными значениями чисел Пекле для каждого компонента имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{Pe_a} \cdot \frac{d^2 C_a}{dx^2} &= \frac{dC_a}{dx} + k \cdot \tau \cdot C_a \cdot C_B \\ \frac{1}{Pe_B} \cdot \frac{d^2 C_B}{dx^2} &= \frac{dC_B}{dx} + k \cdot \tau \cdot C_a \cdot C_B \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{1}{Pe_a} \left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{x=1} = \frac{1}{Pe_B} \left( \frac{dC_B}{dx} \right)_{x=1}.$$

Для системы дифференциальных уравнений выведены градиентные граничные условия:

$$\frac{1}{Pe_a} \left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{x=1} = \frac{1}{Pe_B} \left( \frac{dC_B}{dx} \right)_{x=1}$$

Алгоритм численного расчета может быть выбран следующим.

Дано:  $C_{a0}, C_{b0}, k, \tau, Pe_a, Pe_b$ .

1. Методом половинного деления рассчитывается градиент концентрации компонента А на выходе из реактора, лежащий между нулем – градиентом концентрации реактора идеального смешения и градиентом концентрации реактора идеального вытеснения

$$x = 1, \quad \frac{dC_a}{dx} = - \frac{C_{a0} \cdot C_{b0} (C_{a0} - C_{b0})^2 \cdot k \cdot \tau \cdot \exp[k \cdot \tau \cdot (C_{b0} - C_{a0})]}{\{C_{b0} \cdot \exp[k \cdot \tau \cdot (C_{b0} - C_{a0})] - C_{a0}\}^2},$$

то есть  $\left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{РИВ} < \left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{РДМ} < \left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{РИС},$

где аббревиатура РИВ, РДМ и РИС соответствует реакторам идеального вытеснения, рассчитываемому реактору с диффузионной моделью структуры потоков и реактору идеального смешения.

2. Для выбранного значения градиента  $\left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{x=1}$  определяется градиент  $\left( \frac{dC_B}{dx} \right)_{x=1}$ .

3. Методом половинного деления задается конечная концентрация  $C_{ак}$  между конечной концентрацией РИВ

$$C_{a \text{ РИВ}} = C_{a0} \frac{C_{b0} - C_{a0}}{C_{b0} \cdot \exp[k \cdot \tau \cdot (C_{b0} - C_{a0})] - C_{a0}},$$

и РИС

$$C_{a0 \text{ РИС}} = \sqrt{\left[ \frac{1 + k \cdot \tau \cdot (C_{b0} - C_{a0})}{2 \cdot k \cdot \tau \cdot C_{a0}} \right]^2 + \frac{1}{k \cdot \tau \cdot C_{a0}}} - \frac{1 + k \cdot \tau \cdot (C_{b0} - C_{a0})}{2 \cdot k \cdot \tau \cdot C_{a0}},$$

то есть  $C_{ак,РИВ} < C_{ак,РДК} < C_{ак,РИС}$

4. Определяется значение  $C_{вк}$ , соответствующее материальному балансу на выходе из реактора.

5. Задается интервал разбиения всей относительной длины  $\Delta x$ , например  $\Delta x = 0,001$ , и по численным формулам определяются локальные концентрации и градиенты



$$\begin{cases} C_{ai} = C_{a \ i-1} - \left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{i-1} \cdot \Delta x; \\ C_{Bi} = C_{B \ i-1} - \left( \frac{dC_B}{dx} \right)_{i-1} \cdot \Delta x; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \left( \frac{dC_a}{dx} \right)_i = \left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{i-1} + Pe_a \left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{i-1} \cdot \Delta x + k \cdot \tau \cdot Pe_a \cdot C_{ai} \cdot C_{Bi} \cdot \Delta x; \\ \left( \frac{dC_B}{dx} \right)_i = \left( \frac{dC_B}{dx} \right)_{i-1} + Pe_B \left( \frac{dC_B}{dx} \right)_{i-1} \cdot \Delta x + k \cdot \tau \cdot Pe_B \cdot C_{ai} \cdot C_{Bi} \cdot \Delta x. \end{cases}$$

И после 1000 итерации (для выбранного  $\Delta x = 0,001$ ) получаются значения  $C_{ан}$ ,  $C_{Вн}$ ,

$$\left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{x=0}, \left( \frac{dC_B}{dx} \right)_{x=0}.$$

6. Варьируя методом половинного деления значение  $C_{ак}$  внутри интервала, указанного в пункте 3, находится его значение, обеспечивающего выполнение граничного условия системы для компонента А, и определяется отклонение от граничного условия системы для компонента В.

7. Варьируя методом половинного деления значения градиента концентрации  $\left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{x=1}$  внутри интервала пункта (1) и повторяя математические операции пунктов

2-6, определяются такие значения  $\left( \frac{dC_a}{dx} \right)_{x=1}$  и  $C_{ак}$ , при которых выполняются оба граничных условия с заданной точностью.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА С МЕКАНУМ-КОЛЁСАМИ В СИСТЕМЕ MATHEMATICA 7.0

Адамов Б.И.  
НИУ МЭИ

С помощью методов неголономной механики составлена математическая модель движения мобильного робота с механум-колёсами. Получены выражения для управляющих воздействий на программном движении аппарата. Моделирование движения робота производится в системе *Mathematica 7.0*.

### Simulation of motion of mecanum wheeled robot in Mathematica 7.0 package. Adamov B.

The mathematical model of mobile mecanum wheeled robot motion is obtained using approaches of non-holonomic mechanics. Control efforts to realize program movement of apparatus are designed. The motion of the robot is simulated in Mathematica 7.0 package.

**1. Введение.** Меканум-колесо представляет собой диск, на окружности которого установлены ролики, оси которых расположены под углом (обычно 45 градусов) к плоскости диска (см. рис. 1.а). Подобная конструкция позволяет меканум-колесу

двигаться под углом к своей плоскости. Корпус транспортного средства, оснащённого такими роликонесущими колёсами, может поступательно двигаться по плоскости в произвольном направлении, в том числе поперечном, совершать произвольные вращения и повороты.

Транспортные средства с механум-колёсами представляют интерес с точки зрения применения их в повседневной жизни. На данный момент имеется достаточно большое число разработок таких аппаратов – как научно-исследовательских, так и коммерческих. Среди последних – аппарат ВМС США, сконструированный, в том числе, и для транспортировок по узким служебным палубам кораблей (см. рис. 1.б); вилочный погрузчик американской фирмы *Airtrax* (см. рис. 1.в); концепт автомобиля с механум-колёсами компании *Mitsubishi* (см. рис. 1.г) и другие.

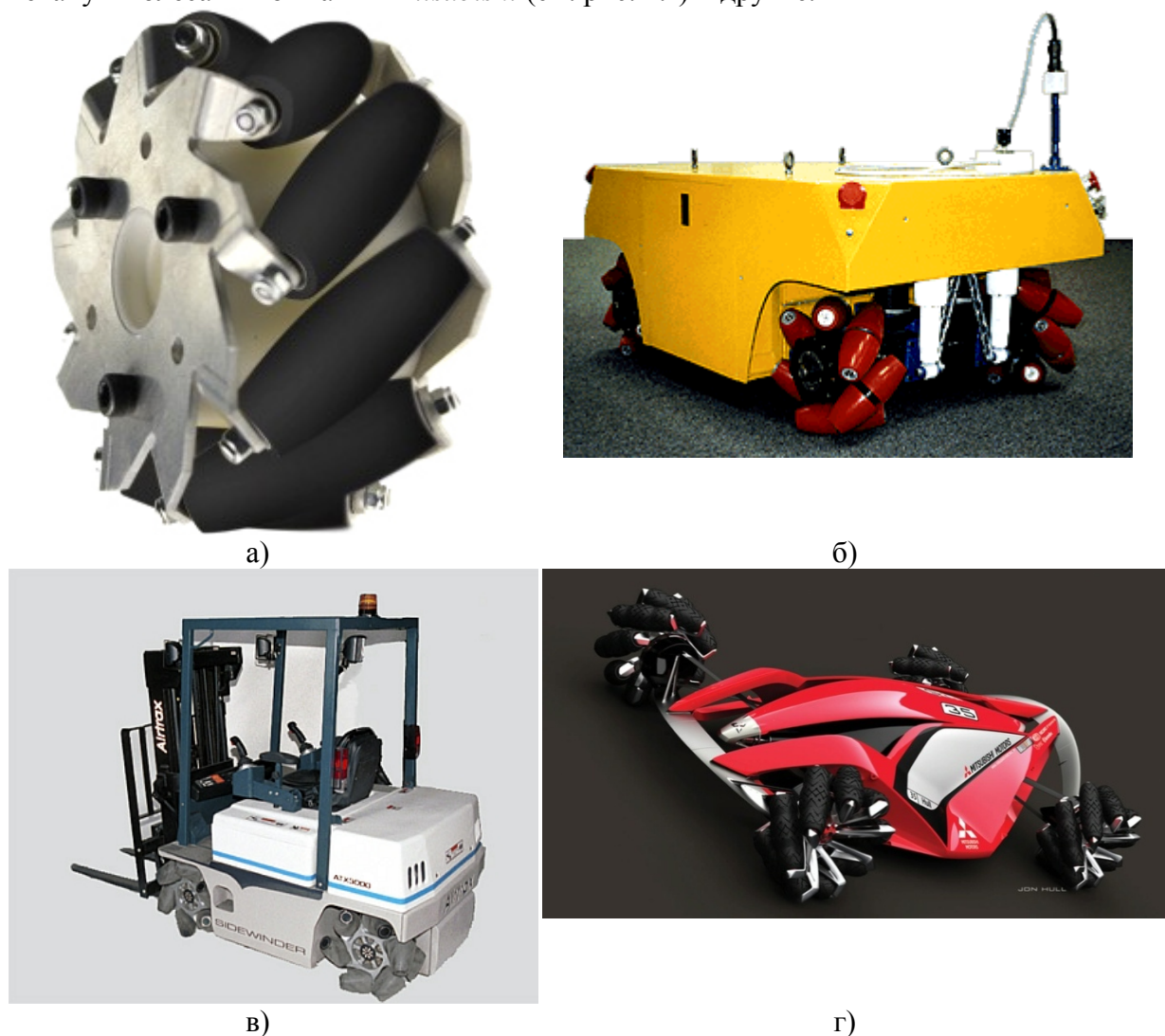


Рис. 1.

**2. Конструкция мобильного робота.** В данной работе рассматривается движение мобильного робота, состоящего из корпуса и двух пар соосно расположенных механум-колёс (см. рис. 2.а), по горизонтальной плоскости. Считаем, что отрыва колёс от пола и их проскальзывания не происходит. Каждое колесо робота имеет свой отдельный электропривод.

Для описания движения аппарата можно использовать следующий набор обобщённых координат:  $x_C$  и  $y_C$  – декартовы координаты центра масс платформы  $C$ ,  $\psi$  -

курсовой угол платформы,  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  - углы поворота соответствующих колёс относительно платформы. Схематически конструкция робота приведена на рис. 2.б. Введены следующие обозначения:  $l$  - половина межосевого расстояния колёсных пар,  $\rho_1$  и  $\rho_2$  - расстояние между центром масс платформы и задней и передней колёсными парами соответственно,  $R$  - радиус диска каждого колеса,  $\delta = 45^\circ$  - угол наклона оси роликов к плоскости меканум-колёса (на схеме указано направление осей роликов, контактирующих с полом).

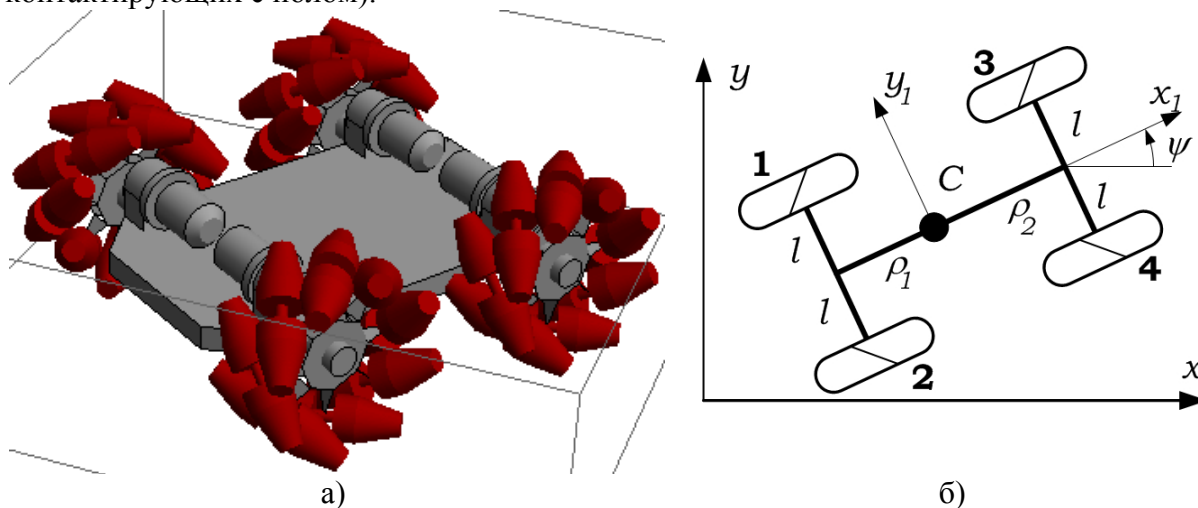


Рис. 2.

**3. Кинематический анализ движения робота.** Согласно принятым выше допущениям и устройству меканум-колеса, вектор скорости нижней точки его диска ортогонален оси контактирующего с полом ролика. Это позволяет связать обобщённые скорости робота следующим образом:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_1 &= \frac{1}{R} [V_{x1} + V_{y1} \tan \delta - (\rho_1 \tan \delta + l)\dot{\psi}], \\ \dot{\varphi}_2 &= \frac{1}{R} [V_{x1} - V_{y1} \tan \delta + (\rho_1 \tan \delta + l)\dot{\psi}] \\ \dot{\varphi}_3 &= \frac{1}{R} [V_{x1} + V_{y1} \tan \delta - (\rho_2 \tan \delta + l)\dot{\psi}] \\ \dot{\varphi}_4 &= \frac{1}{R} [V_{x1} - V_{y1} \tan \delta + (\rho_2 \tan \delta + l)\dot{\psi}]\end{aligned}\quad (1)$$

где  $V_{x1} = \dot{x}_C \cos \psi + \dot{y}_C \sin \psi$  и  $V_{y1} = -\dot{x}_C \sin \psi + \dot{y}_C \cos \psi$  - компоненты вектора скорости точки  $C$ , направленные, соответственно, вдоль платформы вперёд и в боковом направлении налево.

Анализ приведённых соотношений показывает, что при сохранении неизменной ориентации корпуса относительно поверхности движения ( $\psi = \text{const}, \dot{\psi} = 0$ ) робот может двигаться поступательно вперёд  $V_{y1} = 0$ , если все колёса вращаются в одном направлении с угловыми скоростями

$$\dot{\varphi}_i = \frac{V_{x1}}{R}.$$

Если колёса 1 и 3, расположенные слева платформы, вращаются в одном направлении с угловыми скоростями

$$\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_3 = \frac{V_{y1}}{R} \tan \delta,$$

а колёса 2 и 4, расположенные справа – в противоположном направлении с угловыми скоростями

$$\dot{\phi}_2 = \dot{\phi}_4 = -\frac{V_{y1}}{R} \tan \delta,$$

то платформа будет двигаться в бок  $V_{x1} = 0$ .

Наконец, возможно организовать движение платформы в диагональном направлении  $V_{x1} = V_{y1} \tan \delta$ , если угловые скорости левых колёс равны

$$\dot{\phi}_1 = \dot{\phi}_3 = \frac{2V_{y1}}{R} \tan \delta,$$

а правые колёса неподвижны относительно платформы:

$$\dot{\phi}_2 = \dot{\phi}_4 = 0.$$

Указанные случаи схематически изображены на рис. 3.

Таким образом, анализ кинематических соотношений (1) показывает, что можно реализовать произвольное движение центра масс платформы, не изменяя её ориентацию в пространстве.

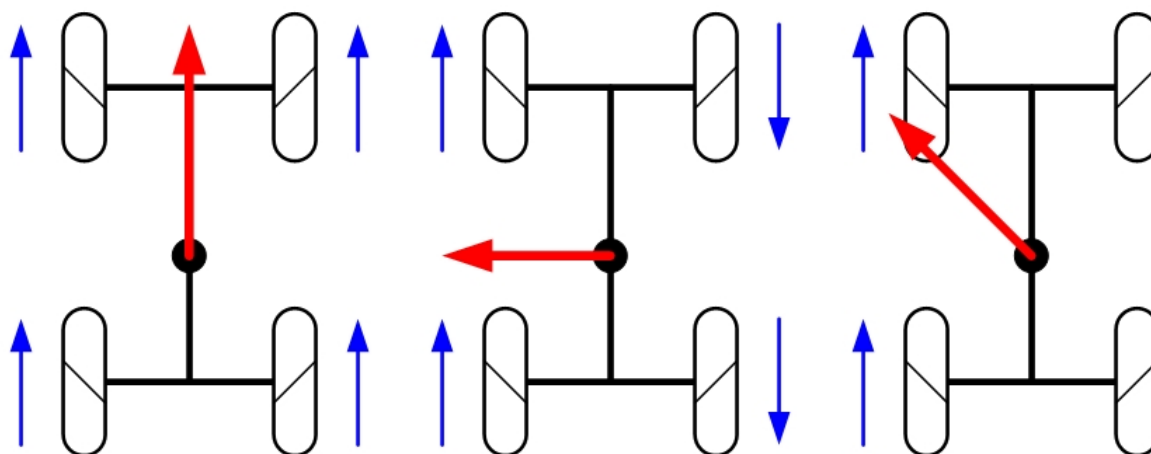


Рис. 3.

**4. Динамика робота и выбор управляющих воздействий.** Рассмотрим задачу выполнения роботом некоторого программного движения

$$x_c = x_c^*(t), \quad y_c = y_c^*(t), \quad \psi = \psi^*(t). \quad (2)$$

Найдём выражения для управляющих моментов

$$M_1 = M_1^*(t), \quad M_2 = M_2^*(t), \quad M_3 = M_3^*(t), \quad M_4 = M_4^*(t),$$

развиваемых электроприводами соответствующих колёс.

Для этого составим уравнения динамики робота как механической системы с неголономными связями (1). Уравнения Аппеля [1, 2] аппарата имеют вид:

$$\frac{\partial S}{\partial \ddot{x}_c} = Q_x, \quad \frac{\partial S}{\partial \ddot{y}_c} = Q_y, \quad \frac{\partial S}{\partial \ddot{\psi}} = Q_\psi, \quad (3)$$

где  $S = S(\ddot{x}_c, \ddot{y}_c, \ddot{\psi}, \dot{x}_c, \dot{y}_c, \dot{\psi})$  - функция Аппеля (энергия ускорений) рассматриваемой системы,  $Q_x, Q_y, Q_\psi$  - обобщённые силы. Подробнее о составлении уравнений Аппеля для колёсных аппаратов сказано в [1, 2].

В нашем случае обобщённые силы равны:

$$\begin{aligned}
 Q_x &= \frac{(M_1 + M_3) \cos(\psi + \delta) + (M_2 + M_4) \cos(\psi - \delta)}{R \cos \delta} \\
 Q_y &= \frac{(M_1 + M_3) \sin(\psi + \delta) + (M_2 + M_4) \sin(\psi - \delta)}{R \cos \delta} \\
 Q_\psi &= \frac{1}{R} [(M_2 - M_1)(\rho_1 \tan \delta + l) + (M_4 - M_3)(\rho_2 \tan \delta + l)]
 \end{aligned} \tag{4}$$

Для поиска управляющих воздействий на программном движении подставим выражения для обобщённых координат (2) в уравнения движения (3) и из соотношений (4) выразим искомые моменты электродвигателей.

**5. О моделировании движения в системе *Mathematica 7.0*.** Возможности пакета *Mathematica 7.0* позволяют провести полноценное моделирование динамики механических систем от построения уравнений движения (достаточно громоздких в данном случае) с помощью операций символьной алгебры, до численного интегрирования уравнений движения с известными управляющими воздействиями и использования полученных результатов для создания анимации пространственного движения системы.

Для создания 3D-модели мобильного робота использовались стандартные графические примитивы системы *Mathematica*, отображаемые на экран с помощью оператора *Graphics3D[...]*. Для отображения движения тел системы, координаты опорных точек примитивов пересчитывались в зависимости от текущих значений обобщённых координат. Как альтернатива используемому подходу, в пакете *Mathematica* существуют стандартные операторы *Translate[...]* и *Rotate[...]*, которые позволяют осуществлять поступательное перемещение фигур в пространстве и поворачивать их на указанный угол вокруг указанной оси. С помощью оператора *Animate[...]* можно создать анимацию движения, которую можно просматривать в документах системы *Mathematica*. Анимацию можно также получить, создав серию кадров и сохранив их в формате *GIF* с помощью оператора *Export[...]*.

Модель робота, приведённая на рис 2.а создана средствами пакета *Mathematica*.

### Литература

1. Ю. Г. Мартыненко, “Управление движением мобильных колёсных роботов”, *Фундамент. и прикл. матем.*, 11:8 (2005), 29–80.
2. K. Zimmermann. *Mechanics of Terrestrial Locomotion. With a Focus on Non-pedal Motion Systems* / K. Zimmermann, I. Zeidis, C. Behn. – London: Springer, 2010 – 292 с.

## ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Аль-Хадша Ф. А. Х., Гаевой С. В.

*Волгоград, Волгоградский государственный технический университет*

Вопросы топологического проектирования сетей связи с целью снижения общей стоимости сети рассматривались во многих работах. В начале шестидесятых годов прошлого столетия Роберт К. Прим предложил метод построения сети минимальной стоимости. Затем был предложен метод Ежи-Вильямса, исходящий из подсоединения к центру коммутации наиболее удаленных от него станций. Вопросы проектирования сетей связи с уплотнением абонентских каналов на отдельных концентраторах для сравнительно небольших участков низовых сетей рассматривались во многих работах, в

том числе наших. Теперь необходимо рассмотреть вопрос надежности в подобных сетях.

### **Reliability indices of separate regions of hierarchical networks. AL-hadsha F.A H., Gaevoy S. V.**

Problems of topological network design related to reducing the total cost of the network have been considered in many papers. In the early sixties of the last century Robert C. Prim proposed method of constructing a network of minimal value. Then a method of Jerzy-Williams related to connecting to a switch-center farthest from him stations was proposed. Issues of designing networks with a division channeling on separate hubs for relatively small areas of grass-roots networks have been considered in many studies, including our own. Now one have to consider the reliability of these networks.

Здесь мы бы хотели рассмотреть результат объединения двух разработанных нами программных комплексов NetSim и NetSys. Первый создан нами для построения топологий сетей. Второй — для изучения сетей на предмет надежности. В настоящий момент обе программы поданы на получение Свидетельства о государственной регистрации.

Существует два способа построения иерархических сетей с уплотнением канала [4]: метод иерархий и метод концентраторов. В качестве примера мы будем рассматривать метод концентраторов, а точнее, его подслучай — алгоритм добавления, так как именно этот подслучай дает более хороший результат за более короткое время.

Имеются центры коммутации (ЦК) и имеется набор абонентов. Абоненты могут соединяться с ЦК, но не друг с другом. Соединение осуществляется кабелем некоторой стоимости. Очевидно, что самым оптимальным вариантом соединения в таком случае является соединение каждого абонента с ближайшим ЦК. Но у нас есть возможность разместить в определенных местах сети концентраторы за определенную плату.

Суть метода проста. Сначала все абоненты присоединяются к ближайшим ЦК, концентраторы не установлены. Алгоритм является итеративным. На каждой итерации мы поочередно пробуем установить каждый из неподключенных концентраторов и подключить к нему тех абонентов, переподключение которых сокращает суммарную стоимость кабеля. Выбирается тот концентратор, введение которого дает минимальную стоимость сети (естественно, включая стоимость концентраторов). Если введение этого концентратора сокращает стоимость сети, то эта конфигурация принимается за новую и мы переходим к следующей итерации. В противном случае, расчет считается законченным, а топология, полученная на предыдущем шаге, — близкой к оптимальной.

Мы изучаем следующие участки сети:

1. абонент - ЦК - абонент;
2. абонент - концентратор - абонент;
3. абонент - концентратор - ЦК - абонент;
4. абонент - концентратор - ЦК - концентратор - абонент.

Мы определяем следующие параметры:

1. коэффициент готовности;
2. среднее время рабочего состояния;
3. среднее время отказного состояния.

Каждый элемент сети может отказывать и восстанавливаться. А также иметь резервирование. Под резервированием будем полагать нагруженное резервирование элементов. Отказы будут отказывать под действием пуассоновского потока. Закон восстановления положим Вейбуловским с параметром 3.3, что делает его близким к

нормальному, хотя путем имитации было выяснено, что характер восстановления не сильно сказывается на результате.

В качестве метода исследования использовался метод имитационного моделирования, так как модель марковских цепей не позволяет использовать разные законы распределения случайных величин и анализировать сети большой размерности и сложной структуры [5].

В результате исследований выяснилось, что при достаточном резервировании ЦК, концентраторов и связей между ними, эта инфраструктура начинает работать как абсолютно надежная, и было предложено средство для оценки этих параметров.

Приближение абсолютной надежности означает, что качество сервиса не будет сильно зависеть от места подключения абонента.

В перспективе мы планируем изучить подобным образом сети, построенные иными иерархическими и неиерархическими методами.

Было выяснено, что, во-первых, что интеграция NetSim+NetSys позволяет вести оценку параметров надежности участков сетей (и всех сетей, кстати, тоже), а, во-вторых, на простых и сложных примерах найдено, как можно определять необходимость и резервных элементов и их число. В дальнейшем требуется провести анализ участков иных сетей [1], например, полученных иерархическим методом или методами, не использующими уплотнение канала: методами Прима [2], Ёжи-Вильямса [3]. Также планируется провести анализ переходного процесса, то есть найти закон распределения времени функционирования системы. Его математическое ожидание является средним временем наработки на отказ.

### Литература

1 Аль-Хадша, Ф.А.Х. Выбор в сети k-кратчайших путей / Аль-Хадша Ф.А.Х. // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 12 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 11. - С. 136-137.

2 Аль-Хадша, Ф.А.Х. Проектирование топологии сети с ограниченной шириной канала методами Прима и Ёжи-Вильямса / Аль-Хадша Ф.А.Х. // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25 : сб. тр. XXV междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секции 8, 9 (г. Волгоград, 29-31 мая 2012 г.) / ВолгГТУ [и др.]. - Саратов, 2012. - С. 115-116.

3 Лукьянов, В. С. Проектирование топологических сетей с ограничением по пропускной способности канала / Лукьянов В. С., Аль-Хадша Ф. А. Х. // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 14 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 10 (97). - С. 193-199.

4 Лукьянов, В.С. Design Methods of Network Cabling With Concentrators / Лукьянов В.С., Аль-Хадша Ф.А.Х. // International Journal of Psycho-Educational Sciences / AREES University. - 2012. - Issue 1, No. 1, December. - С. 95-102. - Eng.

5 Фоменков, С. А. Моделирование систем [Электронный ресурс] / С. А. Фоменков. – Волгоград, [2004]. – 1CD-ROM

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ГИГАНТСКОГО РАМАНОВСКОГО РАССЕЙНИЯ**

Амбарцумян О. А.

*Москва, ГБОУ ВПО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова*

В работе рассматривается разработка и оценка экспресс-диагностики микроорганизмов для уменьшения времени, затрачиваемого на проведение исследования.

**Identification of microorganisms based on the giant Raman scattering.  
Ambartsumyan O.A.**

**In this report the development and evaluation of rapid diagnostic microorganisms to reduce the time required to conduct a study.**

Как известно, при попадании лазерного света на биологический объект (ткань, белок, микроорганизм и т.д.) исследуемый объект поглощает фотоны лазерного излучения и затем испускает новые фотоны на разных длинах волн. В дальнейшем превращение энергии лазерного света в другие виды излучения будем называть конверсией оптического излучения, а диагностику при этом будем называть лазерно-конверсионной диагностикой (ЛКД) [1].

Существует несколько различных типов конверсионного излучения. Одним из этих типов является:

- рамановское рассеяние [2] – частота рассеянного света изменяется на значения частот внутримолекулярных колебаний вещества (поэтому спектр рамановского рассеяния отображает химического строение вещества и как бы является его «отпечатком пальцев»).

- люминесценция-процесс перехода электронов на более высокие энергетические уровни за счет облучения лазерным светом и последующие переходы электронов с одной орбитали на другую (с верхних энергетических уровней на нижние), которые сопровождаются испусканием фотонов.

- рэлеевское рассеяние (в отличие от рамановского формируется без изменения длины волны и частоты света).

Однако вероятность рамановского рассеяния очень маленькая (на несколько порядков ниже вероятности рэлеевского рассеяния) и поэтому этот тип излучения трудно обнаруживается. В связи этим для того, чтобы стало возможно записывать спектры рамановского рассеяния микробов, требуется усиление сигнала на несколько порядков. Такое усиление было достигнуто за счет использованных подложек с металлическими нано-шариками серебра, которые имеют пик плазменного резонанса (область длин волн возбуждающего излучения, вызывающего наиболее сильное переизлучение) в промежутке длин волн 490-570 нм. Поэтому нами был выбран твердотельный зеленый лазер с длиной волны 532 нм. Такие подложки при накачке зеленым лазером имеют коэффициент усиления примерно  $10^6$ , а эффект рамановского рассеяния в биологическом объекте на описанных подложках называется явлением гигантского рамановского рассеяния [6] (SERS).

В наше время не все компоненты конверсии оптического излучения на биологических объектах используются в диагностике микрообъектов, что в научном плане определило перспективы ее развития для получения полной многофакторной (флюоресценция, рамановское рассеяние и др. виды конверсионного излучения) картины спектральных характеристик микробов.



В связи с этим целью нашего исследования было повышение эффективности лазерно - конверсионной диагностики микроорганизмов на основе эффекта гигантского рамановского рассеяния и люминесценции.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- разработать экспресс-методику индикации микроорганизмов на основе эффектов гигантского рамановского рассеяния и люминесценции
- оценить чувствительность и специфичность разработанной методики провести сравнительную характеристику рамановских спектров различных клинических микроорганизмов и их изменение при действии на них антимикробных препаратов
- оценить возможности и перспективы разработанной экспресс-методики для индикации и идентификации микроорганизмов.

**Материалы и методы.** Для исследования использовали суточные культуры: *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Культуры выращивали на простых питательных средах (МПА, МПБ) на нефлюоресцирующих микробиологических мембранных фильтрах, состоящих из смеси нитрата и ацетата целлюлозы. Были выбраны фильтры с размером пор 0,45 мкм и диаметром 47 мм.

С помощью петли для посевов культуру переносили в пробирку с дистиллированной водой. Полученную взвесь микробов отбирали микропипеткой и наносили на подложку с металлическими нано-шариками серебра. Допустимая концентрация  $10^5$ - $10^6$  КОЕ/мл и менее. Измерения на подложке производили после того, как капля раствора высыхала и все исследуемые молекулы оказывались на её поверхности, с которой снимали усиленный рамановский спектр. Перед записью спектров подложку с культурой помещали на предметное стекло. Далее с помощью прибора EnSpectr (рис.1) регистрировали спектр рамановского рассеяния и люминесценции исследуемых объектов\*. Результаты представлены в виде спектров исследуемых микробов после их обработки с помощью специального программного продукта.

**Результаты.** На представленных ниже спектрах видны отличительные линии для каждой бактерий. На рис. 2 показаны спектры *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus*\*\*. Видно, что спектры совершенно разные и, если занести их спектры в базу данных, то можно однозначно проводить диагностику на наличие и концентрацию этих бактерий. На рис. 3 представлены спектры трех разных видов стафилококков - они различны, но одинаковы по показателям рамановских пиков у разных штаммов одного и того же вида (на рис. 3 представлено по два спектра каждого вида)\*\*\*. Показано, что для бактерии *B.subtillis* индивидуальны рамановские пики на  $657\text{ см}^{-1}$ ,  $726\text{ см}^{-1}$ ,  $1248\text{ см}^{-1}$ ,  $1377\text{ см}^{-1}$ ,  $1466\text{ см}^{-1}$ ,  $1617\text{ см}^{-1}$ ; для *E.coli* -  $1140\text{ см}^{-1}$ ,  $1551\text{ см}^{-1}$ ; для *Staphylococcus aureus* —  $959\text{ см}^{-1}$ ,  $1006\text{ см}^{-1}$ ,  $1160\text{ см}^{-1}$ ,  $1284\text{ см}^{-1}$ ,  $1530\text{ см}^{-1}$ ; для *Staphylococcus haemolyticus* —  $1327\text{ см}^{-1}$ ,  $1369\text{ см}^{-1}$ ; для *Candida albicans* —  $1344\text{ см}^{-1}$ ; для *Pseudomonas aeruginosa* —  $675\text{ см}^{-1}$ ,  $1353\text{ см}^{-1}$ ,  $1404\text{ см}^{-1}$ ,  $1605\text{ см}^{-1}$ ,  $1630\text{ см}^{-1}$ . Из представленного материала следует, что видовые индивидуальные линии рамановского спектра культур различны и являются их своеобразным «паспортом». В других экспериментах в этой серии показано, что если спектры люминесценции бактерий существенно зависят от условий и сроков их культивирования, то рамановские спектры при этом остаются строго специфичными и не изменяются (как отпечаток пальца). При указанных выше концентрациях чувствительность и специфичность представленной технологии составляет порядка 100%.

В отдельном эксперименте изучали возможность использования экспресс - метода ЛКД для определения чувствительности к антимикробным препаратам. При обработке микроба (*P.aeruginosa*) хлорамином его специфические амплитудно-спектральные характеристики исчезают, в отличие от контрольных объектов сравнения (хлорамин-водный раствор). Время исследования 2-3 мин.

**Обсуждение.** Таким образом, установлено, что каждый вид исследованных бактерий характеризуется индивидуальными спектральными линиями рамановского рассеяния, которые позволяют идентифицировать их в короткое время (1-2мин), что определяет возможность одновременной идентификации большого количества культур. Предлагаемый способ отличается высокой чувствительностью ( $10^5 - 10^6$  КОЕ\мл), быстротой идентификации микроорганизмов. Портативность прибора (вес 2-2,5 кг в зависимости от комплектации, включая компактный кейс) позволяет использовать его в мобильных (передвижных) лабораториях. В настоящее время разработанная аппаратура и технология проходят сертификацию. Аналогов разработанной технологии в литературе мы не выявили [1,3,4,5].

**Заключение.** Применение ЛКД (гигантского рамановского рассеяния и люминесценции) как новой технологии открывает возможности экспресс - индикации микроорганизмов, определения их видовой принадлежности, ускоренного определения чувствительности к антимикробным препаратам в различных областях клинической микробиологии на основе принципиального требования современной медицины «диагностика по месту лечения». Дальнейшее совершенствование программного продукта, базы данных и методик ЛКД позволит внедрить ее в клиническую практику с пользой для больного и врача.

#### Литература:

- 1 Александров М.Т. Лазерная клиническая биофотометрия. М. «Техносфера». 2008, с. 590.
- 2 О.А. Акципетров, Соросовский образовательный журнал, **7**, 109 (2001) «Гигантские нелинейно-оптические явления на поверхности металлов»
- 3 Пашков Е.П. Лазерно-флюоресцентный метод экспресс-индикации микроорганизмов при гнойно-воспалительных заболеваниях, дисбактериозах и другой патологии микробной этиологии. Автореф. дисс. доктора мед. наук. - М, 2002. 84 с.
- 4 Александров М.Т., Таубинский И.М., Козьма С.Ю. Способ для обнаружения и оценки концентраций анаэробных бактерий в биологическом субстрате. Патент РФ №97100364 от 21.01.97.
- 5 Александров М.Т., Нестерова М.В., Пашков Е.П., Морозова О.А. Метод флюоресцентной диагностики – метод индикации микрофлоры человека в норме и при патологии. //ЖМЭИ, 2001г. №3, с.63-66.
- 6 М. Fleischman, P. J. Hendra, A. McQuillan *Chem. Phys. Lett* **26**, 123 (1974)

#### УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ НЕЛИНЕЙНО УПРУГОГО ТЕЛА В ТРЕХМЕРНЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ

Андреевская Т. М., Кирсанов М. Н.  
Москва, НИУ ВШЭ, Москва, НИУ МЭИ

С использованием системы компьютерной алгебры Maple в ортогональной криволинейной параболической системе координат получены дифференциальные уравнения равновесия упругой среды для решения осесимметричных задач.

**The equilibrium equations of nonlinear elastic body in three-dimensional parabolic coordinates. Andreevskaya T., Kirsanov M.**

**With the use of Computer Algebra System Maple in an orthogonal curvilinear coordinate system obtained parabolic differential equations of equilibrium of an elastic environment for solving axisymmetric problems.**

Классическая зеркальная осесимметричная антенна состоит из отражающей поверхности, выполненной в виде металлического параболоида вращения, и небольшой антенны-облучателя, установленной в фокусе параболоида. Геометрия антенны определяется углом раствора  $2\varphi_0$ , фокусным расстоянием параболоида  $f$  и эксцентриситетом параболоида. Плоскость, проходящая через крайние точки поверхности параболоида и перпендикулярная его оси вращения, имеет форму круга с радиусом  $R_0$ . В зависимости от отношения радиуса  $R_0$  к фокусному расстоянию параболоида различают длиннофокусные  $R_0/f < 2$  и короткофокусные  $R_0/f > 2$  зеркала. Для улучшения диаграммы направленности такой антенны в конструкции предусматриваются дополнительные конструктивные компоненты и защитные крышки (обтекатели) в виде плоских, сферических или конусообразных крышек из диэлектрических материалов. Такая антенна может работать как в статическом положении, так и в режимах сканирования и кругового обзора. На рисунке 1 показаны примеры зеркальных параболических антенн [1] фирмы Эниско (Anisco). Для анализа (моделирования) их поведения в реальных условиях при наличии таких факторов, как увеличение веса при обледенении, порывов ветра и др. необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние конструкции. Одним из примеров моделирования является представление зеркальной антенной системы в виде нелинейно упругого тела.

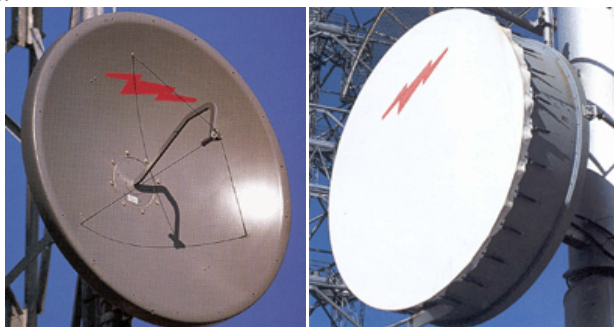


Рис. 1

Исследование напряженно деформированного состояния тел сложной криволинейной пространственной формы удобнее всего производить в координатах, отвечающих этой форме. Для наиболее распространенных цилиндрических и сферических координат уравнения равновесия хорошо известны [2,3]. Для этих координат известны и проверены все вспомогательные величины (метрические тензоры, символы Кристоффеля), позволяющие легко получать необходимые соотношения. Вывод уравнений для каких либо иных систем координат усложнен большим числом выкладок. Решение таких задач существенно упрощаются с использованием пакетов компьютерной алгебры, например, Maple [4].

Рассмотрим криволинейную ортогональную систему координат

$$x^1 = uv \cos \varphi,$$

$$x^2 = uv \sin \varphi,$$

$$x^3 = (u^2 - v^2)/2,$$

называемую трехмерной параболической. На рисунке 2 показана координатная сетка при  $\varphi = 0$ , а на рисунке 3 при  $u = 1, v = 0..2, \varphi = 0.. \pi$ .

Метрический тензор

$$g_{ij} = \frac{\partial x^k}{\partial \theta^i} \frac{\partial x^k}{\partial \theta^j},$$

где принято правило суммирования по повторяющимся индексам и введены обозначения  $\theta^1 = u, \theta^2 = v, \theta^3 = \varphi$ , в этой системе имеет следующие ненулевые компоненты:

$$g_{11} = g_{22} = u^2 + v^2, g_{33} = u^2 v^2. \quad (1)$$

Кроме того, так как  $g^{ik} g_{jk} = \delta_j^i$ , найдем

$$g^{11} = g^{22} = 1/(u^2 + v^2), g^{33} = 1/(u^2 v^2). \quad (2)$$

Получим символы Кристоффеля второго рода, необходимые для ковариантного дифференцирования в криволинейной системе координат

$$\Gamma_{jk}^i = \frac{1}{2} g^{im} (g_{jm,k} + g_{km,j} - g_{kj,m}).$$

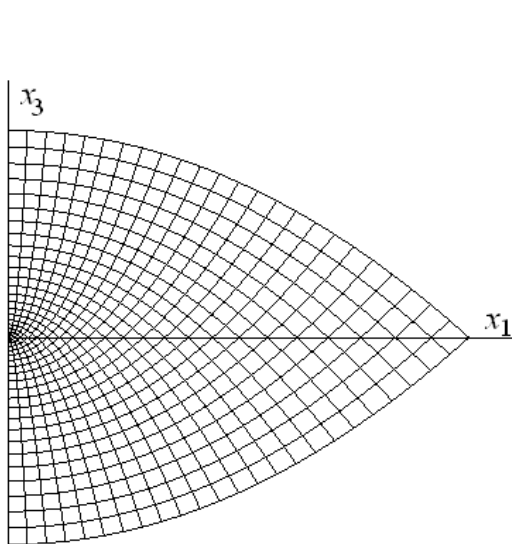


Рис. 2

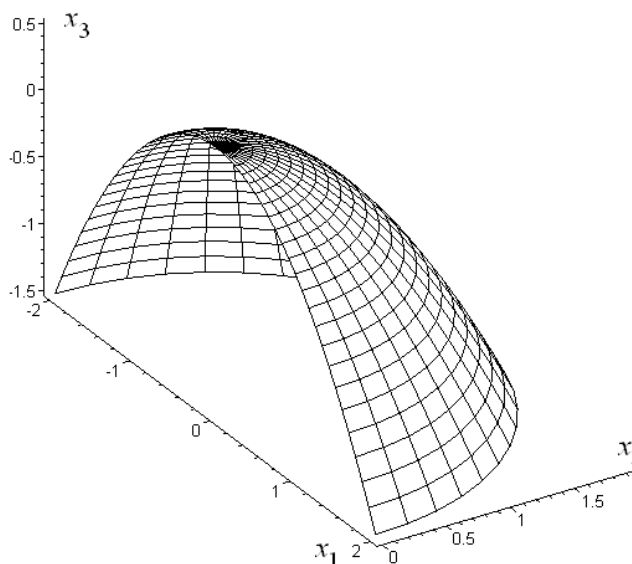


Рис. 3

Получим символы Кристоффеля второго рода, необходимые для ковариантного дифференцирования в криволинейной системе координат

$$\Gamma_{jk}^i = \frac{1}{2} g^{im} (g_{jm,k} + g_{km,j} - g_{kj,m}).$$

Запятой обозначена производная по соответствующей криволинейной координате. Для выбранной системы координат с учетом (1) и (2) имеем

$$\Gamma_{11}^1 = \Gamma_{12}^2 = \Gamma_{21}^2 = -\Gamma_{22}^1 = \frac{u}{u^2 + v^2}, \Gamma_{22}^2 = \Gamma_{12}^1 = \Gamma_{21}^1 = -\Gamma_{11}^2 = \frac{v}{u^2 + v^2},$$

$$\Gamma_{23}^3 = \Gamma_{32}^3 = \frac{1}{v}, \Gamma_{33}^1 = -\frac{uv^2}{u^2 + v^2}, \Gamma_{33}^2 = -\frac{u^2v}{u^2 + v^2}, \Gamma_{13}^3 = \Gamma_{31}^3 = \frac{1}{u}.$$

Остальные символы равны нулю. Уравнение равновесия при отсутствии массовых сил имеет вид

$$\tau^{ij} \parallel_i = 0, \quad (3)$$

где двойной вертикальной чертой обозначено ковариантное дифференцирование с помощью метрических тензоров  $g_{ij}$  и  $g^{ij}$ :

$$\tau^{ij} \parallel_k = \tau_k^{ij} + \Gamma_{nk}^i \tau^{nj} + \Gamma_{nk}^j \tau^{in}, \quad (4)$$

Для осесимметричной задачи, полагая производные по  $\varphi$  нулю, получим из (3) и (4) уравнения равновесия

$$(\tau_u^{11} + \tau_v^{12})uv(u^2 + v^2) - \tau^{22}vu^2 + \tau^{12}u(u^2 + 3v^2) + \tau^{11}v(2u^2 + v^2) - \tau^{33}v(u^2 + v^2) = 0,$$

$$(\tau_u^{12} + \tau_v^{22})uv(u^2 + v^2) - \tau^{11}uv^2 + \tau^{12}v(3u^2 + v^2) + \tau^{22}u(u^2 + 2v^2) - \tau^{33}u(u^2 + v^2) = 0,$$

$$(\tau_u^{13} + \tau_v^{23})uv(u^2 + v^2) + \tau^{23}u(2u^2 + 3v^2) + \tau^{13}v(3u^2 + 2v^2) = 0.$$

Уравнения равновесия в физических компонентах напряжения  $\sigma_{ij}$  получаются, если произвести замену  $\tau^{ij} = \sigma_{ij} \sqrt{g^{ii}/g_{jj}}$  (здесь по индексам  $i$  и  $j$  не суммировать). С учетом (1) и (2) имеем

$$\tau^{11} = \sigma_{uu}/(u^2 + v^2), \quad \tau^{12} = \sigma_{uv}/(u^2 + v^2), \quad \tau^{22} = \sigma_{vv}/(u^2 + v^2),$$

$$\tau^{33} = \sigma_{\varphi\varphi}/(u^2v^2), \quad \tau^{13} = \sigma_{u\varphi}/\sqrt{uv(u^2 + v^2)}, \quad \tau^{23} = \sigma_{v\varphi}/\sqrt{uv(u^2 + v^2)}.$$

В заключении заметим, что располагая полученной системой дифференциальных уравнений, численный расчет конструкции проводится по стандартной схеме и не представляет принципиальной трудности. Переменные коэффициенты несколько усложняют решение, однако при наличии известных численных методов задача становится чисто технической.

### Литература

1. Интернет ресурс: [http://anisco.ru/mex\\_par.htm](http://anisco.ru/mex_par.htm)
2. Грин А., Адкинс Дж. Большие упругие деформации и нелинейная механика сплошной среды. М: Мир, 1965. 456 с.
3. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970. — 940 с
4. Кирсанов М. Н. Maple и Maple. Решение задач механики. СПб.:Изд-во Лань, 2012. 512 с.

## МЕСТО UWB ТЕХНОЛОГИЙ В СТАНДАРТАХ БЕСПРОВОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Андреевская Т.М., Чекункова Т.О.  
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ*

В работе рассмотрен ряд стандартов беспроводных систем связи, позволяющих оценить основные характеристики и параметры различных технологий организации локальных и персональных сетей связи.

### **Location UWB technology in wireless technology standard transmission. Andreevskaya T.M., Chekunkova T.O.**

In this paper a number of standarts of the wireless communication systems, allowing to estimate the basic characteristics and parameters of various technologies of the organization of local and personal communication networks is considered.

Беспроводные технологии передачи информации – одно из наиболее быстро прогрессирующих направлений телекоммуникационного рынка. Они вытесняют региональные и локальные беспроводные сети. Эти технологии добрались и до персональных сетей с минимальным радиусом действия.

Основным классификационным признаком является размер территории, которую покрывает сеть. К локальным сетям относят сети, абоненты которой сосредоточены в радиусе от нескольких метров до 1-2-х километров. Чаще всего такая коммуникационная сеть принадлежит одной организации. Благодаря малым расстояниям имеется возможность использовать хорошие линии связи, в том числе и беспроводные, которые позволяют достигать высоких скоростей (до 100 Мбит/с) и отличаются большим разнообразием услуг, в том числе и работой в on-line. Широко развиваются UWB (сверхширокополосные – СШП) технологии передачи информации с новыми методами модуляции и обработки цифровых сигналов. Широкая полоса частот на одной несущей в гигагерцовом диапазоне позволяет использовать множественный доступ с большим числом каналов.

Также как и для других сетевых технологий, для локальных систем разработаны международные стандарты. Стандарты создаются для соблюдения производителями общепринятых правил построения оборудования. Каждая технология только тогда приобретает соответствующий статус, когда она закрепляется в соответствующем стандарте.

На рис.1 показана диаграмма в координатах дальность – скорость, на которой видно семейство стандартов IEEE 802.15, которое образует беспроводную сеть WPAN (Wireless Personal Area Network - Беспроводные персональные сети) и работает в различных стандартах, в том числе с рассматриваемым в данной работе стандартом IEEE 802.15.4a/b.

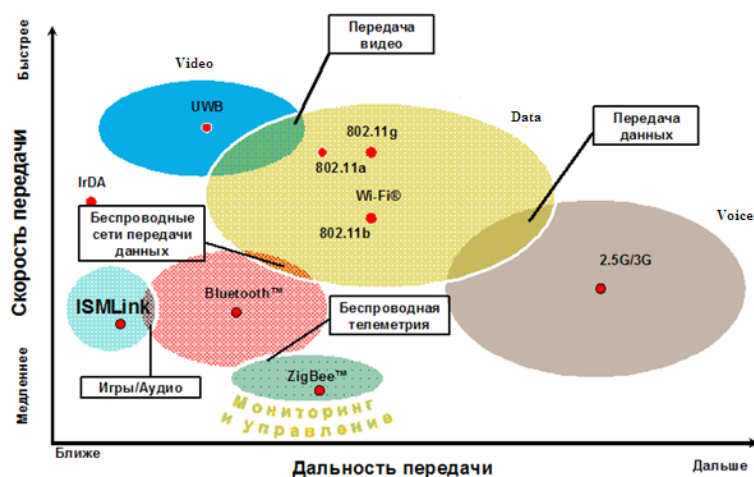


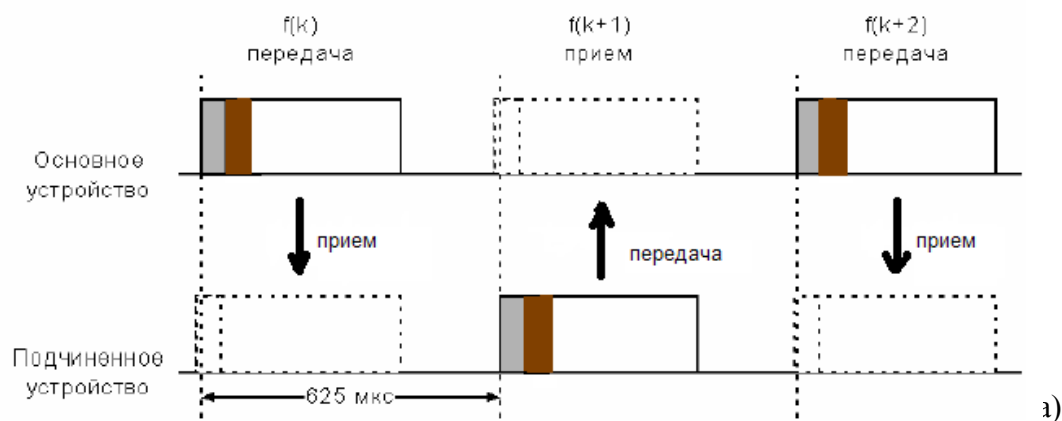
Рис.1.

IEEE 802 — группа стандартов семейства IEEE, касающихся локальных вычислительных сетей (LAN) и сетей мегаполисов (MAN). Службы и протоколы, указанные в IEEE.802 находятся на двух нижних уровнях (Канальный уровень и Физический) семиуровневой сетевой модели OSI. Фактически, IEEE 802 разделяет канальный уровень OSI на два подуровня — Media Access Control (MAC - управление доступом к среде) и Logical Link Control (LLC - подуровень управления логической связью).

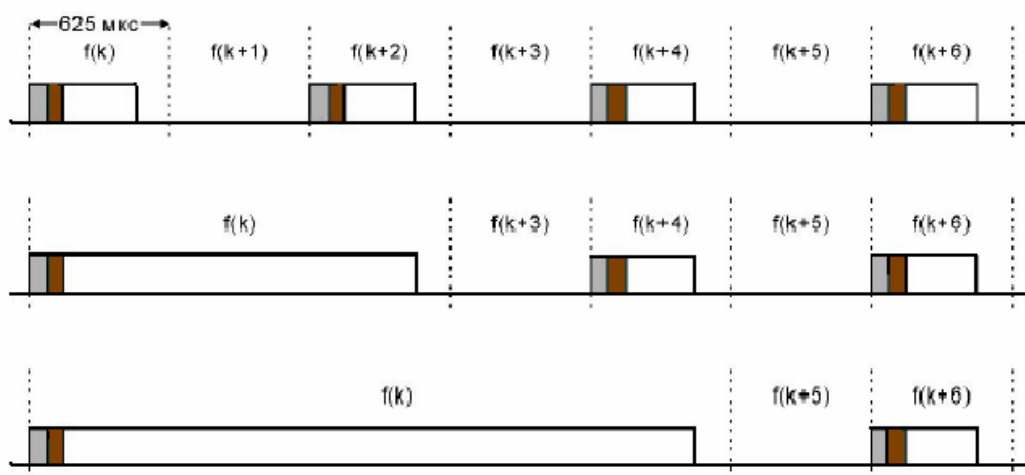
Рассмотрение начнем со стандарта для беспроводной сети Bluetooth, т.к. технология UWB возникла как одно из возможных направлений его развития.

Стандарт Bluetooth использует радиочастоты в диапазоне 2400...2483,5 МГц. Этот диапазон называется ISM (Industrial, Scientific, Medicine – промышленный, научный и медицинский), он используется во многих странах для безлицензионного доступа. В технологии Bluetooth весь диапазон разбит на 78 каналов шириной 1 МГц каждый.

В стандарте Bluetooth предусмотрена дуплексная передача на основе разделения времени (Time Division Duplexing - TDD). Основное устройство передает пакеты в нечетные временные сегменты, а подчиненное устройство – в четные. Рис.2,а иллюстрируют принцип действия системы при дуплексной передаче с временным разделением каналов, а рис.2,б– передачу пакетов различной длины [1]. Пакеты в зависимости от длины могут занимать до пяти временных сегментов. При этом частота канала не меняется до окончания передачи пакета.



а)



б)

Рис.2 (а,б).

Рассмотрим далее стандарты, которые регулируют технологию UWB. Стандарт *IEEE 802.15.3*, предназначен для беспроводных частных сетей типа WPAN, и является прямым наследником Bluetooth (частота 2,4 ГГц). Использование полосы 2,4 ГГц и технологии модуляции OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying, квадратурная манипуляция фазовым сдвигом со смещением) позволяют достигать скорости передачи данных до 55 Мбит/с на расстоянии до 100 метров, одновременно работать в такой сети могут до 245 пользователей. При возникновении помех со стороны других бытовых устройств или иных сетей, сети на основе *IEEE 802.15.3* будут автоматически переключать каналы. Также поддерживаются скорости передачи данных - 11, 22, 33 и 44 Мбит/с. Шифрование данных в сетях *IEEE 802.15.3* может осуществляться по стандарту AES 128. К достоинствам можно отнести низкое энергопотребление и низкую стоимость.

Стандарт *IEEE 802.15.3a* используется для организации персональных высокоскоростных сверхширокополосных сетей (High-Speed Ultra Wide Band PAN). Он используется в основном в Северной Америке и Японии, в дальнейшем предполагается глобальное использование во всем мире. Основной частотный диапазон 3.1-10.6 ГГц. Используемые виды модуляции: широкополосные радиоимпульсы и многочастотная OFDM. Предусматривается возможность множественного доступа с обнаружением несущей и предотвращением коллизий CSMA-CA. Пользовательская скорость передачи данных более 100 Мбит/с. Обеспечивает передачу данных и видеосигналов абонентам с низкой подвижностью, беспроводной USB. Высокая скорость достигается путем увеличения спектральной ширины канала при переходе в область сверхширокополосной связи (СШП, UWB).

По принятым в комитете IEEE 802 правилам, для того чтобы утвердить стандарт, за предложенный вариант должны проголосовать не менее 75% членов рабочей группы. Однако, несмотря на численный перевес сторонников MB-OFDM, им не удалось на прошедших голосованиях набрать заветные 75% голосов от общего числа компаний, работающих над стандартом *IEEE 802.15.3a*. Причин тут несколько, возможно, одна из основных кроется в особенностях многополосной организации работы систем с MB-OFDM, суть которой заключается в том, что весь разрешенный



диапазон делится на полосы шириной 528 МГц. В стандартном режиме предусмотрено три полосы, в расширенном – семь, например так, как показано на рис.3.



Рис.3.

Каждая полоса, в свою очередь, разбивается на полосы со 128 поднесущими частотами с шагом 4,125 МГц. Из них используется 122: 100 для модуляции данных, 12 поднесущих – пилотные и еще 10 – защитные. Каждая поднесущая модулируется посредством QPSK. Один OFDM-символ содержит 100 или 200 кодированных бит (100 в случае, когда одинаково модулируются две поднесущие, симметричные относительно центральной). Период следования символов – 312,5 нс. Многополосность системы означает, что последующий символ может передаваться в иной частотной полосе по жестко организованной определенной схеме для каждого логического канала (предполагается четыре таких канала). Последовательность перехода с одной полосы на другую называют частотно-временным кодом.

Преимущество MB-OFDM заключается в уменьшении необходимого количества временных защитных интервалов. При последовательном сигнале защитные интервалы добавляются между каждым символом, а при многочастотном – между группами OFDM-символов.

Отметим основные особенности сигналов OFDM:

- мультиплексирование несущих колебаний (называемых поднесущими) осуществляется модулированными информационными символами по выбранному закону (QPSK, 16QAM, 64QAM, OQAM). Поднесущие ортогональны, или, по крайней мере, квазиортогональны;

- каждый OFDM-символ имеет защитный временной интервал для исключения межсимвольной интерференции. Этот защитный интервал выбирается с учетом импульсной характеристики линии связи (физической среды распространения радиосигнала); при модуляции вида OQAM защитный интервал не обязателен;

- использование операции дискретного обратного преобразования Фурье как в приемнике, так и в передатчике, упрощает реализацию приемо-передающего устройства с OFDM [6].

Стандарт IEEE 802.15.4a/b (UltraWideband) предназначен для систем, работающих на принципе передачи множества закодированных импульсов негармонической формы очень малой мощности (~0,05 мВт) и малой длительности в широком диапазоне частот (от 3,1 до 10,6 ГГц). Передача данных на расстояниях до 5 метров осуществляется со скоростью от 400 до 500 Мбит/с. Тип используемой модуляции: OFDM, QPSK.

При помощи UWB-технологии можно создавать специальные сети, в которых несколько сверхширокополосных устройств смогут поддерживать связь между любыми узлами. Короткие сигналы UWB сравнительно устойчивы к многолучевому распространению. Высокоскоростные UWB-устройства хорошо подходят для работы с

видеопотоками и приложениями, требующими быстрой пересылки данных. Низкоскоростное UWB-оборудование может применяться для отслеживания местоположения на местности владельцев беспроводных устройств и различных объектов.

В таблице 2 представлена сравнительная оценка рассмотренных выше стандартов [1].

Таблица 2. Сравнение стандартов семейства IEEE 802.15

Стандарт	802.15.4 ZigBee			802.15.1 Bluetooth	802.15.3 High Rate WPAN	802.15.4a UWB
Приложения	Мониторинг, управление, сетидатчиков, автоматика			Голос, данные, замена кабелей	Потоковое мультимедиа, замена кабелей аудио/ видеосистем	
Преимущества	Цена, энергосбережение, размеры сети, выбор частотных диапазонов			Цена, энергосбережение, передача голоса, скачок частот	Высокая скорость, энергосбережение	
Частота	868 МГц	915 МГц	2.4 ГГц	2.4 ГГц	ГГц 2	3.1-10.6 ГГц
Максимальная скорость	20 кбит/с	40 кбит/с	250 кбит/с	1 Мбит/с	2.4 ГГц	3.1-10.6 ГГц?
Выходная мощность, ном?	0 dBm (1 мВт)			0 dBm (класс 3) 4 dBm(класс 2) 20 dBm(класс 1)	0 dBm	<100 мВт (110 Мбит/с), <250мВт (200 Мбит/с)

Возможности применения СШП (UWB) беспроводных технологий позволяют разрабатывать маломощные локальные сети с большим числом абонентов при небольших расстояниях между ними. Поэтому актуальна дальнейшая работа по созданию и изучению вариантов стандартов для развития такого рода сетей.

### Литература

1. Ljudmila Bakarajeva. Семейство стандартов IEEE 802.15 Bluetooth (IEEE 802.15.1). — Tallinn 2007. 1-23 с.
2. Интернет-ресурс. [www.ieee802.org/15](http://www.ieee802.org/15)
3. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. «Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура». — ЭКО-ТРЕНДЗ, 2010 г.
4. И.Шахнович. Современные технологии беспроводной связи. — ТЕХНОСФЕРА Москва 2004. 165 с.
5. Архипкин В.Я., Архипкин А.В. Технология Bluetooth,., Москва, 2002.

6. Андреевская Т.М., Чекунова Т.О. Применение технологии многочастотной модуляции типа OFDM в сверхширокополосных системах связи // В кн.: Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: материалы международной научно-технической конференции / Отв. ред.: И.А. Иванов; под общ.ред.: С.У. Увайсов. М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2012. С. 313-315.

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ШИФРОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В АЛГОРИТМАХ ЭЛЕКТРОННО-ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ**

Антонов Д. С., Балакин А. Р.  
*Тольятти, ПВГУС.*

Данная статья описывает понятия криптографии, информационной безопасности и электронно-цифровой подписи, методы шифрования информации и способы их реализации на практике. Так же в статье наглядно рассматривается частный случай реализации электронно-цифровой подписи на основе дискретного логарифмирования в частности при помощи эллиптических кривых.

### **Analysis of modern encryption systems and their use in the algorithm of the digital signature. Antonov D. Balakin A.**

This paper describes the concepts of cryptography, data security and digital signatures, encryption of information and ways to implement them in practice. Also in the article clearly considered a special case of the implementation of digital signatures based on the discrete logarithm problem in particular by means of elliptic curves.

Информация в наше время является крайне ценным ресурсом. Именно поэтому её защита становится задачей первостепенной важности. Данную задачу призвана решить криптография - защита информации путем ее преобразования, исключающая ее прочтение посторонним лицом. История криптографии - ровесница истории человеческого языка. Более того, первоначально письменность сама по себе была криптографической системой, так как в древних обществах ею владели только избранные.

Криптография - сознательное изменение знаков, системы или способа письма с целью затруднить или сделать невозможным его прочтение для нежелательного пользователя. По сути, криптография представляет собой совокупность двух процессов:

- Шифрование - процесс применения шифра к защищаемой информации, т.е. преобразование защищаемой информации (открытого текста) в зашифрованное сообщение с помощью определенных правил, содержащихся в шифре.
- Дешифрование - процесс, обратный шифрованию, т.е. преобразование зашифрованного сообщения в защищаемую информацию с помощью определенных криптографических алгоритмов.<sup>[1]</sup>

Первые алгоритмы криптографии были симметричными, т.е. представляли собой системы с неким секретным ключом: существовало некое тайное знание (способ шифрования или ключ к нему), и тот, у кого был доступ к этому знанию, мог зашифровать и впоследствии расшифровать любое сообщение.

Среди таких систем есть очень стойкие (даже абсолютно стойкие): пока вы не узнаете или не подберете ключ, расшифровать сообщение невозможно. Однако надо

предварительно снабдить обе стороны комплектом идентичных ключей, а это очень непросто сделать.

Подобные трудности привели к тому, что с развитием компьютерных сетей криптография с секретным ключом перестала справляться со своими обязанностями. Действительно, предположим, что вы хотите шифровать свою переписку. Значит, сначала нужно договориться о секретном ключе. Как это сделать? Пересылать ключ в открытом виде, мягко говоря, не лучшее решение. Сперва его надо зашифровать. Но как? Получается замкнутый круг.

Криптография с открытым ключом разрывает этот круг. В криптосистеме уже не один ключ, а два - открытый и секретный. Алиса публикует свой открытый ключ - он доступен для всех. Боб берет свое сообщение и шифрует его при помощи ключа Алисы (алгоритм шифрования известен). Однако ни Боб, ни кто-либо другой не может расшифровать это сообщение. Для этого нужно знать секретный ключ Алисы. Преимущество в том, что Алисе не нужно ни с кем делиться своим ключом. Только она одна должна иметь возможность расшифровать сообщение Боба, а чтобы зашифровать его, секретный ключ не нужен.

Первым ассиметричным алгоритмом был алгоритм RSA, который был изобретён ещё в 1976 г. Математическая идея этого алгоритма была так проста и в то же время глубока, что и по сей день успешно применяется во многих приложениях. Эта идея о "практической неосуществимости" разложения на множители больших целых чисел.

Ещё раньше была изобретена криптосистема Диффи-Хелмана, основанная на дискретном логарифмировании – ещё одной сложной математической проблеме.

Но что значит «сложная» проблема? В применении к только что перечисленным задачам математически это не значит ровным счетом ничего - никаких доказательных утверждений о вычислительной трудности разложения простых чисел или дискретного логарифмирования не существует. Однако много лет подряд криптографы всего мира пытались найти эффективные алгоритмы для решения этих задач - и не преуспели. А пока эффективное решение этих задач не найдено алгоритмы основанные на этих проблемах остаются криптостойкими.

Под стойкостью криптографического алгоритма обычно понимают число («гипотетических», «элементарных») операций, которые следует выполнить для вычисления секретного ключа по открытому ключу или, если исследуется симметричный алгоритм шифрования, для расшифровки сообщения без знания ключа.

Однако с ростом технологий основная идея ассиметричного шифрования (функция шифрования должна легко вычисляться, а вот вычисление обратной к ней должно быть "практически неосуществимым") начинает рушиться. Для действительно качественного шифрования в системе RSA необходимы ключи всё большей длины, что увеличивает время шифрования. Эту проблему частично решает криптография на эллиптических кривых.

Эллиптические кривые - это кривые вида  $y^2 = x^3 + ax + b$ .

Решения такого вида уравнений ищутся над конечными полями. Чтобы конечное множество могло стать полем, его размер должен иметь вид  $p^m$ , где  $p$  - простое число. Конечное поле с простым количеством элементов ( $m=1$ ) можно представлять как множество неотрицательных целых чисел, меньших  $p$ , в котором все алгебраические операции производятся "по модулю  $p$ " (то есть с переходом к остатку от деления результата на  $p$ ). В криптографии используются конечные поля двух типов - с простым количеством элементов ( $m=1$ ) и "поля характеристики два" (у которых  $2^m$  элементов); мы ограничимся первым случаем.

Ранее мы говорили, что сложность криптосистемы Диффи-Хеллмана связана с дискретным логарифмированием. Однако конструкция, аналогичная использованной в

этой системе, может быть реализована над любым множеством, где есть похожая на умножение операция (например, сложение), подчиняющаяся своим естественным законам (такое множество называется в математике группой). Суть применения эллиптических кривых в криптографии сводится к тому, что группа чисел по простому модулю заменяется группой решений уравнения  $y^2 = x^3 + ax + b$ . Осталось лишь указать, как складывать друг с другом решения такого уравнения.

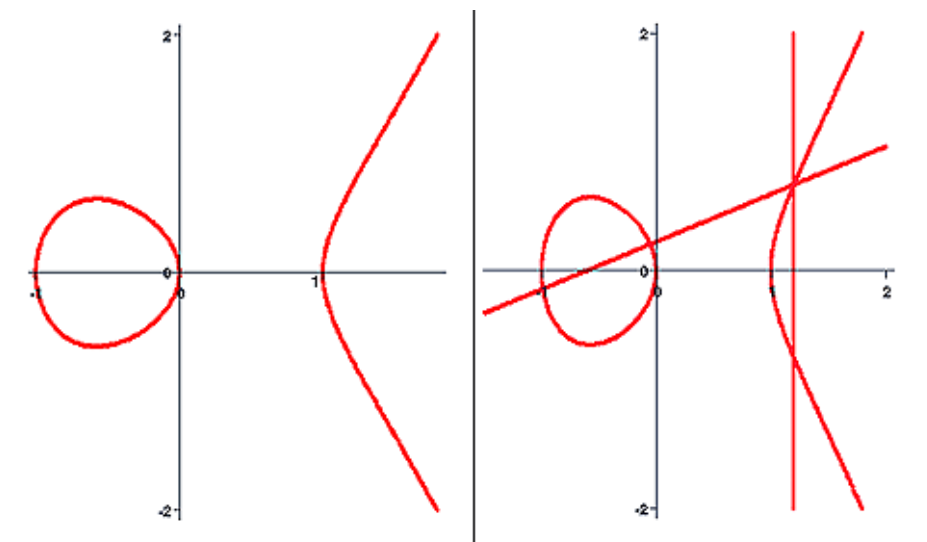


Рис. 1. Сложение точек на эллиптических кривых.

На плоскости это делается так, как показано на рисунке выше. Чтобы сложить две точки на эллиптической кривой, нужно провести через них прямую. Она пересечет кривую в третьей точке. Эту третью точку мы будем считать суммой первых двух со знаком минус; чтобы получить собственно сумму, отразим полученную точку относительно оси  $X$ . Можно проверить, что такое сложение будет ассоциативным. Остается только один вопрос: что делать, когда третьей точки нет? Например, если нужно сложить точку с самой собой, то для этого нужно провести касательную в этой точке. Если мы проведем касательную в точке  $(0, 0)$ , она будет направлена вертикально вверх; казалось бы, никакой третьей точки уже не получится. Это затруднение решается просто: к множеству решений эллиптического уравнения добавляют еще одну точку  $O$ , о которой проще всего думать как о бесконечности (бесконечные значения  $x$  и  $y$  действительно удовлетворяют уравнению). Сумма двух точек  $(0, 0)$  в нашем примере будет равна  $O$ .  $O$  играет роль нуля в этом своеобразном сложении. Мы уже говорили, что обратный элемент получится, если отразить точку относительно оси  $X$ ; если теперь соединить прямой точку и ее обратную, прямая будет вертикальной, и третьей точкой как раз будет бесконечность:  $P + (-P) = O$ .

Над конечными полями таких картинок не нарисуешь, но если выразить эти операции алгебраически, то все сойдется.

Вот, собственно, и все. Эллиптический аналог криптосистемы Диффи-Хеллмана выглядит так. Алиса и Боб выбирают (и сообщают всем) эллиптическую кривую, поле и точку  $B$ , лежащую на этой кривой. Затем Алиса секретно выбирает число  $a$  и подсчитывает точку  $aB$  (складывает  $B$  с самой собой  $a$  раз), а Боб выбирает число  $b$  и вычисляет  $bB$ . Затем они обмениваются полученными результатами, и их общим секретным ключом становится точка  $abB$ . Чтобы взломать этот шифр, нужно научиться по  $aB$  и  $B$  вычислять  $a$  - это в точности аналог дискретного логарифмирования.<sup>[2]</sup>

Так в чем же преимущество шифров, основанных на эллиптических кривых? В том, что в них можно использовать меньшие по величине простые числа, чем в классических системах с открытым ключом, т.е. для качественного шифрования необходимы ключи длиной всего в 512 бит, тогда как в RSA 2048.

Частным случаем реализации алгоритма шифрования на основе эллиптических кривых является применение алгоритма при создании/проверке электронно-цифровой подписи (ЭЦП). Данный алгоритм позволяет сгенерировать открытый и закрытый ключи, создать электронно-цифровую подпись (подписать документ) и в дальнейшем проверить её корректность.

### Литература

1. Сمارт, Н. Криптография [Текст] / Н. Смарт : пер. с англ. С. А. Кулешова под ред. С. К. Ландо. - М. : Техносфера, 2006. - 528 с. - (Мир программирования)
2. Таненбаум, Э. С. Современные операционные системы [Электронный ресурс] = Modern operating systems / Э. С. Таненбаум. - СПб. : Питер, 2011. - 1116 с.
3. Хорев, П. Б. Методы и средства защиты информации в компьютерных системах [Текст] : учеб. пособие для вузов по направл. "Информатика и вычисл. техника" / П. Б. Хорев. - М. : Академия, 2005. - 255 с. - (Высшее профессиональное образование. Информатика и вычислительная техника)
4. Хорев, П. Б. Методы и средства защиты информации в компьютерных системах [Текст] : учеб. пособие для вузов по направл. "Информатика и вычисл. техника" / П. Б. Хорев. - М. : Академия, 2007. - 255 с. - (Высшее профессиональное образование. Информатика и вычислительная техника)
5. Лапонина О.Р. Криптографические основы безопасности [Электронный ресурс] : Интернет-университет информационных технологий - ИНТУИТ.ру, 2005
6. Эллиптическая криптография на практике // Записки программиста URL: <http://eax.me/elliptic-curves-crypto/> (дата обращения: 15.11.2012).

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК КОНЦЕПТ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ

Бай К.Н., \*Бай Т.В.

*Челябинск, ЧЭРЗ, филиал ОАО «Желдорремаш»; \* Челябинск, ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ)*

Рассмотрены вопросы управления профессиональным образованием на основе применения информационных технологий в образовательной, управленческой и научной деятельности кафедры.

### **Information technologies as concept managements of professional education.**

**Bay K., Bay T.**

Questions of management by professional education on the basis of application of information technologies in educational, administrative and scientific activity of chair are considered.

Внедрение новых информационных технологий в систему образования высшей школы является необходимым и закономерным условием, позволяющим повысить качество подготовки специалистов в сфере туриндустрии и эффективность всех форм

учебного процесса, усовершенствовать организационные структуры системы высшего образования, довести систему высшего образования до уровня международных стандартов и интегрировать её в мировую систему.

В соответствии с целями и задачами информатизации образования были сформулированы следующие основные направления управления профессиональным образованием на уровне выпускающей кафедры (кафедра туризма и социально-культурного сервиса) для студентов туристского профиля:

- информатизация учебного процесса;
- информатизация научных исследований на кафедре;
- создание единой информационной среды образовательного процесса;
- информатизация управления работы кафедры.

Реализация указанных направлений на уровне кафедры предусматривает использование и развитие таких новых и многофункциональных информационных технологий, как:

- образовательные электронные ресурсы, в первую очередь компьютерные обучающие системы и компьютерная диагностика знаний студентов на всех этапах обучения, включая итоговую государственную аттестацию;
- электронные библиотеки;
- базы данных;
- локальные вычислительные (компьютерные) сети;
- экспертные системы;
- технологии мультимедиа;
- электронная почта, в том числе голосовая;
- технологии удалённого доступа к разнообразной информации [1].

В последнее время в науке и образовании туристской индустрии возрастает роль современных способов передачи информации как между кафедрами, так и между отдельными исследователями туристики, роль методов доступа к удалённым банкам данных, содержащим актуальную научную и учебную информацию. Растёт интерес к внедрению новых форм образования с использованием компьютерных сетей. Необходимо отметить, что возможности, связанные с использованием технологий удалённого доступа, обеспечивают различного рода международные, государственные и региональные информационные сети, предоставляющие широкий круг услуг, наиболее распространённой из которых является электронная почта. Отметим, что электронная почта активно используется в учебном процессе западных вузов: учащиеся получают доступ к учебным материалам самого различного характера – лекциям известных учёных и преподавателей разных стран, всевозможным справочникам, журналам и методическим пособиям, выполняют курсовые проекты и домашние задания и отсылают их на проверку. При этом в отличие от классической системы заочного обучения, на получение новых материалов и проверенных заданий уходят считанные часы. Студенты и аспиранты могут обсуждать возникающие в процессе обучения проблемы со своими сверстниками в других городах и странах, используя для этого различные тематические телеконференции [2].

Рациональное сочетание традиционных форм обучения с новыми формами, основанными на технологиях удалённого доступа, существенно повышает эффективность и качество учебного процесса.

Ещё большие возможности предоставляет Интернет – открытая саморазвивающаяся кибернетическая система, включающая в себя миллионы людей и множество компьютеров, объединённых в различные локальные и глобальные сети, реализуемая на основе единых способов межкомпьютерного и межсетевого взаимодействия, стандартизированных в семействе протоколов TCP/IP, и образующая

единое информационное пространство, поддерживаемое различными информационными сервисами (телеконференция, электронная почта, IRC и пр).

Исследователи современных ресурсов Интернет выделяют пять функциональных возможностей Интернета в образовании:

- теле-доступ (использование ресурсов Интернет в процессе обучения, включая электронные библиотеки, базы данных, музеи, виртуальные лаборатории, спутниковые данные и пр);
- виртуальные публикации (возможность электронных публикаций, включающих в себя не только текст, но и графику, и звук, и видео);
- теле-присутствие (позволяет испытывать события в дистанционно удалённых местах: на туристском маршруте, участие в реальном эксперименте, в зоне экологического бедствия);
- теле-наставник (возможность получить профессиональную помощь учёных и экспертов в различных предметных областях в режиме on-line);
- теле-сотрудничество (участие в совместных проектах, публикациях, обсуждение совместных научно-исследовательских планов) [3].

В учебном процессе при подготовке специалистов для сферы индустрии туризма следует выделить два направления использования компьютеров в учебных заведениях:

- применение профессиональных программных систем как основы будущей профессиональной деятельности выпускников;
- образовательный процесс в рамках широкого круга дисциплин, включая общеобразовательные и профессионально-ориентирующие дисциплины, формирующие как общекультурные, так профессиональные компетенции.

Появление на рынке услуг современных систем сетевого обеспечения и электронных коммуникаций существенно расширило возможности организации образовательного процесса как с точки зрения оперативности обмена, так и с точки зрения доступности к интегральным информационным ресурсам. Это обстоятельство привело к появлению новых форм и методов образовательного процесса.

Применение профессиональных программно-инструментальных систем и комплексов обеспечивает универсальные технологии сопровождения учебного процесса, позволяет решить задачи адаптации учебного материала и его оперативной настройки в соответствии с постоянно меняющимся уровнем требований. При этом к разработке предметно-ориентированного программного обеспечения могут быть привлечены самые широкие круги практикующих педагогов и методистов.

На кафедре активно разрабатываются научно-методические основы компьютерного сопровождения образовательного процесса на основе программно-инструментальных систем проектирования и сопровождения учебных материалов различного класса, технологии проектирования программных модулей учебного назначения, методического обеспечения процессов проектирования, формирования и адаптации учебных модулей к реальному учебному процессу для различных уровней подготовки специалистов туристской индустрии.

Так, например, для направления подготовки 100400.68 «Туризм» на кафедре разработан электронный учебно-методический комплекс для всех дисциплин учебного плана, что обеспечивает сквозной цикл сопровождения учебных программ, включая проектирование, реализацию в формате комплекса, адаптацию в соответствии с рабочими планами и программами обучения и подготовки, авторское мультимедийное сопровождение учебных материалов.

Внедряемая система организации учебного процесса на кафедре позволяет автоматизировать операции управления процессом обучения в режиме компьютерного сопровождения. Система обеспечит ведение регистрационной базы студентов, сбор и



хранение полных протоколов сеансов обучения (подготовки), формирование сводных протоколов и ведомостей по направлениям подготовки кафедры. На данный момент на кафедре функционирует модуль этой системы – программа позволяющая проводить тестирования входного, промежуточного и итогового контроля знаний студентов, формировать сводные протоколы и ведомости по всем дисциплинам направлений подготовки реализуемых на кафедре.

Другое возможное использование технологий удалённого доступа на кафедре – информатизация научных исследований. Новые информационные технологии дают основание к интенсификации научных исследований в сфере туристской индустрии.

Перспективно направление использования технологий удалённого доступа в управлении кафедрой и вузом в целом. Информатизация управления кафедрой направлена на создание новой информационной технологии организационной деятельности, которая включает в себя:

- создание и развитие информационных комплексов каждого преподавателя кафедры;

- создание и развитие на базе локальных вычислительных сетей автоматизированных систем по различным направлениям управленческой деятельности кафедры (научной, образовательной, исследовательской и пр.)

При этом для эффективного функционирования таких систем необходимо обеспечить их взаимодействие с системами других уровней управления, в том числе с системами распределённых баз данных и знаний существующих информационных сетей.

Необходимо так построить работу организационных структур единой информационной сети на уровне кафедры, чтобы с одной стороны, эти структуры всячески были бы заинтересованы в активизации работы конечных пользователей с сетью, а с другой стороны, требования, вырабатываемые пользователями, должны быть своего рода техническим заданием для администраторов сети. Последнее обусловлено тем обстоятельством, что без конкретного «заказа», формируемого на нижнем уровне, создаваемая телекоммуникационная система рискует остаться «вещью в себе» [3].

Развитие компьютерной обработки данных позволило начать процесс автоматизации деятельности кафедры, на основе созданных АСУ высшим учебным заведением, в перспективе – создание АСУ высшей школы:

- автоматизация повседневной деятельности сотрудников кафедры;
- автоматизация повседневной деятельности структурных подразделений факультета;

- автоматизация повседневной деятельности структурных подразделений вуза;
- подключение вуза к единой информационной сети высшей школы в целях: подготовки документации стандартных учётных форм и ответов на запросы, необходимых различным учреждениям вышестоящего уровня иерархии высшей школы, автоматизации обработки получаемых документов из учреждений вышестоящего уровня иерархии высшей школы, создания баз данных вуза и обеспечение доступа к ним других пользователей единой информационной сети высшей школы;

- информирование преподавателей, научных сотрудников, студентов вуза о возможностях единой телекоммуникационной сети высшего образования с учётом специфики каждой из упомянутых групп пользователей;

- обеспечение максимальной свободы доступа пользователей к телекоммуникационным услугам.

Основными путями интеграции системы образования РФ в мировую систему являются:

- создание единого информационного пространства российских вузов с использованием методов и средств современных ИКТ, принятых в мировом сообществе;

- развитие системы академической мобильности между российскими и зарубежными вузами [4].

В рамках этих направлений необходимо:

- представление каждого вуза в сети Интернет для создания инфраструктуры оперативного обмена информацией между российскими и зарубежными вузами;

- создание условий для свободного и бесплатного использования, по крайней мере, электронной почты студентами и профессорско-преподавательским составом;

- поэтапный переход к разработке учебных планов и рабочих программ по принятой в мировой практике модульной структуре;

- создание университетских баз данных с открытым доступом по сетям телекоммуникации, в том числе с информацией на английском языке о предоставляемых вузом комплексах образовательных услуг;

- развитие академической мобильности профессорско-преподавательского состава на основе контрактной системы преподавания за рубежом по межвузовским, межфакультетским и межкафедральным контрактам;

- развитие университетской мобильности студентов на основе посеместрового обмена по сходным специальностям между вузами России, стран СНГ, Европы и США, в том числе и на основе технологий дистанционного обучения.

Специфической особенностью высшей школы является наличие такой формы безотрывного образования, как заочное обучение. Оно возникло в дореволюционной России и имело перед собой ограниченную цель – обучить элементарной грамоте взрослое население, не получившее в свое время начального образования [5].

Сегодня заочное обучение ставит перед собой более масштабные задачи – современные заочные отделения вузов становятся центрами переподготовки, переквалификации и повышения квалификации работников различных отраслей знания.

Вместе с тем заочное обучение позволяет найти выпускнику на рынке труда более квалифицированную работу, улучшить свои жизненные позиции. Изменения, коснувшиеся в последнее время всей системы высшего профессионального образования, вносят свои коррективы в организацию образовательного процесса заочной формы обучения на кафедре. Внедрение в образовательный процесс современных информационных технологий предоставляет разноплановые возможности по сбору, хранению, переработке и использованию информации. При этом решается задача организации учебной деятельности студентов на основе новых информационных технологий. Одной из таких технологий является дистанционная технология обучения.

Дистанционное обучение стало международным феноменом. Внедряющие его вузы вынуждены конкурировать не только на внутреннем рынке образовательных услуг, но и с образовательными учреждениями других стран.

Дистанционная система позволяет эффективно использовать комплекс разнообразных способов индивидуализации обучения, однако при этом меняется само понятие «индивидуализация». При выборе человек следует своим природным склонностям, то есть проявляет свою индивидуальность. Кроме того, дистанционная форма обучения приучает его рассчитывать, прежде всего, на самого себя, способствует формированию чувства ответственности и ставит его перед необходимостью не только самостоятельно добывать знания, но и применять их для решения конкретных профессионально значимых проблем.

Технология дистанционного обучения позволяет повысить самостоятельность слушателей-заочников, так как осуществляется беспрепятственный доступ к учебно-методической и управленческой информации благодаря соответствующим технологиям и техническим средствам.

В обучении с использованием технологий дистанционного обучения акцент переносится на деятельность обучающегося по самоуправлению. По этой причине в систему принципов дистанционного обучения включаются базовые принципы:

- общие (гуманизации обучения, научности, поликультурности, системности, развития);

- относящиеся к целям и содержанию обучения (их соответствие государственным образовательным стандартам);

- охватывающие дидактический процесс и адекватную ему педагогическую систему (соответствия дидактического процесса закономерностям учения; единства образовательной, воспитательной и развивающей функций обучения; проблемности; сочетания абстрактности мышления с наглядностью; сознательности, активности и самостоятельности обучающихся при руководящей роли преподавателя; системности; последовательности в обучении; прочности овладения знаниями);

- специфические, отражающие особенности дистанционного обучения (интерактивности; наличия стартовых знаний; индивидуализации; идентификации педагогической целесообразности применения средств новых информационных технологий; обеспечения открытости и гибкости обучения; непротиворечия дистанционного обучения традиционным формам).

Обучение с использованием дистанционных технологий на кафедре требует наличия специализированного информационно-аналитического обеспечения управленческой деятельности преподавателей и студентов, учебно-методического оснащения и программно-технических средств сбора, накопления, обработки, распространения и передачи информации, которые в комплексе обеспечивают процессы интерактивного взаимодействия, развитие потенциальных возможностей и готовности студентов-заочников к самостоятельной учебной деятельности и самоуправлению.

Исследователи проблематики внедрения технологии дистанционного обучения в систему высшего образования выделяют наиболее важные требования, которым должно отвечать комплексное информационно-аналитическое и учебно-методическое обеспечение самостоятельной учебной деятельности студентов:

- системность, что предполагает комплексное обеспечение самостоятельной учебной деятельности обучающихся. Сюда входят информационно-аналитические подсистемы и программно-педагогические средства, необходимые для выполнения взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга самостоятельных работ;

- систематичность и последовательность в обучении. Необходимость усвоения обучающимися системы понятий, фактов, способов деятельности в целях овладения знаниями, умениями и навыками;

- адаптируемость, которая предполагает реализацию индивидуального подхода к обучающемуся, возможность «индивидуальной траектории обучения»;

- многофункциональность использования комплекса диагностических средств при выполнении внеаудиторных самостоятельных работ и при проведении аудиторных занятий, как студентами, так и преподавателями;

- концентрация информации для выполнения отдельных видов самостоятельных работ, изучения отдельных дисциплин; анализа изменения тех или иных показателей с учетом временных периодов; анализа показателей успешности отдельного студента, группы, курса и т.д. Должно быть обеспечено

взаимодействие всех компонентов комплекса в процессе их совместного функционирования;

– дидактическая новизна, достигаемая за счет использования средств визуализации, технологии гипертекста и организации интерактивного взаимодействия с обучающимися;

– интегрируемость с уже изданными и используемыми в образовательном процессе учебниками, учебными пособиями, базами данных и т.д.;

– расширение и обновление функций комплекса и видов его обеспечения, а также наращивание информационного фонда, создаваемого в виде системы баз данных. Оснащение программными и техническими средствами;

– мобильность, позволяющая использовать дидактические средства комплекса при различных конфигурациях технических средств, осуществлять реализацию, обеспечивать удаленный доступ и работу в распределенных сетях;

– надежная защита информации, позволяющая организовать параллельное разграничение доступа к данным и функциям, защиту данных, включая средства авторизации вводимой и корректируемой информации, регистрации пользователей [6].

Выполнение этих требований при реализации комплексного информационно-аналитического и учебно-методического обеспечения позволит оказать всестороннюю поддержку учебной и педагогической деятельности преподавателей и слушателей, особенно заочной формы обучения.

### Литература

1. Бай Т.В. Компьютерные технологии в науке и образовании: учебное пособие/Т.В. Бай. – Челябинск.: Изд. ЮУрГУ, 2012. – 76 с.

2. Бочарников, В.Н. Информационные технологии в туризме [Текст]: учебное пособие/ В.Н. Бочарников, Е.Г. Лаврушина, Я.Ю. Блиновская; Рос. акад. образования, Моск. психол.-социал. ин-т. – М.: Флинта: МПСИ, 2008. – 356 с.

3. Информационные и коммуникационные технологии в образовании [Текст]: учеб.-метод. пособие/ И.В. Роберт, С.В. Панюкова, А.А. Кузнецов, А.Ю. Кравцова. – М.: Дрофа, 2008. – 312 с.

4. Полат, Е.С. Современные педагогические и информационные технологии в системе образования [Текст]: учеб. пособие/ Е.С. Полат, М.Ю. Бухаркина. – М.: Академия, 2008. – 364 с.

5 Соловьева, Л.Ф. Компьютерные технологии для преподавателя [Текст]/ Л.Ф. Соловьева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 453 с. + 1 электрон. опт. Диск

6 Хроленко, А.Т. Современные информационные технологии для гуманитария [Текст]: практ. рук./ А.Т. Хроленко, А.В. Денисов. – М.: Флинта: Наука, 2007. – 127 с.

### ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ УЧЁТА БОЛЬНЫХ ТУБЕРКУЛЁЗОМ

Байметов Ф.Т.

*Туркестан, Казахстан, Международный казахско-турецкий университет им.  
К.А.Ясави*

Рассмотрены вопросы моделирования предметной области учета больных туберкулезом на основе объектно-реляционного подхода.

**The problems of modeling subject domain registration of tuberculosis patients based on an object-relational approach. Baimetov F.T.**

Современные информационно-коммуникационные технологии находят всё более широкое применение в различных областях человеческой деятельности, в том числе и в медицине. Происходит пересмотр самих подходов управления противоэпидемической ситуацией, разрабатывается все более совершенные математические модели распространения инфекции [1].

В связи с этим возникает необходимость качественного изменения содержания информационной инфраструктуры, обеспечивающей деятельность противотуберкулёзного диспансера.

Разработанные в последнее время медицинские информационные системы основаны на принципе единого информационного пространства (ЕИП) и концепции единой медицинской карты [2].

В работе рассмотрены вопросы, необходимые для построения интегрированной информационной системы противотуберкулёзного диспансера (ИИС ПТД), предложена модель данных предметной области диспансерного учёта больных (ДУ) на примере туберкулёза (ТБ): концептуальная и логическая модели. В основе модели лежат концепция единой медицинской карты, обеспечивающей централизованное хранение всех информационных объектов истории болезни, и гибкое их представление – прозрачность медицинской информации, относящейся к конкретному пациенту, независимо от того, где и кем она введена в систему.

Для описания диспансерного учёта логической модели в предметной области были выделены три группы объектов: пациенты, диагнозы, группы диспансерного учёта.

Пациенты – лица, обследующиеся, состоящие или состоявшие когда-либо на диспансерном учете. Данная логическая группа может входить также в другие, аддитивные по отношению к предлагаемой модели данных (например, географическую) [3], что позволяет применять в анализе заболеваемости ТБ пространственные методы, предоставляемые геоинформационными системами (ГИС).

Единая медицинская карта построена вокруг персонифицированного реестра пациентов, представленного реляционной моделью (рис.1). Класс “Регистрационные карты” содержит уникальные записи о единицах учёта. Значения свойств “Пол” и “Принадлежность к декретированным группам” являются членами соответствующих доменов данных. Значения свойств “Категория населения” и “Социально-профессиональная принадлежность” выбираются из справочников. Кроме уникального свойства “Номер” (номер диспансерной истории болезни) дополнительно введён суррогатный идентификатор, который обеспечивает целостность данных при изменении состояния предметной области.

Число записей класса “Регистрационные карты” на несколько порядков больше, чем в справочниках, поэтому явные отношения между ними не установлены. Справочник используется для проверки значений атрибутов «Категория населения» и «Социально профессиональная принадлежность».

Группы ДУ - категории лиц, входящих в контингенты, прикрепленные к ПТД, внутри которых пациенты имеют сходные диагнозы.



Рис.1. Логическая группа “Единицы учёта”

Группы ДУ также описаны реляционной моделью (рис.2). Класс “Диспансерный учёт” содержит полную историю движения пациентов между группами. Вычисляемое свойство “предыдущая” группа является избыточным и введено для упрощения запросов к БД. Данный класс связан с классом “Регистрационные карты” логической группы “Единицы ДУ”.

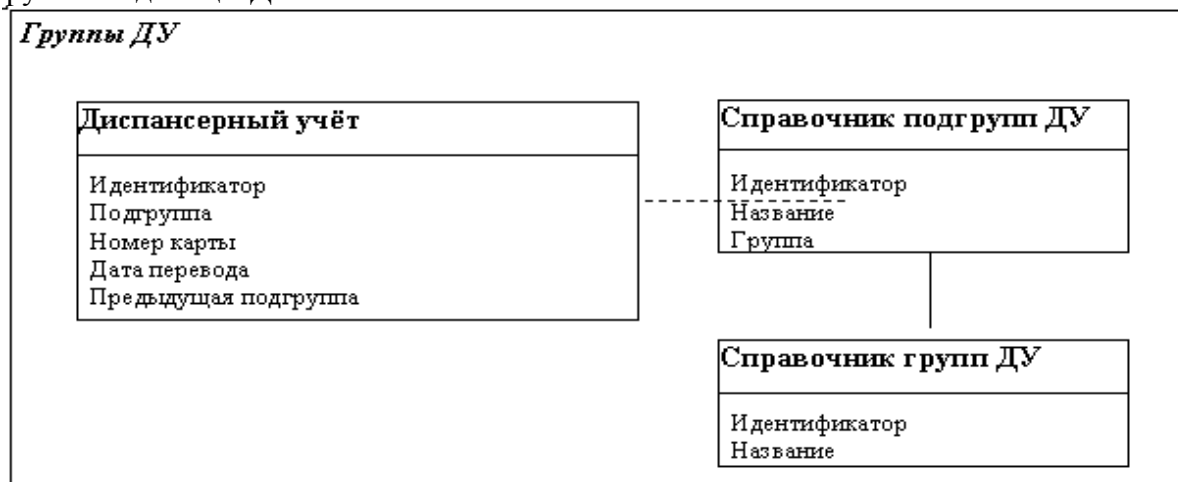


Рис. 2. Логическая группа “Группы ДУ”.

Диагнозы – наиболее важная с точки зрения количественного анализа заболеваемости ТБ логическая группа.

В структуре диагноза выделена иерархическая часть, описанная классом «Объекты». Объединяя в себе данные и метаданные, этот класс содержит информацию об общих характеристиках, клинических формах, клинико-рентгенологических особенностях и диагнозы конкретных пациентов. Данные характеристики важны для количественного анализа заболеваемости населения.

“Детализированные диагнозы” явно связаны с классом «Объекты» в отношении один к одному. Свойства “Осложнения”, “Остаточные изменения”, “Фаза” являются второстепенными при анализе заболеваемости. Соответствующие справочники используются только для ускорения ввода текста и не связаны явно с классом

“Детализированные диагнозы”. Класс “Диагнозы” связан с логической группой “Пациенты” отношением “Диспансерный учёт”.

Данная логическая группа описана объектно-реляционной моделью. Это упрощает структуру физической модели и лучше сочетается с объектно-ориентированными методами разработки прикладных компонент информационной системы ПТД [4].

При физической реализации за основу построения ИИС ПТД будет выбрана клиент-серверная СУБД MS SQL Server 2008, имеющий более мощный, гибкий и близкий к стандартам ANSI диалект языка SQL, по сравнению с другими СУБД, а также совместимостью с ASP.NET.

Разработанная модель позволяет создать на её основе ИИС ПТД, которая обеспечит сбор и обработку информации для количественного анализа заболеваемости населения.

### Литература

1. Сараев А.Д. Системный анализ и современные информационные технологии / А.Д. Сараев, О.А.Щербина. Труды Крымской Академии наук. Симферополь: СОНАТ, 2006, с. 47-59.
2. Медицинская информатика в ИПС РАН Гулиев, Ядулла Иман оглы. <http://www.interin.ru>.
3. An ArcGIS™ Address Data Model for the City of Calgary: An ESRI © Technical Paper, April 2003.
4. Mapping objects to relational databases: an AmbySoft Inc. white paper, Scott W. Amber, 1999.

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Богачёв К.А.  
*МИЭМ НИУ ВШЭ*

Рассмотрены вопросы обеспечения эргономически безопасного информационного взаимодействия в человеко-машинных системах. Предложены методики и технические средства контроля параметров систем отображения, а также функционального состояния организма оператора.

### **Hardware-software ergonomic safety of electronic display products. Bogachyov K.**

An overview of solution that provides an ergonomic safety "man-machine" information communication systems. We propose techniques and tools of control parameter display systems and monitoring of an operator's physiological condition.

Проект направлен на обеспечение эргономически безопасного информационного взаимодействия в человеко-машинных системах. Актуальность данного направления диктуется стремительным ростом количества комплексов отображения информации различного назначения, в том числе образовательного, оборонного, промышленного и т.п., а также многообразием средств отображения информации индивидуального и коллективного пользования. В подобных человеко-машинных комплексах к суммарной

надежности системы отображения и эффективности работы оператора предъявляются высокие требования, поскольку от точности отображения и восприятия визуальных стимулов напрямую зависит надежность и эффективность работы всего комплекса в целом, а ошибки восприятия информации могут приводить к нежелательным, иногда катастрофическим, последствиям.

Исходя из этого, при анализе таких систем, оператор должен рассматриваться как составная часть комплекса. Поэтому, наряду с анализом технических и эксплуатационных параметров аппаратуры, должна быть исследована такая научная проблема, как психофизиологические и психологические параметры оператора, рассматриваемые в качестве составной части комплекса отображения информации.

Важное место для профилактики нарушения зрения при работе в комплексах отображения и оптимизации работы зрительного анализатора принадлежит созданию условий световой среды на рабочих местах и качеству изображения на экране средства отображения. Экранное изображение дисплеев отличается от бумажного рядом особенностей: оно самосветящееся, имеет значительно меньший контраст, оно не непрерывное, а состоит из отдельных точек-пикселей; оно мерцающее – нестабильность свечения экрана присуща даже матричным жидкокристаллическим дисплеям. Это лишь малая часть вредных воздействующих факторов, влияющих на функциональное состояние организма оператора и приводящих к выраженному утомлению.

Эти факторы напрямую или опосредованно влияют на качество визуальной работы, степень опасности для здоровья оператора, поэтому должны быть учтены как в процессе проектирования рабочего места, так и в процессе работы.

Очевидно, что проблема взаимодействия оператора с информационной системой требует оперативного решения, направленного на обеспечение максимальной безопасности условий работы. В настоящее время нет достоверной информации по данной теме – есть лишь отрывочные теоретические выкладки. Очевидно также, что эта проблема может быть решена только благодаря использованию достоверной информации, полученной из практических исследований особенностей процесса зрительной работы оператора. Таким образом, решение проблемы обеспечения эргономически безопасного информационного обмена в человеко-машинных комплексах приобретает особую актуальность.

Предлагаемый подход позволяет решить основную проблему, заключающуюся в существенном снижении уровня эргономической безопасности по мере увеличения степени утомления оператора. Утомление оператора, прежде всего, сказывается на увеличении ошибок восприятия. Соответственно, для уменьшения ошибок восприятия нужно изучать не только зрительную систему человека вообще, но и особенности его психофизиологического состояния, с учетом совокупности объективных показателей. Данную проблему предлагается решать комплексно: оптимизацией выходных параметров средства отображения с одной стороны, и ранней диагностикой утомления оператора с другой.

Работа приобретает междисциплинарный характер, выражающийся в интеграции методологических и технологических ресурсов информатики, техники, эргономики, психологии. В процессе работы предполагалось исследование эргономических параметров электронных средств отображения информации с последующим использованием полученных данных для оптимизации человеко-машинного общения.

В результате были разработаны и апробированы методы настройки и контроля оптимальных параметров средств отображения, а также методы оценки утомления оператора с учетом психологических особенностей. Также разработаны рекомендации по оптимизации характеристик электронных средств отображения информации.



Для решения поставленных задач было реализовано:

- Аппаратно-программный комплекс контроля эргономических параметров электронных средств отображения информации;
- Методика настройки оптимальных параметров средств отображения различных типов;
- Методики и аппаратное обеспечение для оценки утомления оператора.
- Планирование и проведение экспериментальных исследований, обработка и анализ их результатов
- Рекомендации по применению аппаратно-программного комплекса обеспечения эргономической безопасности электронных средств отображения информации.

Измерительный комплекс включает в свой состав внешний измерительный модуль (рис.1. фотометрическая головка с блоком аналого-цифрового преобразования и интерфейсом) и управляющую программу, позволяющую проводить измерения в ручном или автоматическом режиме, а также вести протоколы испытаний.

Измерению подлежат светотехнические характеристики средств отображения информации индивидуального пользования – дисплеев, регламентированных ГОСТ Р 50949-2001, ГОСТ Р 50948-2001:

- яркость изображения
- неравномерность яркости рабочего поля экрана
- контрастность изображения

В рамках поставленных задач проведена разработка и усовершенствование аппаратно-программного комплекса для анализа визуальных параметров современных электронных средств отображения информации, в частности, управляющей программы, позволяющей проводить измерения в ручном или автоматическом режиме, вырабатывать тест-задания и вести протоколы испытаний.

Предложенный подход позволил заменить одним прибором целую светотехническую лабораторию, обеспечив измерение визуальных параметров, регламентированных ГОСТ Р 50949-2001, ГОСТ Р 50948-2001.



Рис.1. Внешний измерительный модуль (фотометрическая головка с блоком аналого-цифрового преобразования и интерфейсом).

Вторая часть проекта была направлена на исследование особенностей зрительной работы пользователя и раннюю диагностику утомления. Для решения этой задачи необходим анализ созданных и используемых методов оценки состояния организма пользователя при работе с системами отображения. Необходимо рассмотреть особенности каждой методики. Также необходимо обоснование методики экспресс-диагностики функционального состояния организма пользователя,

позволяющей проводить мониторинг состояния за время работы, что является ключевым моментом в построении системы защиты здоровья оператора. При решении этой проблемы возникла необходимость спроектировать автономное устройство для определения функционального состояния организма оператора, с использованием выбранной методики оценки состояния, и раннего выявления утомления. Здесь основным вопросом являлся правильный выбор методики в отношении ее надежности, достаточной чувствительности, объективности и возможности применения в тех или иных конкретных условиях.

Зарубежные и отечественные научные публикации результатов физиологических, медицинских и эргономических исследований, посвященных проблеме «человек-машина», а также многолетний собственный опыт изучения влияния средств отображения на состояние здоровья пользователей, убеждает в том, что особую важность представляет изучение зрительной работоспособности, а также функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС), обеспечивающей работоспособность всего организма.

Известно, что ведущую роль в приеме, переработке и усвоении информации играет функциональное состояние ЦНС, поэтому в первую очередь необходимо изучать изменения, происходящие именно в этой системе.

Современные подходы к гигиеническому регламентированию той или иной деятельности требуют не только констатации сдвигов функционального состояния организма (ФСО) под влиянием данной деятельности, но и учета этих изменений в динамике. Поэтому гигиеническое изучение различной по характеру деятельности, будет более информативно, если наблюдения за изменением ФСО проводится не только до и после, но и непосредственно в процессе этой деятельности. Таким образом, необходимо чтобы выбранная методика позволяла проводить мониторинг состояния организма за все время работы.

Разработанная экспресс-диагностика состояния основана на предъявлении визуального стимула и учета при этом комплекса информативных сдвигов.

Физиолого-гигиенической основой разработки экспресс-диагностики ФСО в процессе исследований послужили следующие принципы:

1. Экспресс-диагностика должна исходить из учета индивидуальных особенностей организма оператора, для чего необходимо разработать методику оценки сдвигов физиологических функций, позволяющую сопоставлять индивидуальные характеристики сдвигов.

2. Экспресс-диагностика должна обеспечить количественный анализ ФСО, что требует строгого дозирования предъявляемого задания и конкретного алгоритма текущих данных.

3. Экспресс-диагностика должна опираться на заведомо информативные физиологические показатели, направленные на выявление ранних признаков утомления.

Экспресс-диагностика утомления базируется на психофизиологических характеристиках переработки информации и представляет собой методику выявления таких изменений ФСО ЦНС и зрительного анализатора, которые указывают на целесообразность пассивного или активного отдыха.

Алгоритм теста содержит 4 звена:

- определение индивидуальных исходных показателей ФСО и их запоминание;
- определение текущих показателей ФСО;
- сравнение исходных показателей с текущими и диагностика ФСО.

- выработка рекомендаций о дальнейшей работе или регламентированном перерыве.

Пример результата, выдаваемого системой экспресс-диагностики, приведен на рис.2.

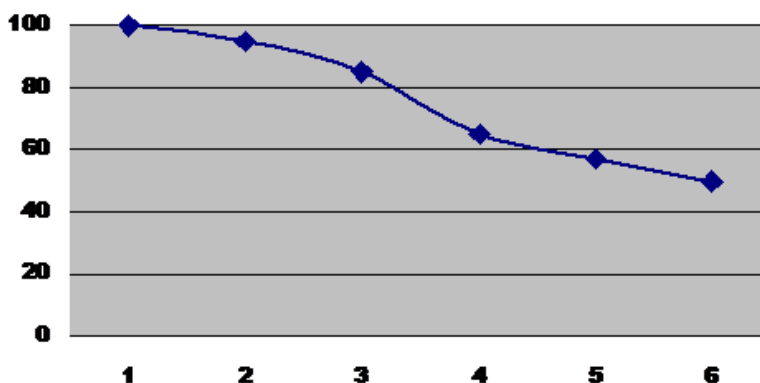


Рис.2. Вид графика работоспособности (вертикальная ось, отн. ед.) за время работы оператора (горизонтальная ось), построенный программой экспресс-диагностики состояния.

Опираясь на многолетний опыт исследований по данной проблеме можно сказать, что процессы утомления (как зрительного так и моторного) у учащихся протекают более выражено и динамично, чем у взрослых пользователей. Это позволяет более детально изучить динамичность процессов утомления и построить более точный описательный математический аппарат. А, кроме того, в настоящее время такие данные очень востребованы, поскольку позволяют оптимизировать нагрузку в учебном процессе.

По данной специфике на протяжении более чем 10 лет в испытательном центре средств отображения информации «Элита» при Московском институте электроники и математики (ныне МИЭМ НИУ ВШЭ) ведутся экспериментальные исследования особенностей восприятия человеком-оператором визуальной информации, основной целью которых является обеспечение эргономической безопасности операторов комплексов электронных средств отображения информации.

Поскольку самым распространенным случаем деятельности оператора является работа за дисплеем персонального компьютера, этот вид деятельности был использован в проводимых исследованиях как «зрительно напряженная работа». На примере компьютерных средств обучения (с которыми подолгу работают школьники) были проведены экспериментальные исследования динамики процессов зрительно-моторного утомления оператора. Были также выявлены воздействующие факторы, влияющие на работоспособность оператора. Показана необходимость контроля не только продолжительности компьютерной работы, но также и контроля функционального состояния организма оператора за время работы.

Исходя из высокой важности вопроса эргономической безопасности, было рассмотрено несколько, используемых в различных отраслях, методик оценки работоспособности оператора и выявления ранних признаков утомления. Принципы создания системы защиты здоровья были реализованы в результате разработки методики экспресс-диагностики состояния, разработанной в испытательном центре «Элита».

В системе экспресс-диагностики возможен учет возрастных возможностей операторов, имеется возможность адаптации тестов к различным возрастным категориям по сложности задания.

Предложенный метод и средство диагностики функционального состояния организма пользователя прошли апробацию в учебном процессе нескольких образовательных центров Москвы и Севастополя, а также ВНИИ Гигиены детей и подростков.

На основе результатов проведенных исследований были подготовлены доклады как на ежегодных внутрисоссийских конференциях специалистов, аспирантов, молодых ученых, студентов, так и на международных конференциях, посвященных средствам отображения информации, обработке информации и психологическим проблемам:

– Конференциях и симпозиумах международной организации Society for Information Display (SID).

– Международных выставках «Дисплей».

В рамках исследования ранее было выполнено два проекта по заказу ФЦП РЕОИС Министерства образования в рамках программы «Развитие информационных ресурсов и технологий. Индустрия образования»:

1. «Разработка системы защиты здоровья учащихся при использовании компьютерной техники в образовательных учреждениях».

2. «Исследование эргономических особенностей работы учащихся с мультимедийным программным обеспечением».

Полученные в результате работы данные могут быть использованы:

**а) в науке и производстве**

➤ разработка методов человеко-машинного общения;

➤ обеспечение эргономической безопасности электронных средств отображения информации;

➤ повышение надежности и качества визуальной работы комплексов отображения информации;

➤ оптимизация оценки психофизиологического состояния различных категорий операторов ЭВМ;

**б) в образовательном процессе**

➤ демонстрация и анализ метода, а также принципа и технологии работы аппаратно-программного комплекса обеспечения эргономической безопасности электронных средств отображения информации будут использоваться в учебных курсах «Средства отображения информации», «Инженерная психология» и др. Кроме лекционных курсов будут разработаны программы лабораторных, практических работ и исследовательской практики.

➤ Непосредственное применение аппаратно-программного комплекса и реализация практических рекомендаций будет способствовать повышению эффективности обучения при использовании компьютерных средств и технологий в образовательном процессе.

➤ Результаты работы также могут быть использованы различными образовательными учреждениями для обеспечения психофизиологической безопасности обучаемых и разработки оптимальных средств и способов представления знаний.

**Литература.**

1. Аветисов С.Э., Богачев К.А., Казарян Э.Э., Литвак И. И., Мамиконян В.

Р., Фейгин А.А., Шелудченко В.М. Результаты комплексной оценки аккомодативной астенопии при работе с видеомониторами различной конструкции. «Вестник офтальмологии» №4, 2004.

2. Баканов А.С., Обознов А.А. Эргономика пользовательского интерфейса: от проектирования к моделированию человеко-компьютерного взаимодействия. Издательство: Институт психологии РАН, 2011.

3. Bogachev K., Litvak I., Fel'dman D. Optimization of the Sign Alphabets of Electronic Displays. Ergonomics and safety for global business quality and productivity. Proceedings of the Second International Conference ERGON-AXIA 2000. Warsaw, Poland, 2000.

4. Bogachev K.A., Litvak I.I., Fel'dman D.V., Naumov E., Terent'ev A.Yu. Display Design as the Synthesis of Ergonomic and Engineering Studies. Advanced Display Technologies: Basic Studies of Problems in Information Display (FLOWERS 2000), 2001.

5. Bogachev K.A., Fel'dman D.V. The Methods of Analysis and Synthesis of Symbols of Matrix Alphabets of Electronic Indicators and Displays. 2001 SID International Symposium, Digest of Technical Papers. USA, 2001.

6. Bogachev K.A. Comparative Analysis Of Information Perception Quality For CRT And Active Matrix LCD. 12-th international symposium Advanced Display Technologies: Basic Studies of Problems in Information Display. SID Russia Chapter, Moscow, 2003.

7. Богачев К.А. Сравнительный анализ качества восприятия информации на ЭЛТ дисплеях и дисплеях на базе активной матрицы. Материалы конференции SID, 2003.

8. Богачев К.А. Эргономические особенности современных дисплеев. Материалы научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов. Москва, МИЭМ, 2004.

9. Богачев К.А., Гуменер П.И., Литвак И.И., Цамерян А.П., Шумкова Т.В. Влияние бинокулярного и монокулярного зрения на функциональное состояние человека, работающего за персональным компьютером. Москва, Вестник офтальмологии №1, 2004.

10. Богачев К.А. Особенности ЖК технологии в производстве матричных мониторов. Москва, Технологии Электромагнитной Совместимости №7, 2006.

11. Богачев К.А. Жидкокристаллические мониторы: выбор, типы, настройка. Москва, Hard&Soft, 2007.

## **ПОДАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА В ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВАНИИ КРАТНОМАСШТАБНОГО АНАЛИЗА**

Волкова Л.Л.

*Москва, Московский институт электроники и математики Национального  
исследовательского университета «Высшая школа экономики»*

Кратномасштабный анализ в применении к задаче подавления шума в изображениях позволяет проводить фильтрацию на основе анализа особенностей сигнала. Предложен метод очистки изображений от шума на основании вейвлет-преобразования, использующий на этапе фильтрации долю вклада коэффициентов преобразования в сигнал для определения пороговой величины. Проведена апробация метода применительно к подавлению импульсного шума.

### **Denoising images with impulse noise with multiresolutional analysis. L.L. Volkova**

Multiresolutional analysis applied to the denoising task for images makes it possible to perform filtering basing on specific character of signal. A denoising method based on wavelet transform is designed, considering part of influence of transform coefficients on the signal as threshold when filtering. The designed method has been tested on impulse noise filtering.

Подавление шума в изображениях является одной из основных задач цифровой обработки изображений. Кратномасштабный анализ обладает такими достоинствами, как масштабируемость и возможность локализации в сигнале деталей определенного размера [1], которыми не обладает близкий ему аппарат Фурье-преобразования, неадаптивный из-за константности размеров деталей, наличие которых определяется в сигнале [11]. В применении к данной задаче кратномасштабный анализ (КМА) позволяет проводить фильтрацию на основе анализа особенностей сигнала [2], классифицировав некоторым образом часть деталей как шум. При этом при удалении шумовых деталей из основного сигнала после N-шагового дискретного вейвлет-преобразования детализирующие сигналы хранят вклады от деталей меньших размеров, и из них может быть восстановлена исходная функция. А благодаря работе Д.Л. Донохоу и его сотрудников [3], для некоторых шумовых моделей могут быть даны рекомендации по выбору уровня порога для коэффициентов детализирующих сигналов, который позволяет удалить шум, не нарушая важных особенностей сигнала. Широко применяемые при подавлении шумов в изображениях стандартные методы, такие, как медианный фильтр и фильтр Гаусса низких частот, проще в применении, однако не позволяя учитывать особенности сигнала, что сказывается на качестве результата.

Вычислительный принцип вейвлет-преобразования следующий: исходный сигнал  $f(u)$  умножается на некоторую «анализирующую» функцию  $g_v(u)$  и интегрируется по временной оси [4]:

$$f(u) \rightarrow \hat{f}(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(u) \overline{g_v(u)} du \quad (1)$$

«Анализирующая» функция зависит от частоты или от размеров деталей, которые должны быть измерены. Анализ проводится при помощи семейства функций, полученных посредством сдвигов анализирующей функции, сопровождаемых сжатием или растяжением этой функции [5]. Для анализа используются такие функции, или материнские вейвлеты, как вейвлет Хаара [6], вейвлет Добеши [7], Би-сплайн вейвлет [8, 9] и др.

Двухмерное вейвлет-преобразование представляет собой композицию одномерных. При каждом проходе, соответствующем уровню коэффициентов, преобразование разлагает сигнал на аппроксимирующую и детализирующую составляющие, таким образом, полученная карта коэффициентов делится на 4 части – аппроксимирующую и детализирующие: горизонтальную, вертикальную и диагональную (см. рис. 1). Каждый следующий проход преобразует аппроксимирующую составляющую, получая новые составляющие карты коэффициентов. Данный алгоритм носит имя пирамиды Малла [10] (см. рис. 2). Коэффициенты вейвлет-преобразования, или коэффициенты масштабирования, отвечают за размеры заданных деталей.

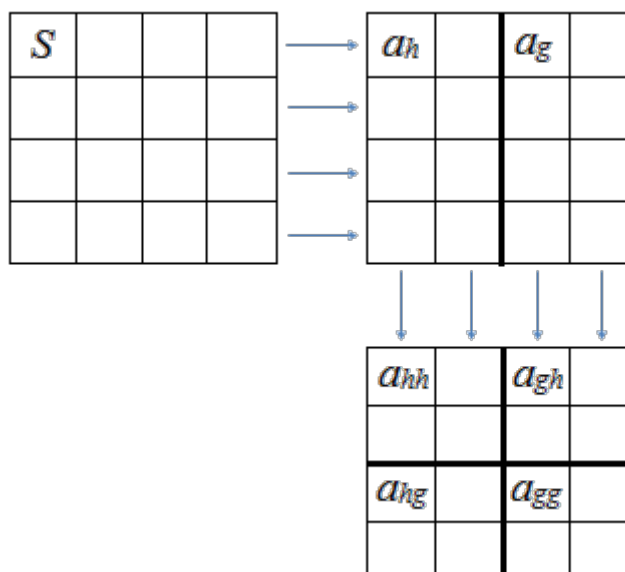


Рис. 1. Схема первого шага вейвлет-преобразования.

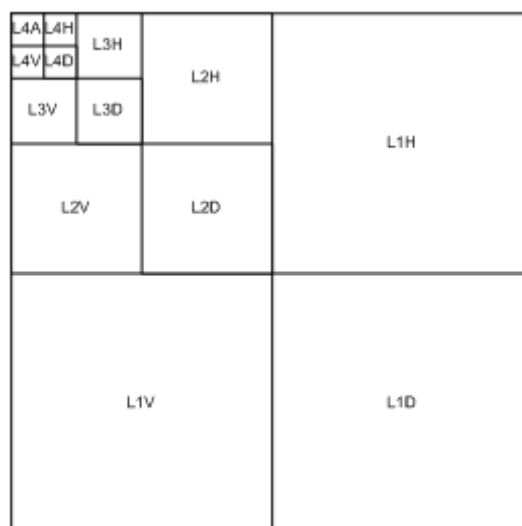


Рис. 2. Расположение коэффициентов в карте коэффициентов вейвлет-преобразования для четырехуровневого разложения, согласно алгоритму Малла.

Будем считать, что шум невелик по амплитуде и вносит небольшой вклад в суммарный сигнал. Вклад определенной частоты определяется коэффициентами вейвлет-преобразования. Поскольку кратномасштабный анализ дает локализацию деталей сигнала определенного размера, будем фильтровать коэффициенты по уровням преобразований, обнуляя те из них, которые по модулю меньше порогового значения.

Будем удалять шум при помощи вейвлет-преобразования по следующему алгоритму:

- 1) декомпонировать сигнал при прямом преобразовании;
- 2) выбрать пороговые значения шума для каждого уровня разложения и детализирующей составляющей карты коэффициентов;
- 3) провести пороговую фильтрацию коэффициентов детализации;
- 4) реконструировать сигнал при обратном вейвлет-преобразовании.

В предложенном методе очистки изображений от шума на основании кратномасштабного анализа пороговое значение коэффициентов будем определять по доле вклада фильтруемых коэффициентов в сигнал на каждом уровне преобразования и для каждой детализирующей составляющей. Обозначим эту долю как *Доля*, тогда

$$\text{Доля} * \sum_{i=1}^M \text{КолВход}_i * \text{Коэфф}_i = \sum_{j=1}^k \text{КолВход}_j * \text{Коэфф}_j + \varepsilon, \quad (2)$$

где  $M$  – индекс наибольшего модуля коэффициента в отсортированном массиве коэффициентов  $\text{Коэфф}_i$  (для детализирующей составляющей карты коэффициентов на уровне преобразования),  $\text{КолВход}_i$  – количество вхождений коэффициента  $\text{Коэфф}_i$  в составляющую карты коэффициентов,  $k$  – индекс максимального коэффициента из фильтруемых (определяется по доле). Определим порог фильтрации соответственно суммарному вкладу наименьших коэффициентов в сигнал как доле от вклада всех коэффициентов в сигнал.

Фильтрация проводится для каждого цветового канала, для каждого уровня коэффициентов (соответственно пирамиде Малла) и для каждой составляющей детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразования на уровне: вертикальной, горизонтальной и диагональной.

Предметом эксперимента, кроме апробации разработанного метода, являлось определение той доли вклада фильтруемых коэффициентов в сигнал, которая приводит в данной задаче к достижению лучшего результата: при подборе соответствующих параметров можно повысить качество подавления шума в изображениях. Построен программный комплекс на языке C#, включающий как стандартные, так и разработанные методы подавления шума; на его основании проведено исследование. Используются следующие критерии оценки методов фильтрации: пиковое отношение сигнал-шум (PSNR, соотношение между максимумом возможного значения сигнала и мощностью шума), среднеквадратичное отклонение (MSE), визуальный критерий.

Исследован статистически независимый аддитивный импульсный шум. Предложенный метод адаптирован к данному типу шума добавлением дополнительных этапов сглаживания и повышения резкости; к стандартным фильтрам также добавлено повышение резкости. В набор тестовых изображений-оригиналов был внесён шум при помощи инструментария программного пакета MATLAB, результаты фильтрации сравнивались с незашумленными изображениями. Используются вейвлеты Хаара, Добеши, Би-сплайн; дана рекомендация о применении одного из данных классов вейвлетов.

Зависимости MSE и PSNR от доли вклада фильтруемых коэффициентов в сигнал для импульсного шума (дисперсия 0.01) на основании экспериментальных данных для разных материнских вейвлетов представлены на рис. 3 и рис. 4. Значения MSE для медианного фильтра сравнимы или хуже, чем результаты предложенного метода, для фильтра Гаусса – лучше, PSNR – хуже в обоих случаях (см. табл. 1). Стандартные фильтры сильно размывают изображение и снижают его качество, создавая размытость (Гаусс) или пикселизацию границ (медиана) и не устраняя шум с таким качеством, как разработанный метод, см. рис. 5.



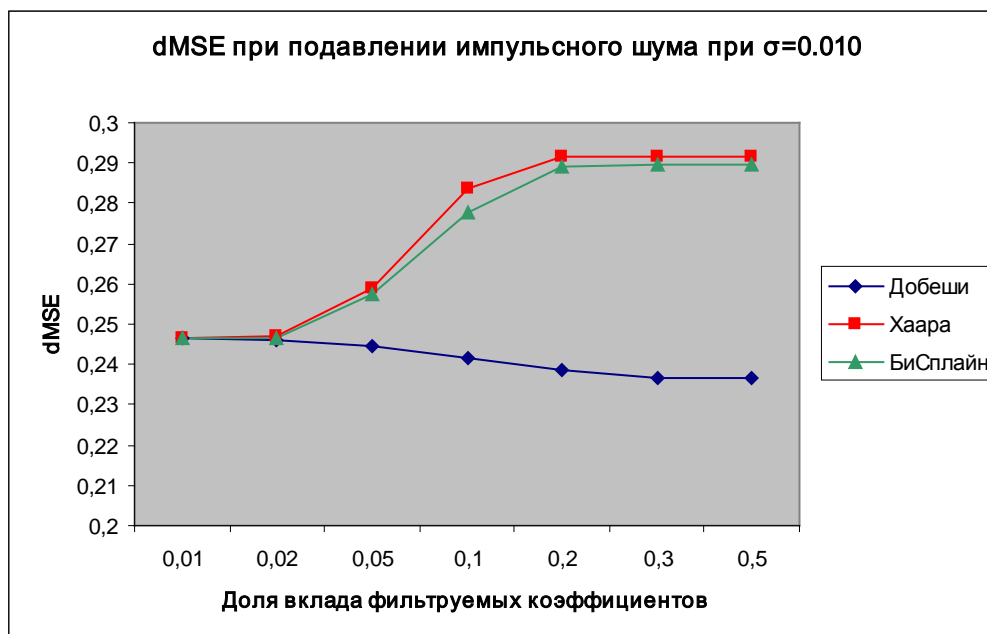


Рис. 3. Зависимость MSE для разных материнских вейвлетов от доли вклада фильтруемых коэффициентов для разработанного метода для импульсного шума.

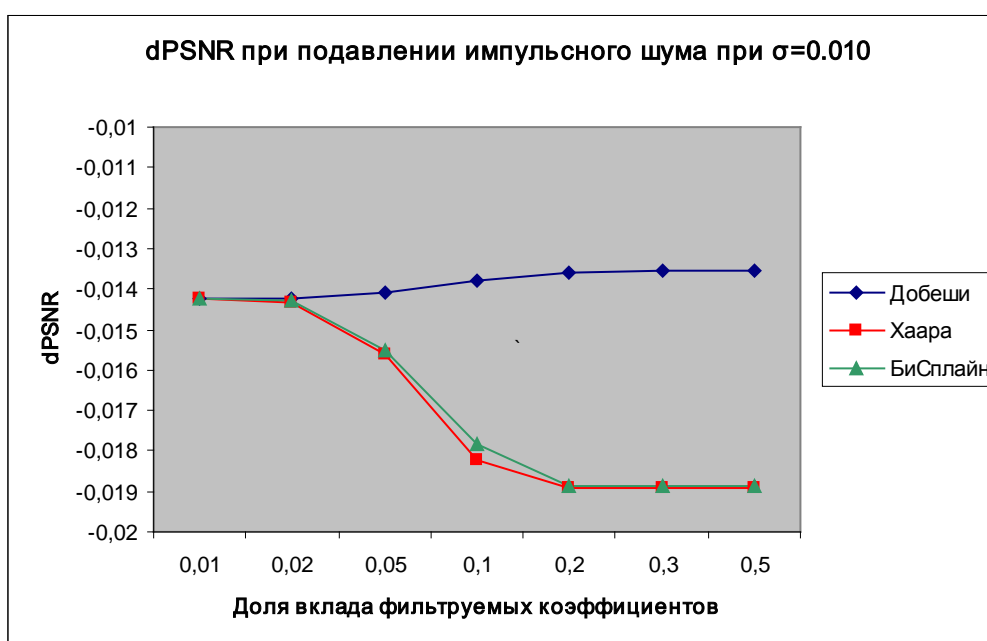


Рис. 4. Зависимость PSNR для разных материнских вейвлетов от доли вклада фильтруемых коэффициентов для разработанного метода для импульсного шума.

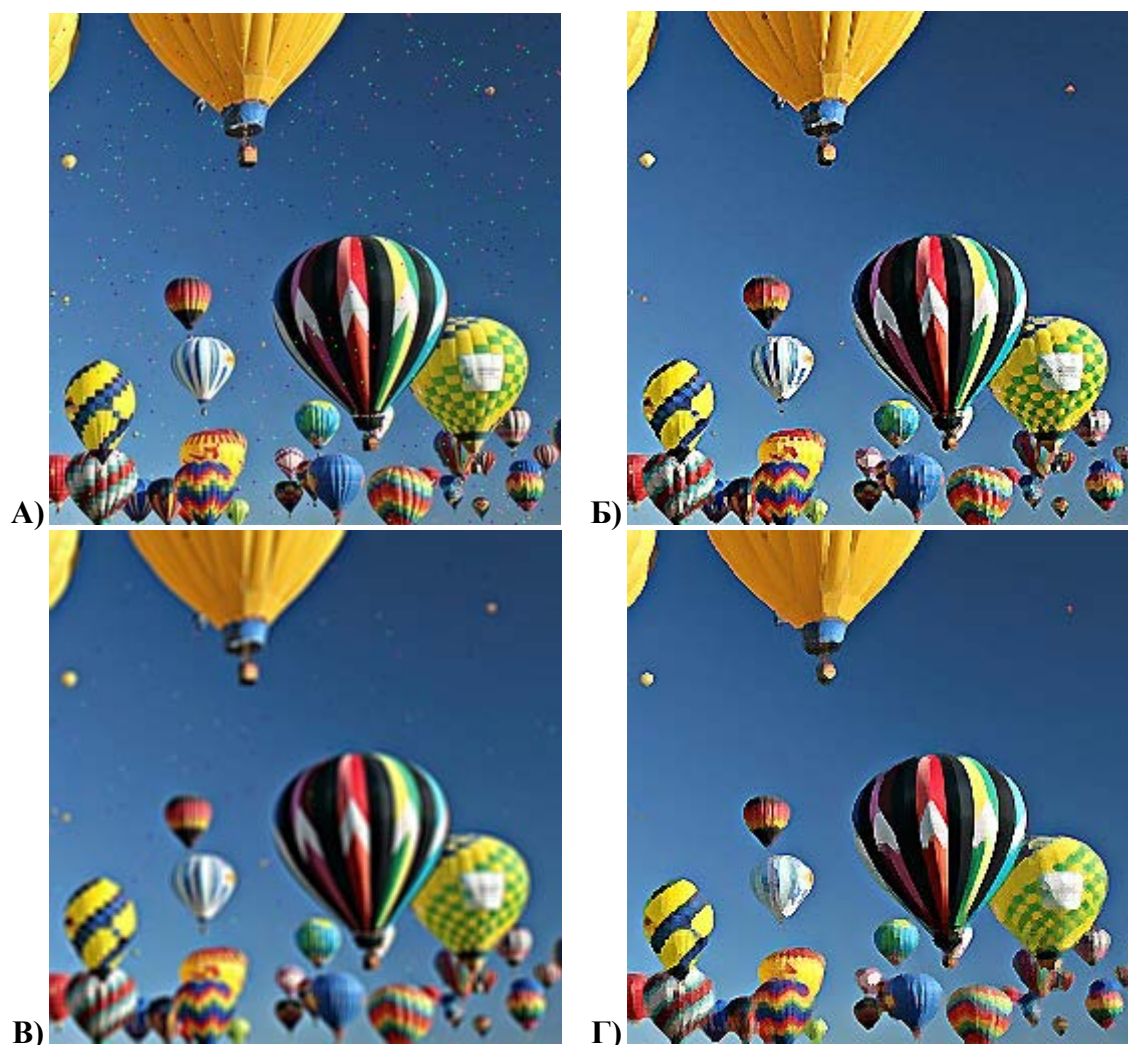


Рис. 5. Результаты фильтрации изображения с импульсным шумом: А) зашумленное изображение, Б) отфильтрованное разработанным методом, вейвлет Би-Сплайн, В) отфильтрованное фильтром Гаусса, Г) отфильтрованное медианным фильтром.

Сводные данные по оценке качества подавления импульсного шума в среднем для выборки изображений с шумом со среднеквадратичным отклонением  $\sigma = 0.010$  при доле вклада фильтруемых коэффициентов в сигнал 20 % по критериям среднеквадратичного отклонения и пикового отношения сигнал-шум приведены в табл. 1 для вейвлетов Хаара, Би-сплайн, Добеши, а также для методов Гаусса и медианного. Приведены доли изменения критериев после фильтрации:

$$\Delta \text{MSE} = (\text{MSE}' - \text{MSE}_{\text{шум}}) / \text{MSE}_{\text{шум}}, \quad (3)$$

$$\Delta \text{PSNR} = (\text{PSNR}' - \text{PSNR}_{\text{шум}}) / \text{PSNR}_{\text{шум}} \quad (4)$$

Таблица 1.

Оценка результатов применения методов фильтрации изображений, искаженных импульсным аддитивным шумом, по критериям MSE и PSNR.

Изображение	$\Delta \text{MSE}$	$\Delta \text{PSNR}$
Медианный фильтр	-0,067	0,027

Фильтр Гаусса	-0,318	0,058
Фильтр на базе КМА (вейвлет Хаара с 2 коэффициентами, 1 уровень разложения)	0,292	-0,019
Фильтр на базе КМА (вейвлет Хаара с 2 коэффициентами, 2 уровня разложения)	0,309	-0,021
Фильтр на базе КМА (вейвлет Би-сплайн с 6 коэффициентами, 2 уровня разложения)	0,289	-0,019
Фильтр на базе вейвлет-преобразования (вейвлет Би-сплайн с 6 коэффициентами, 1 уровень разложения)	0,321	-0,022
Фильтр на базе вейвлет-преобразования (вейвлет Добеши с 4 коэффициентами, 1 уровень разложения)	0,238	-0,014
Фильтр на базе вейвлет-преобразования (вейвлет Добеши с 4 коэффициентами, 2 уровня разложения)	0,022	0,010

**Выводы на основании проведенных экспериментов** Разработан метод подавления шумов на основе кратномасштабного анализа. Проведен сравнительный анализ стандартных методов подавления шума в изображениях и разработанного метода. Проведенные исследования с применением критериев среднеквадратичного отклонения, пикового отношения сигнал-шум и визуального показывают, что разработанный на основе кратномасштабного анализа метод фильтрации обеспечивает более эффективное подавление шума по сравнению с рассмотренными стандартными методами.

Стоит отметить, что разработанный метод не всегда гарантирует минимум MSE или максимум PSNR. Проведенные исследования показывают, что разработанный метод обеспечивает эффективное подавление шума также по визуальному критерию, являющемуся не менее важным, чем отношение сигнал-шум и среднеквадратичное отклонение, и дающего оценку конечного пользователя, то есть человека, результатов работы метода. Данный факт проиллюстрирован на рис. 5: лучшее сохранение резкости, контуров деталей и перепадов яркостей изображения по сравнению со стандартными алгоритмами.

Экспериментально установлено, что подавление шумов разработанным методом лучше проводить для импульсного шума при доле вклада фильтруемых коэффициентов 20 %: начиная с 10% практически не меняется среднеквадратичное отклонение, с 20 % - пиковое отношение сигнал-шум.

Наименьшие значения MSE и наибольшие значения PSNR достигаются при применении материнского вейвлета Добеши.

На основании данной работы есть возможности для дальнейшего исследования:

- 1) представляется интересным сравнить результаты шумоподавления при работе с разными цветовыми моделями, к примеру, YUV;
- 2) возможно добавление функционала других типов материнских вейвлетов для последующего сравнительного анализа;
- 3) подлежит исследованию подавление других типов шумов, к примеру, аддитивного гауссова;

#### Литература.

1. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории.– М.: Техносфера. 2004. 280 с.
2. Штарк Г.Г. Применение вейвлетов для ЦОС.–М.: Техносфера, 2007. 192 с.

3. Donoho D.L. (1995). De-Noising by soft-thresholding. IEEE Trans. on Inf. Theory, vol. 41: pp. 613-627.
4. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – С.-Пб.: ВУС, 1999. 204 с.
5. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001 г. 464 с.
6. Столниц Э., ДеРоуз Т., Салезин Д. Вейвлеты в компьютерной графике: Пер. с англ. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. 272 с.
7. I. Daubechies, "Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets", Communications on Pure and Applied Mathematics, 41 (1988): pp. 909-996.
8. A. Cohen, I. Daubechies, and J.-C. Feauveau; "Biorthogonal Bases of Compactly Supported Wavelets", Communications on Pure and Applied Mathematics, 45 (1992): pp. 485-560.
9. Чуи К. Введение в вэйвлеты. – М.: Мир, 2001. 412 с.
10. Mallat S. A theory for multiresolutional signal decomposition: the wavelet representation. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, N7, p.674-693.
11. Волкова Л.Л., Филиппов М.В. Подавление шума в изображениях с использованием кратномасштабного анализа. – Сборник тезисов докладов общеуниверситетской научно-технической конференции «Студенческая научная весна – 2011», посвященной 50-летию полета Ю.А. Гагарина в космос. 4 – 30 апреля 2011 г. Том XI, часть 2. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, с. 129-130.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛОВ КАЧЕСТВА ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ОБОБЩЕННОЙ АКТИВАЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ**

Волянский Р.С., Садовой А.В.

*Днепродзержинск, Днепродзержинский государственный технический университет*

На основании решения обратной задачи динамического программирования разработана методика определения функционалов качества, задающих цель управления в системе управления с нелинейной активационной функцией. Использование предложенной методики позволяет упростить уравнение Беллмана и путем анализа свободного движения замкнутой системы находить коэффициенты функции Ляпунова.

**Determination of the quality functionals for control systems with generalized activation function. S.Voliansky, A.V.Sadovoy. Dneprodzerzhinsk, Dneprodzerzhinsk State Technical University**

The method of performance of functional definition, determining the movement in the control system with nonlinear activation function, is developed in terms of solving the inverse problem of dynamic programming. The use of suggested method allows us to simplify the Bellman's equation and determine the coefficients of Liapunov function by means of analysis of free motion in a closed loop system.

**Введение.** Современный уровень развития теории оптимального управления характеризуется детальной проработкой фундаментальных основ, принципов и методов оптимизации, которые позволили создать ряд высокоэффективных инженерных методов синтеза, позволяющих определять структуру и параметры оптимальных регуляторов без выполнения сложных оптимизационных процедур [1-3]. Найденные

оптимальные управления минимизируют наперед заданные функционалы качества, которые выбираются проектировщиком оптимальной системы исходя из условий обеспечения желаемого качества процессов управления и возможностей технической реализации искомого управления.

Известные методы синтеза оптимальных управлений на этапе выбора минимизируемого функционала качества задают классы функций, в которых определяется искомое управление. Существующее при этом жесткое разграничение на разрывные и непрерывные управления [4] значительно сужает диапазон возможных характеристик синтезируемой системы, обеспечивая либо высокое быстродействие и точность при больших энергетических затратах и быстром износе оборудования, либо невысокое качество процессов управления при низком энергопотреблении и долговечности оборудования. Известные попытки устранить этот недостаток приводят к созданию системы управления, в которой параллельно работают релейный и непрерывный регуляторы. Каждый из этих регуляторов подключается к объекту управления в определенные моменты времени [5]. Такой подход может быть источником снижения запаса устойчивости системы вплоть до возникновения в ней автоколебаний.

Улучшить характеристики системы управления можно в результате реализации скользящих режимов высоких порядков [6]. Такие системы, в отличие от релейных и линейных оптимальных систем, построены с использованием нелинейной активационной функции типа «квадратный корень» и занимают промежуточное место между разрывными и непрерывными управлениями [7], создавая тем самым предпосылки для поиска обобщенного управления

$$U = -f(S), \quad (1)$$

из которого могут быть получены известные алгоритмы оптимального управления. Наряду с методологическим, такое обобщение имеет важное практическое значение, которое заключается в возможности формирования траектории движения системы управления без изменения уравнения линии равновесного состояния регулятора  $S$ , а значит с сохранением требуемого запаса устойчивости. Поэтому работа, посвященная исследованию общих закономерностей поведения систем, реализующих управление (1), является актуальной.

**Постановка задачи.** Целью данной статьи является изучение энергетических характеристик систем оптимального управления, реализующих алгоритм (1), и на их основе выработка критерия, который характеризует качество процессов управления в системах с обобщенной активационной функцией.

**Метод решения.** Рассмотрим обобщенный объект управления, динамика которого описывается уравнениями возмущенного движения

$$p\eta_0 = \eta_j; p\eta_k = f_1(\eta) + f_2(U), \quad k = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Считая, что цель управления объектом (2) задается интегральным функционалом

$$I = \int_0^{\infty} [F(\eta) + G(U)] dt, \quad (3)$$

запишем основное функциональное уравнение Беллмана в виде [5]

$$\frac{dV(\eta)}{dt} + F(\eta) + G(U) = 0, \quad (4)$$

где  $V(\eta)$  - функция Ляпунова

$$V(\eta) = \sum_{i,j=0}^n V_{ij} \eta_i \eta_j, V_{ij} = V_{ji}. \quad (5)$$

С учетом системы (2) полная производная функции Ляпунова (5) будет

$$\frac{dV}{dt} = \sum_{i=0}^n \frac{\partial V}{\partial \eta_i} p \eta_i = \sum_{i=0}^n \frac{\partial V}{\partial \eta_i} f_1(\eta) + \sum_{i=0}^n \frac{\partial V}{\partial \eta_i} f_2(U). \quad (6)$$

Первое слагаемое производной (6) определяет устойчивость свободного движения объекта управления и используется для нахождения коэффициентов функции Ляпунова (5) путем решения уравнения [5]

$$\sum_{i=0}^n \frac{\partial V}{\partial \eta_i} f_1(\eta) = 0. \quad (7)$$

С учетом выражения (7) уравнение (4) можно представить следующим образом

$$S \cdot f_2(U) + F(\eta) + G(U) = 0, \quad (8)$$

где  $S$  - уравнение линии равновесного состояния регулятора

$$S = \sum_{i=0}^n \frac{\partial V}{\partial \eta_i} = 2 \sum_{i=0}^n V_{in} \eta_i. \quad (9)$$

Продифференцировав уравнение (8) по управляющему воздействию, получим

$$S = -g(U), \quad (10)$$

где

$$g(U) = \partial G(U) / \partial f_2(U) \quad (11)$$

Уравнения (10) и (11) связывают составляющую  $G(U)$  интегрального функционала качества, определяющую энергию управления, с функцией  $S$ , определяющей оптимальное управление, и могут использоваться для решения прямой задачи аналитического конструирования регуляторов, посвященной определению оптимального управления, минимизирующего заданный функционал качества, и обратной задачи - определения функционала качества, который минимизируется известным оптимальным управлением.

В случае решения прямой задачи динамического программирования - уравнение (10) удобнее представлять следующим образом

$$U = -q(S). \quad (12)$$

Нелинейная активационная функция  $q(S)$  является нечетной функцией, которая обратна функции  $g(U)$ .

При решении обратной задачи составляющую  $G(U)$  можно определить следующим образом

$$G(U) = \int g(U) \frac{\partial f_2(U)}{\partial U} dU. \quad (13)$$

Для определения составляющей  $F(\eta)$  подставим значение интеграла (13) в уравнение (8)

$$F(\eta) = -S \cdot f_2(U) - \int g(U) \frac{\partial f_2(U)}{\partial U} dU. \quad (14)$$

Принимая во внимание, что функция  $F(\eta)$  зависит от координат возмущенного движения и не зависит от управляющего воздействия, исключим из выражения (14) управление  $U$ . Для этого подставим в интеграл (13) управляющее воздействие (12) и, продифференцировав выражение (12), определим значение дифференциала

$$dU = -\frac{\partial q(S)}{\partial S} dS. \quad (15)$$

В результате выполненных действий составляющая  $G(U)$  примет вид

$$G(U) = -G_1(S); G_1(S) = \int S \frac{\partial f_2(-q(S))}{\partial S} dS. \quad (16)$$

С учетом зависимостей (16) выражение (14) примет вид

$$F(\eta) = -S \cdot f_2(-q(S)) + G_1(S). \quad (17)$$

Подстановка значения функции, определяющей рассеяние накопленной на траекториях возмущенного движения избыточной энергии (17), и выражения, определяющего расход энергии управления (13), в функционал (3) позволяет получить искомый функционал

$$I = -\int_0^{\infty} S f_2(-q(S)) dt + \int_0^{\infty} G_1(S) dt + \int_0^{\infty} G(U) dt. \quad (18)$$

Анализ интеграла (18) совместно с выражением (16) позволяет сделать вывод о том, что сумма последних двух слагаемых (18) равна нулю, т.е.

$$\int_0^{\infty} G_1(S) dt + \int_0^{\infty} G(U) dt = 0. \quad (19)$$

Следовательно, приняв во внимание зависимость (19), функционал (18) можно упростить и представить следующим образом

$$I' = -\int_0^{\infty} S f_2(-q(S)) dt. \quad (20)$$

Однако, несмотря на то, что функционал качества (20) имеет более простую по сравнению с функционалом (18) форму записи, с методологической точки зрения использование функционала (18) предпочтительнее из-за наличия составляющей, содержащей управляющее воздействие и позволяющей использовать известные методы создания оптимальных систем.

**Заключение.** Использование в качестве функции Ляпунова квадратичной формы (5), учитывающей избыточную энергию, которая запасена на траекториях движения обобщенной динамической системы (2) с управлением (1), позволяет выделить составляющие полной производной функции Ляпунова, учитывающие рассеяние энергии при свободном и вынужденном движении. Определение коэффициентов квадратичной формы (5) осуществляется при условии, что рассеяние избыточной энергии происходит под действием управляющего воздействия (1).

Найденные коэффициенты функции Ляпунова позволяют упростить основное функциональное уравнение Беллмана и представить его в виде (8). Использование упрощенного уравнения Беллмана (8) позволяет однозначно восстановить функционал качества, который минимизируется на траекториях возмущенного движения (2) оптимальным управлением (1).

Запись уравнения (8) в функции линии равновесного состояния регулятора  $S$  создает предпосылки для решения прямой и обратной задачи аналитического конструирования регуляторов с нелинейной линией равновесия.

### Литература

1. Колесников А.А. Синергетика и проблемы теории управления - Москва: Физматлит, 2004. - 504 с.
2. Ловчаков В.И. Оптимальное управление электромеханическими объектами/ Ловчаков В.И., Сухинин Б.В., Сурков В.В. - Тула: Издательство ТулГУ, 2004. - 149 с.
3. Садовой А.В. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами/ А.В. Садовой, Б.В. Сухинин, Ю.В. Сохина. - К.:ИСИМО, 1996. - 298 с.
4. Systems, Structure and Control [edited by Petr Husek], Vienna: In-TECH, 2008. - 256 p.
5. Юревич Е.И. Основы робототехники - СПб: БХВ - Петербург, 2005. - 416 с.
6. Емельянов С.В., Коровин С.К., Левантовский Л.В. Новый класс алгоритмов скольжения второго порядка// Математическое моделирование.-2007.-Т.19,№.1.- С.89-100.
7. Волянский Р.С., Садовой А.В., Синтез оптимальной системы управления с иррациональной активационной функцией// Вестник НТУ «ХПИ» «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». / Национальный техн. ун-т «ХПИ». Харьков: Изд-во НТУ «ХПИ», 2010. - Выпуск 28.- С.49-51.

## ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОТДЕЛЬНО ВЗЯТОЙ ЗАЯВКИ В СМО

Гаевой С. В., Аль-Хадша Ф. А. Х.

*Волгоград, Волгоградский государственных технический университет*

Существующие модели СМО (систем массового обслуживания) рассматривают процесс обслуживания с позиции самой СМО. Своей задачей мы ставим рассмотреть процесс обслуживания задания в СМО с позиции самого задания. То есть необходимо получить вероятности обслуживания и отказа в динамическом режиме.

### **Probabilistic-time characteristics of serving separate request in a QS. Gaevo S. V., AL-hadsha F. A. H.**

Existing models of a QS (queuing systems) consider the service process from the perspective of the QS itself. The task we have to solve considers the process of service in the QS from the position of the request. It is necessary to obtain the probability of failure and service dynamically.

Предположим, что заявки поступают в СМО под действием простейшего (стационарного пуассоновского) потока с интенсивностью  $\lambda$ . В системе имеется  $N$  каналов обслуживания и  $M$  позиций в очереди. Интенсивность обслуживания каждого канала –  $\mu$ . Время ожидания каждого задания ограничено некоторым случайным временем. Интенсивность тайм-аута обозначим  $\nu$ . В процессе исполнения может выясниться, что задание является неисполняемым. Вероятность этого –  $P_{dead}$ . На этом надо остановиться по подробнее. Если обратится к примерам реальных СМО, то станет очевидно, что какой-то процент заявок не может быть обслужен. Отчасти это может быть связано с природой самых заявок, отчасти — с нефункционированием или профилактикой отдельных элементов СМО [1].



Моментом «нуль» для заявки будет момент поступления ее в систему. Возможные три состояния заявки: обслужено; отклонено; еще в системе. Обозначим зависимости вероятностей этих состояний от времени —  $P_{srv}(t)$ ,  $P_{drp}(t)$ ,  $P_{sys}(t)$ , соответственно. Положим  $P(t) = P(t+0)$ . Мы используем правонепрерывные функции. Очевидно, что вероятности имеют финальные значения, причем  $P_{sys}(\infty) = 0$ , а  $P_{srv}(\infty)$  и  $P_{drp}(\infty)$  — итоговые вероятности. Введем еще одну вероятность. Это вероятность того, что оставшееся в системе к некоторому моменту  $t$  сообщение будет обслужено в будущем.

$$P_m(t) = \frac{P_{srv}(\infty) - P_{srv}(t)}{P_{sys}(t) - P_{sys}(\infty)} = \frac{P_{srv}(\infty) - P_{srv}(t)}{P_{sys}(t)} \quad (1)$$

Также введем дифференциальные вероятности:

$$p_{srv}(t) = P'_{srv}(t), \quad (2) \quad p_{drp}(t) = P'_{drp}(t), \quad (3) \quad p_{sys}(t) = -P'_{sys}(t). \quad (4)$$

Для их расчета воспользуемся прямой разностью (игнорирует разрыв в нуле) [7].

$$f'(t) \approx \frac{f(t+\delta t) - f(t)}{\delta t}, \quad (5) \text{ где } \delta t - \text{период дискретизации.}$$

Рассмотрим пример системы (табл. 1). Имитационная модель разрешает использовать любые законы распределения. Для этого примера возьмем все законы распределения времен экспоненциальными.

Таблица 1 — Исследуемая система

Параметр	$\lambda$	$\mu$	$\nu$	N	M	$P_{dead}$
Значение	12 з/ч	1 з/ч	0,1 з/ч	12	8	5%

Имитационное моделирование будем проводить при доверительной вероятности 99,73% (то есть три сигмы)[5]. Если мы будем проводить одно измерение в день, то в течение года в среднем получим одну ошибку[6].

В литературе заявляется, что надо проводить 20 — 40 испытаний, чтобы закон распределения усредненной случайной величины стал нормальным и его среднеквадратичное отклонение было определено с достаточной степенью точности (Центральная предельная теорема) [6][7]. Поэтому возьмем «золотую середину», а именно 30 испытаний [2]. Максимальная абсолютная погрешность искомых вероятностей  $1.5 / \sqrt{\text{число измеренных заявок}}$ , то есть половина квантиля (трех сигм) на корень квадратный из числа замеров [6]. Ограничим ее 0,1%. Путем эксперимента можно установить требуемое время одного испытания.

Имитация дает следующие результаты (рис. 1). Полученные дифференциальные вероятности представлены похожи на плотности распределения вероятности, но площадь под ними может быть меньше единицы. Например, у  $p_{srv}(t)$  есть мода.

Создано средство для получения вероятностей статуса заявки в системе. Для простейшего примера получены вероятностно-временные характеристики. Подобные характеристики позволяют предсказать будущее заявки. Эта информация необходима клиенту, например, выбирающему между несколькими СМО.

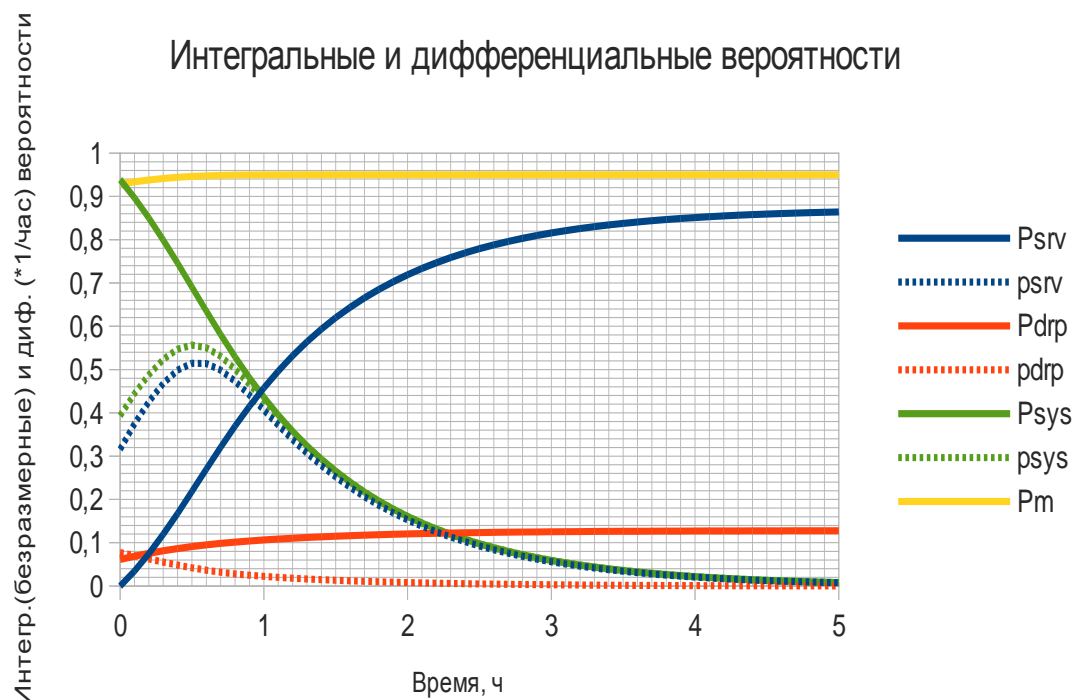


Рисунок 1 — Искомые вероятности

### Литература.

- 1 Имитационная модель гетерогенной вычислительной системы / В.С.Лукьянов, Д.Н. Жариков, С.В. Гаевой, Д.С. Попов // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 11 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 9. - С. 85-88.
- 2 Имитационное моделирование грид-систем : монография / Лукьянов В. С., Андреев А. Е., Жариков Д. Н., Островский А. А., Гаевой С. В.; ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - 215 с.
- 3 Моделирование GRID-систем / В. С. Лукьянов, Д. Н. Жариков, С. В. Гаевой, Ю. В. Шафран // Информационные технологии моделирования и управления. – 2009. – № 5. – С. 669 – 677.
- 4 Свид. о гос. Регистрации программы для ЭВМ № 2010610693 от 20 янв. 2010 г. РФ, МПК (нет). Имитационная модель грид-системы (GridModel) / В. С. Лукьянов, Д. Н. Жариков, С. В. Гаевой, Ю. В. Шафран; ВолгГТУ. – 2010.
- 5 Фоменков, С. А. Моделирование систем [Электронный ресурс] / С. А. Фоменков. – Волгоград, [2004]. – 1CD-ROM
- 6 Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон ; пер. с англ. под ред. Е. К. Масловского. – М. : Мир, 1978. – [418 с.]
- 7 Шилин, А. Н. Операторно-дискретный метод анализа электрических цепей: учеб. пособие / А. Н. Шилин; ВолгГТУ. – Волгоград, 1994. – 62 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЛУЖАЩИХ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ**

Галашова К.А.

*Россия, г. Пенза, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»*

Рассмотрены проблемы организации согласованного взаимодействия государственных служащих и предложено использование сетевого планирования для оптимизации времени предоставления услуг и повышения качества их оказания.

### **Using of network models to provide the coordinated interaction of servants in provision of state and municipal services. Galashova K.**

The problems of organizing a coherent interaction between state officials were discussed, and using of the network planning to optimize the time of service and the quality of their provision has been proposed.

Внедрение современных технологий в работе с электронными документами является актуальной задачей, как для обычных организаций, так и для органов государственной власти. Это обусловлено вхождением России в мировое информационное общество, которое регламентировано тремя основными программами: *Электронная Россия* [1], *Электронное Правительство* [2] и *Информационное общество* [3].

Важно отметить, что *Федеральная целевая программа «Электронная Россия (2002 - 2010 годы)»* заложила основу для развития оказания государственных услуг в электронном виде, системы межведомственного электронного документооборота. При этом основополагающим нормативным актом, регламентирующим оказание государственных и муниципальных услуг является *Федеральный закон «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг»* [4].

Для повышения качества оказания государственных и муниципальных услуг во многих субъектах Российской Федерации были созданы многофункциональные центры (МФЦ). Предоставление государственных и муниципальных услуг в МФЦ должно быть организовано по принципу «одного окна», в соответствии с которым потребитель получает государственную или муниципальную услугу после однократного обращения. Взаимодействие с органами, предоставляющими государственные (муниципальные услуги), осуществляется МФЦ без участия заявителя в соответствии с нормативно-правовыми актами и соглашением о взаимодействии. В случаях, предусмотренных нормативно-правовыми актами субъектов Российской Федерации, предоставление государственных и муниципальных услуг в МФЦ может осуществляться исключительно в электронной форме.

На сегодня, например, МФЦ созданы во всех районах Пензенской области. На их базе предоставляется комплекс государственных и муниципальных услуг в сферах социальной поддержки населения, земельно-имущественных отношений, гражданско-правового статуса и других. Самый первый МФЦ Пензенского района Пензенской области образовался в 2007 году. В настоящее время удовлетворенность населения качеством предоставления государственных услуг составляет свыше 90%, и практически каждый третий житель региона обращался в центр за услугой.

Как было упомянуто выше, работа МФЦ организована по принципу «одного окна», что предполагает минимальное участие заявителей в процессе сбора необходимого пакета документов для предоставления государственной услуги. В связи

с этим органы власти должны самостоятельно запрашивать и получать нужную информацию у соответствующих структурных подразделений. Именно поэтому, для достижения максимальной эффективности необходимо обеспечить согласованное взаимодействие подразделений и органов власти всех уровней. Анализ процессов оказания услуг показал, что ни в одном МФЦ, ни в одном органе государственной власти нет нормативных документов, регламентирующих согласованное взаимодействие служащих.

Очевиден тот факт, что для обеспечения более качественного и быстрого оказания государственных услуг в электронном виде, необходимо наличие единой базы данных, единого хранилища данных для организации межведомственного электронного документооборота (МЭДО) и наличие систем электронного документооборота (СЭД) в каждом органе государственной власти. Все это заложит фундамент для организации согласованного взаимодействия органов государственной власти не только при оказании государственных услуг, но и в целом. В настоящее время решение этой задачи сопряжено с рядом проблем:

1. *Различный уровень развития межведомственного электронного взаимодействия в органах государственной власти.* Если взять органы государственной власти, находящиеся в городе и в сельской местности, то увидим следующее: для первых характерен достаточно высокий уровень развития межведомственного электронного взаимодействия, а для многих сельсоветов характерно отсутствие не только системы СЭД и МЭД, но и доступа в интернет, отсутствие должного программного обеспечения.

2. *Отсутствие межведомственного электронного взаимодействия по горизонтали.* С внедрением СЭД в органы государственной власти сократилась скорость получения информации из других структурных подразделений, улучшилось качество предоставляемой информации, но это характерно лишь для подразделений, находящихся в одном органе власти. Как показывает практика, непосредственно межведомственное электронное взаимодействие пока остается на достаточно низком уровне развития. Это обусловлено рядом проблем, одной из которых является применяемое программное обеспечение. Зачастую оно разрабатывается различными фирмами, именно поэтому при создании общегосударственной СЭД вопрос совместимости систем становится более чем актуален.

3. *Низкий уровень информированности граждан о возможности получения государственных и муниципальных услуг в электронном виде, плохое знание персональных компьютеров.*

4. *Не желание и не заинтересованность государственных служащих во внедрении и развитии СЭД и МЭДО.* Грамотно организованная работа СЭД и МЭДО обеспечит прозрачность в работе государственного аппарата, а это позволит увидеть, кто и на каком этапе не выполнил необходимую работу, либо выполнил не верно.

5. *Отсутствие нормативно-правовой базы, регламентирующей порядок и правила согласованного взаимодействия органов государственной власти при предоставлении государственных и муниципальных услуг.*

Существующая нормативно-правовая база, регламентирующая порядок оказания государственных и муниципальных услуг представляет собой многостраничные, многотомные документы, выступающие в роли изменчивого фактора внешней среды, влияющего на систему электронного правительства (на всех уровнях управления). Изменения в нормативно-правовые акты вносятся регулярно, на анализ новых требований и поиск различий в текстах текущей и новой версий административных регламентов уходят десятки часов рабочего времени. Тем не менее, изменения,

вносимые в нормативно-правовые акты, должны обязательно отражаться в административных регламентах.

При разработке административного регламента орган государственной власти или местного самоуправления должен предусматривать повышение качества осуществления государственного (муниципального) контроля: упорядочение административных процедур, устранение избыточных административных процедур, сокращение срока осуществления государственного (муниципального) контроля, ответственность должностных лиц, осуществляющих государственный (муниципальный) контроль, за несоблюдение ими требований регламентов, осуществление отдельных административных процедур в электронной форме. Кроме того, для сокращения времени оказания конкретной государственной или муниципальной услуги необходимо, как уже отмечалось, обеспечить согласованное взаимодействие между структурными подразделениями администрации, их должностными лицами, взаимодействия с заявителями, иными органами государственной власти и органами местного самоуправления, учреждениями и организациями.

Анализ используемых в настоящее время административных регламентов показал, что в них прописывается состав, последовательность и сроки выполнения административных процедур, требования к порядку их выполнения, в том числе особенности выполнения административных процедур в электронной форме, также дается блок-схема последовательности административных действий при предоставлении государственной услуги. Однако ни в каких нормативных документах не регламентируется порядок и правила согласованного взаимодействию органов государственной власти, не определен состав и структура данных, передаваемых между органами власти, порядок направления запроса и предоставления документов (сведений) и ответа на запрос. Это увеличивает время оказания услуги и снижает качество оказываемых услуг, в целом.

Чтобы оптимизировать время предоставления услуги и повысить качество ее оказания, целесообразно разработать модель согласованного взаимодействия органов государственной власти при оказании государственных и муниципальных услуг. Для отражения комплекса работ и событий, связанных с оказанием государственной услуги, в их логической и технологической последовательности и связи предлагается использовать сетевую модель.

Анализ сетевой модели, представленной в графической или табличной (матричной) форме, позволит:

- более четко выявить взаимосвязи этапов оказания услуги;
- определить наиболее оптимальный порядок выполнения этих этапов в целях сокращения сроков выполнения всего комплекса работ по оказанию услуги.

Работа в сетевой модели характеризует реальное действие, требующее использования ресурсов, или логическое, требующее лишь взаимосвязи событий. Например, при предоставлении государственной услуги могут быть выполнены следующие работы: регистрация запроса, рассмотрение запроса, анализ тематики запроса, подготовка и опривка письменных уведомлений. Каждая работа имеет определенную продолжительность  $t(i, j)$ .

Событиями будут считаться результаты выполнения одной или нескольких работ. Важно отметить, что они не имеют протяженности во времени. При предоставлении государственной услуги могут быть зафиксированы следующие события: запрос зарегистрирован, запрос рассмотрен, тематика запроса проанализирована, письменные уведомления подготовлены и опривлены.

В сетевой модели имеется начальное событие с номером  $I$  «получен запрос на услугу» и конечное событие с номером  $N$ , в которое работы только входят «оказание услуги завершено».

Цепочка следующих друг за другом работ, соединяющих начальную и конечную вершины, образуют путь. Продолжительность пути определяется суммой продолжительностей составляющих его работ. Путь, имеющий максимальную длину, называется критическим и обозначается  $L_{кр}$ , а его продолжительность —  $t_{кр}$ . Работы, принадлежащие критическому пути, называются критическими. Их несвоевременное выполнение ведет к срыву сроков всего комплекса работ по оказанию конкретной услуги.

Сетевая модель имеет ряд характеристик, которые позволяют определить степень напряженности выполнения отдельных работ по оказанию государственной услуги, а также всего их комплекса и принять решение о перераспределении ресурсов с целью минимизации времени предоставления услуги и улучшения качества ее оказания.

Предлагаемая модель позволяет рассчитать:

- ранний срок свершения каждого события:

$$t_p(j) = \max\{t_p(j) + (i,j)\}; j=2, \dots, N;$$

- поздний срок свершения каждого события:

$$t_n(i) = \min\{t_n(i) - t(i,j)\}; j=2, \dots, N-1;$$

- резерв всех событий, за исключением событий, принадлежащих критическому пути:

$$R(i) = t_n(i) - t_p(i).$$

Для всех работ  $(i,j)$  на основе ранних и поздних сроков свершения всех событий можно определить показатели:

- ранний срок начала -  $t_{pn}(i,j) = p(i)$  ;
- ранний срок окончания -  $t_{po}(i,j) = t_p(i) + t(i,j)$ ;
- поздний срок окончания -  $t_{no}(U) = t_n(j)$
- поздний срок начала -  $t_{nn}(i,j) = t_n(j) - t(i,j)$ ;
- полный резерв времени -  $R_n(i,j) = t_n(j) - t_p(i) - t(i,j)$ ;
- независимый резерв времени:

$$R_n(i,j) = \max\{0; t_p(j) - t_n(i) - t(i,j)\} = \max\{0; R_n(i,j) - R(i) - R(j)\}.$$

Для оптимизации сетевой модели, выражающейся в перераспределении ресурсов с ненапряженных работ на критические для ускорения их выполнения, можно более точно оценить степень трудности своевременного выполнения всех работ, а также «цепочек» пути. Более точным инструментом решения этой задачи по сравнению с полным резервом является коэффициент напряженности, который может быть вычислен по формуле:

$$K_H(i,j) = (t(L_{max}) - t_{кр}) / t_{кр} - t_{кр} = 1 - R_n - R_n(i,j) / t_{кр} - t_{кр}$$

где  $t(L_{max})$  — продолжительность максимального пути, проходящего через работу  $(i,j)$ ;

$t_{кр}$  — продолжительность отрезка рассматриваемого пути, совпадающего с критическим путем.

Коэффициент напряженности изменяется от нуля до единицы, причем, чем он ближе к единице, тем сложнее выполнить данную работу по оказанию услуги в установленный срок. Самыми напряженными являются работы критического пути, для которых он равен  $1$ . На основе этого коэффициента все работы сетевой модели по конкретной услуге могут быть разделены на три группы:

1. напряженные ( $K_H(i,j) > 0,8$ );

2. под критические ( $0,6 < K_H(i,j) < 0,8$ );
3. резервные ( $K_H(i,j) < 0,6$ ).

При расчете всех показателей и характеристик предлагается пользоваться графическим представлением сетевой модели. Все расчеты хорошо алгоритмируются и не требуют применения сложного программного обеспечения.

Анализ сетевой модели оказания конкретной государственной услуги по приведенным выше характеристикам позволяет в результате перераспределения ресурсов максимально уменьшить общую продолжительность работ, что возможно при переводе всех работ в первую группу. При этом обычно оптимизация сетевой модели возможна за счет резервных работ.

При построении сетевой модели оказания услуги составляется перечень работ и событий. Каждая работа имеет определенную продолжительность, либо закрепленную в соответствующем нормативном акте, либо не закрепленную. В любом случае, продолжительность времени оказания работы влияет на время оказания услуги в целом.

На сетевой модели можно выделить несколько путей, следующих друг за другом, соединить начальные и конечные вершины и отследить различный ход действий при выполнении услуги. При этом критический путь будет отражать самую сложную ситуацию, возникновение которой возможно при оказании государственной услуги (в ней будет задействовано максимальное количество государственных служащих).

На рисунке 1 показана модель оказания государственных услуг по выдаче архивной справки. Критический путь, объединяющий 9 событий, будет использоваться в том случае, когда для реализации услуги нужно обратиться за помощью в максимальное количество структурных подразделений (или других органов власти).

Необходимо отметить, что применение сетевого планирования будет неэффективным, если в нормативных документах, в частности, в административных регламентах оказания услуги, не будут закреплены результаты анализа и оптимизации сетевой модели. Перераспределение работ также должно быть отражено в должностных регламентах госслужащих. Следовательно, для того, чтобы обеспечить согласованное взаимодействие государственных (или муниципальных) служащих на должном уровне, необходим комплексный подход к решению существующих проблем.

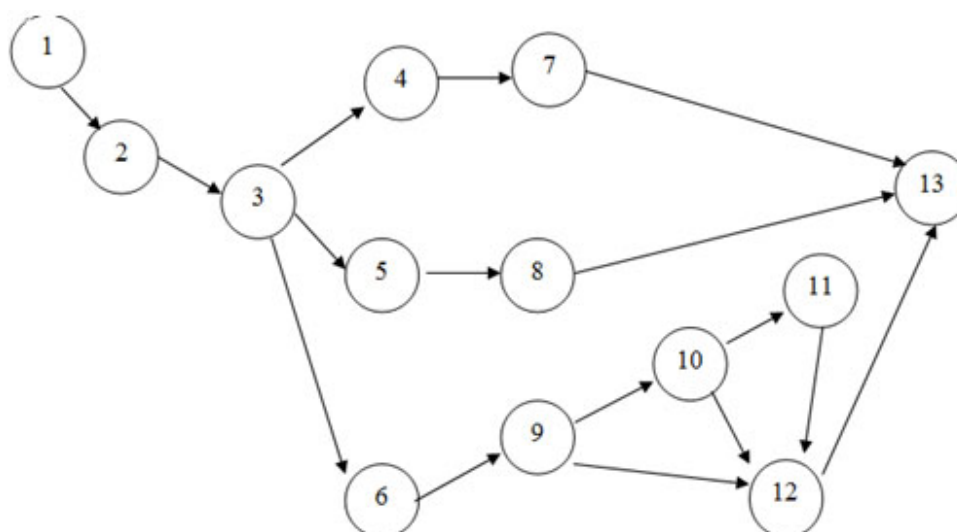


Рисунок 1. Сетевой график предоставления государственной услуги по выдаче архивной справки

### Литература.

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 января 2002 г. № 65 «О федеральной целевой программе «Электронная Россия (2002 - 2010 годы)» с изменениями от 09 июня 2010 г. №403.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 06 мая 2008 г. № 632-р «О Концепции формирования в Российской Федерации электронного правительства до 2010 года».
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 октября 2010 г. № 1815-р «О государственной программе Российской Федерации «Информационное общество (2011 - 2020 годы)» с изменениями от 30 декабря 2011 г.
4. Федеральный закон от 27 июля 2010 г. № 210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг» с изменениями от 03 декабря 2011 г. №383-ФЗ.

## СПОСОБ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СБОРКИ БЛОКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Грачев Н.Н.

*Москва МИЭМ НИУ ВШЭ*

В работе рассмотрен оригинальный бесконтактный метод диагностирования узлов и блоков РЭС. Диагностирование осуществляется с помощью измерения уровня модулированного электромагнитного излучения, по которому диагностируется качество сборки РЭС.

### **Quality fashion block assembly of electronic equipment. Grachev N.N.**

In this paper the original non-invasive method of diagnosing units and blocks of RECs. Diagnosis is done by measuring the level of modulated electromagnetic radiation, which is diagnosed by the build quality of electronic units

Среди всех классов непреднамеренных электромагнитных помех (НЭМП) наиболее неизученным классом являются контактные помехи [1]. Контактные помехи относятся к классу помех, создаваемых в результате воздействия электромагнитного поля радиопередатчика в ближней зоне на токопроводящие механические контакты, с нелинейным и переменным во времени электрическим сопротивлением, которые являются переизлучателями электромагнитного поля. Контакты с переменным сопротивлением образуются в узлах конструкций, сопротивление между которыми в движении изменяются в общем случае по случайному закону распределения. Наличие таких контактов характерно для движущегося объекта (корабль, автомашина, танк, самолет, железнодорожный состав и т.п.), на котором действуют передающие и приемные радиоэлектронные средства (РЭС). Во время работы передатчика контактные помехи воздействуют на рецептор, установленный на том же подвижном объекте, причем, как правило, такое влияние тем больше, чем больше скорость объекта, что указывает на непосредственную зависимость этих помех от вибраций и механических ударов, влияющих на изменение плотности контактов.

Помехи этого класса представляют собой совокупность импульсных и шумовых процессов. Диапазоны частот контактных помех связаны с частотой передатчика, облучающего механические контакты: особенно проявляются на частотах ниже 30



МГц, хотя могут быть ощутимы и в диапазонах до 300 МГц. Как правило, это достаточно интенсивные и широкополосные помехи со значительными выбросами на шумовом фоне и их уровень зависит от плотности механического контакта, его электропроводности и мощности передатчика, облучающего контакт.

На рисунке 1 представлен спектр контактных помех облучаемого переменного по времени контакта.

В практике встречаются случаи, когда механические токопроводящие контакты облучаются одновременно двумя или несколькими радиопередатчиками. Спектры контактных помех при этом группируются вокруг значений интермодуляционных частот, с различным порядком интермодуляции: 2-й –  $f_1 \pm f_2$ ; 3-й –  $2f_1 - f_2$ ,  $2f_2 - f_1$  и т.д. Такие помехи целесообразно называть интермодуляционными контактными помехами, поскольку их спектры отличаются от спектров помех, созданных теми же контактами при облучении одним передатчиком.

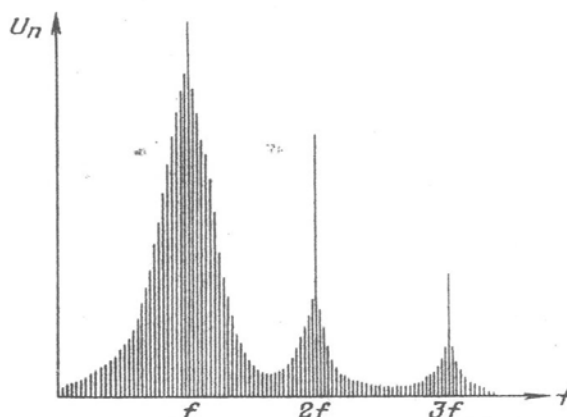


Рис. 1. Спектр контактных помех слева и справа от несущей частоты передатчика  $f$  и гармоник  $2f$  и  $3f$

На рисунке 2 показано влияние скорости движения подвижного объекта на ширину полосы частот, пораженных контактными помехами.

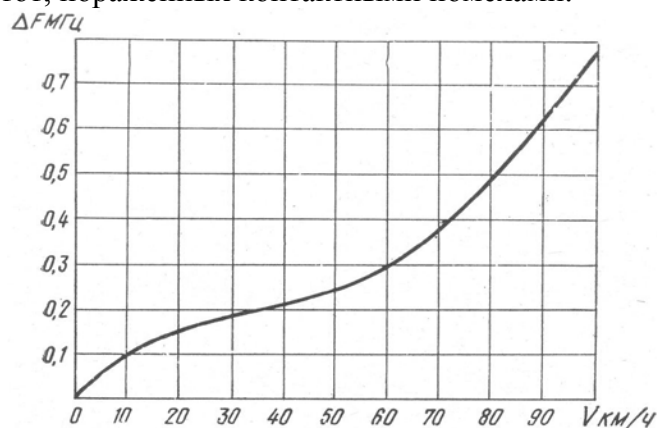


Рис. 2. Влияние скорости движения подвижного объекта на ширину полосы частот, пораженных контактными помехами

В современном проектировании и производстве РЭА для оценки качества создаваемых механических конструкций, включающих проведение испытаний на уровень прочностных параметров конструкций, используются, как правило, различные виды механических воздействий. При этом, по снятым с РЭА сигналам с помощью датчиков механических величин, которые содержат диагностическую информацию,

делается заключение о техническом состоянии конструкции, наличии в них дефектов. Указанный анализ сопряжен с обработкой значительных объемов данных о характеристиках измеряемых вибросигналов и не дает однозначной информации о наличии и месте дефектов в конструкциях. Поэтому создание простых и достоверных экспресс-методов диагностики РЭА является актуальным.

Предлагаемый в работе бесконтактный экспресс-метод оценки качества сборки и монтажа конструкций основан на регистрации и анализе искусственно возбуждаемых контактных помех при воздействии механических колебаний и гармонического электрического сигнала высокой частоты на элементы конструкций РЭА, образующих контур амплитудно-модулированных колебаний, которые регистрируются анализатором спектра или приемником АМ-колебаний. При этом производится измерение уровней его спектральных составляющих при изменении частоты механических воздействий в диапазоне, определяемом условиями эксплуатации. Измеренный уровень спектральных составляющих излучаемых амплитудно-модулированных колебаний сравнивается с уровнем спектральных составляющих сигнала, излучаемого конструкцией эталонного блока с заданными механическими параметрами и имеющего нормируемый уровень контактных помех.

Рассматриваемое в области электромагнитной совместимости (ЭМС) как нежелательное явление, образование контактных помех может быть использовано для оценки механических свойств конструкций самых различных технических средств и устройств, включая качество сборки и монтажа.

Предложенный метод может быть использован для определения частот механических резонансов в конструкциях электронной аппаратуры. Максимальные значения измеренных уровней спектральных составляющих при изменении частот механических воздействий, позволяют устанавливать значения резонансных частот в конструкциях.

В современном производстве конструкций радиоэлектронных средств (РЭС) для оценки качества производимых конструкций изделий используются различные способы оценки качества сборки конструкций, использующие различные виды механических воздействий на конструкции, с помощью которых оценивают качество сборочно-монтажных работ. Механические испытания РЭС позволяют выявить наличие дефектов в конструкции, провести оценку влияния конструктивных факторов на параметры качества РЭС, проверить соответствие параметров аппаратуры требованиям ТУ.

Известные способы оценки качества сборки конструкций блоков РЭС, заключающиеся в проведении механических испытаний на выборочность, ветроустойчивость, ударную прочность, не позволяют выявить дефекты в конструкциях РЭС и адекватно оценить качество сборочно-монтажных работ. Определение резонансных частот амплитуд колебаний, а также максимальных механических напряжений в элементах конструкций не позволяют оценивать качество сборки изделия, особенно в узлах крепления, где присутствуют нормируемые величины затяжек крепежных элементов, деформации, при сочленении отдельных деталей. Существующие датчики для измерения амплитуд и ускорений не позволяют оценивать перемещения сочленяемых деталей в конструкциях.

Предлагаемый оригинальный способ бесконтактной оценки качества сборки элементов и узлов РЭС направлен на повышение качества контроля механического соединения элементов и узлов в конструкциях РЭС.

Сущность способа заключается в том, что в предлагаемом способе контроля качества сборки блоков радиоэлектронных средств, включающем воздействие механических колебаний на механически соединяемые элементы конструкции, подаются сигнал высокой частоты, осуществляют воздействие механических колебаний на

конструкцию блоков с частотой  $\Omega$ , образуют излучающий контур амплитудно-модулированных колебаний, принимают излучаемый сигнал и измеряют уровень его спектральных составляющих, измерение уровня спектральных составляющих производят при плавном изменении частоты  $\Omega$  от 0 до  $\Omega_B$ , где  $\Omega_B$  - максимальная частота воздействующих механических колебаний, а измеренный уровень спектральных составляющих излучаемых амплитудно-модулированных колебаний сравнивают с уровнем спектральных составляющих сигнала, излучаемого конструкцией блока с заданными номинальными механическими параметрами.

Вновь введенные признаки обусловили повышение качества контроля сборочно-монтажных работ путем анализа амплитуд относительных перемещений механически соединяемых деталей, характеризующих качество соединений, позволили обеспечить бесконтактный метод контроля качества сборки блоков радиоэлектронных средств.

Способ контроля качества сборки блоков РЭС поясняется Рис.1

Контролируемый блок 1, содержащий механические соединения элементов 2 конструкции (Рис 1), устанавливают на платформу 3 электромеханического возбуждения 4 механических колебаний, к которому подключают перестраиваемый задающий генератор 5 с частотой генерации  $\Omega$ . К блоку 1 или к одному из его узлов подключают высокочастотный генератор 6 с фиксированной частотой генерации  $\omega_0$ , соединенный с "земляной" шиной 7. Платформу 3 соединяют также с "земляной" шиной 7. В непосредственной близости от соединения 2 размещают приемную антенну 8 анализатора спектра 9.

На Рис. 3 представлена эквивалентная схема соединения, где  $R(t)$  - величина контактного электрического сопротивления соединяемых элементов 2 конструкции.

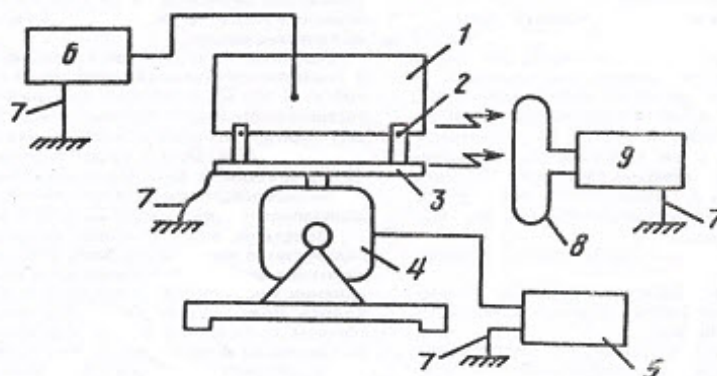


Рис.3. Способ контроля качества сборки РЭС

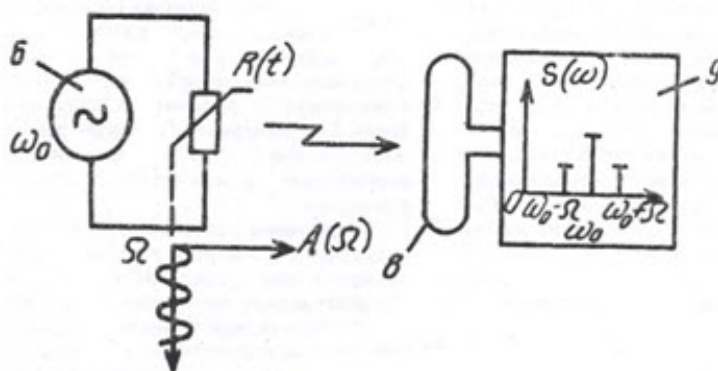


Рис.4 Эквивалентная схема соединения

Способ контроля качества сборки блоков радиоэлектронных средств осуществляют следующим образом.

Подключенный высокочастотный генератор 6 к элементам конструкции блока 1 образует электрический контур (Рис. 5а) из элементов конструкции, содержащий контактное электрическое сопротивление  $R(t)$ , который излучает в окружающее пространство радиосигнал с частотой  $\omega$  (несущая частота радиосигнала). На рис. 5б представлена его спектральная плотность  $S(\omega)$ . Если  $e = E_M \cos \omega t$  - напряжение генератора, то уровень излучаемого сигнала пропорционален  $E_M \cos \omega t / R_0$ , где  $R_0$  - контактное электрическое сопротивление соединяемых элементов 2 при отсутствии внешних механических воздействий.

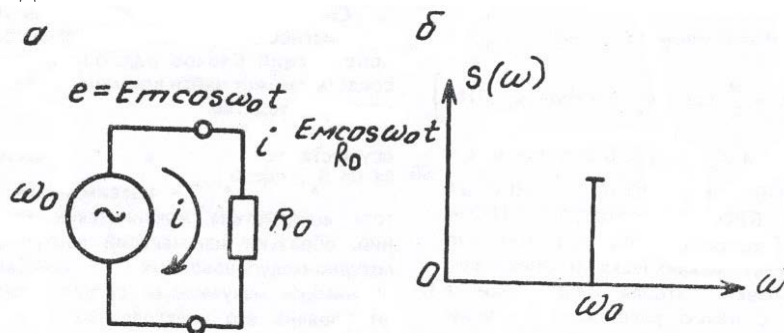


Рис. 5. Электрический контур и его спектральная плотность излучения

На контролируемый блок 1 воздействуют механическими колебаниями с помощью возбудителя 4 механических колебаний частотой  $\Omega$ , которые плавно изменяют с помощью перестраивающего задающего генератора 5 в диапазоне от 0 до  $\Omega_B$ , где  $\Omega_B$  - максимальная частота воздействующих механических колебаний, обусловленная частотой воздействующих колебаний, оговоренных в ТУ на изделие. В процессе воздействия механических колебаний элементы 2 механического соединения конструкции совершают перемещения относительно друг друга, изменяя контактное переходное сопротивление между элементом соединения в соответствии с изменением частоты  $\Omega$  (Рис. 5а). Пусть величина изменения контактного сопротивления  $R_M = R_0 / (1 + M \cos \Omega t)$ , тогда уровень излучаемого сигнала.

$$P^1 \sim E_M/R \{ \cos \omega_0 t + M/2 [\cos(\omega_0 - \Omega)t + \cos(\omega_0 + \Omega)t] \}$$

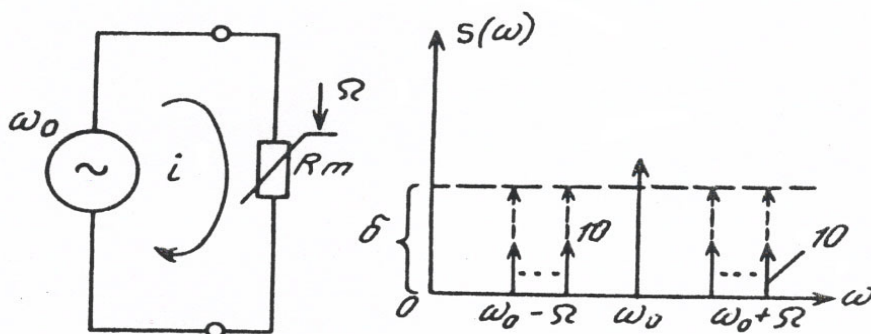


Рис.6. Спектральные составляющие на выходе приемника амплитудно-модулированных колебаний

Излучаемый сигнал, представляющий собой амплитудно-модулированное колебание, принимаются анализатором спектра 9 и производят измерение уровней его спектральных составляющих.

При плавном медленном изменении частоты механических возбуждающих колебаний от 0 до  $\Omega_B$  амплитуды спектральных составляющих 10 (Рис. 5б) будут изменяться ощутимо при совпадении собственных резонансных частот  $\Omega_{\text{соб}}$  с воздействующими  $\Omega$  в диапазоне  $\delta$  (Рис. 4б), одновременно меняя свое положение на частотной оси  $\omega$  в диапазонах от  $\omega_0$  до  $\omega_0 - \Omega_B$  и  $\omega_0 + \Omega_B$ . Действию перечисленных операций подвергается конструкция блока РЭС, при изготовлении которого механические соединения элементов 2 конструкции выполнялись под тщательным контролем в 20 соответствии с требованиями ТУ. Измеренный диапазон  $\delta$  изменения амплитуд спектральных составляющих 10 выбирают критерием качества сборки блока данной конструкции.

Далее производят измерение уровней спектральных составляющих сигналов, излучаемых каждым блоком из данной серии, и производят сравнение получаемых диапазонов изменений уровней спектральных составляющих с уровнем  $\delta$  эталонного блока. Если измеренный диапазон превышает значение  $\delta$ , качество сборки блока не соответствует требованиям ТУ и блок отбраковывается.

Предлагаемый способ может быть использован для контроля качества сборки различных конструкций РЭС и определения резонансных частот конструкций путем измерения максимальных значений спектральных составляющих на соответствующих искомым резонансных частот в диапазоне от 0 до  $\Omega$  в.

Способ является бесконтактным методом диагностики и оценки качества сборки конструкций блоков радиоэлектронных средств и может найти применение в серийном производстве.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований контактных помех от типовых элементов механических соединений, включая жесткие болтовые соединения и соединения, выполненные в виде зажимов. Исследуемые образцы подключались к высокочастотному генератору синусоидальных сигналов с диапазоном частот до 100 МГц и размещались на вибростенда Ст 3000. В качестве измерителей спектральных составляющих использовались профессиональные приемники амплитудно-модулированных сигналов, а также бытовые радиоприемники первого и высшего классов с диапазоном принимаемых сигналов до 30 МГц.

Экспериментальная часть исследований предусматривала анализ и выбор зоны регистрации сигналов в зависимости от частоты высокочастотных высокочастотных сигналов, формы и конструкции исследуемых образцов контактных соединений и расстояния до измерительных приемников.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что для типовых металлических конструкций в форме параллелепипеда, излучение электромагнитного поля происходит от петлевого замкнутого контура, в котором преобладает магнитная составляющая. Существенным критерием, определяющим точность регистрации спектральных составляющих, является значение частоты высокочастотного электромагнитного поля. На частотах до 10 МГц электромагнитные излучения исследуемых конструкций определяются условиями ближней зоны, простирающейся на этих частотах до 10...25 м, при котором электрическое и магнитное поле необходимо рассматривать отдельно, поскольку отношение их напряженностей не является постоянным.

Аналитические исследования представлены результатами анализа значений контактного сопротивления в зависимости от условий сочленения, чистоты обработки и вида материалов контактируемых элементов конструкций, а также частоты

воздействующих высокочастотных колебаний. В работе рассмотрены вопросы построения эквивалентных электрических схем типовых конструкций соединений в электронной аппаратуре с учетом емкостных и индуктивных составляющих контактного сопротивления.

В работе представлены результаты исследований качества сборки элементов конструкций РЭА на основе детального анализа процессов и механизмов образования контактных помех, изложена методика оценки уровня контактных помех, показана возможность определения резонансных частот конструкции путем регистрации максимальных значений спектральных составляющих. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при проектировании РЭА и сертификации продукции по параметрам ЭМС.

Разработанный бесконтактный метод контроля качества механических свойств конструкций особенно эффективен в серийном производстве аппаратуры самого различного назначения и применения.

Предложенный способ контроля качества сборки блоков РЭА имеет патент Российской Федерации.

### Литература

1. Клементенко А.Я., Панов Б.А., Свешников В.Ф. Контактные помехи радиоприему. – М.: Воениздат, 1979. – 116 с.
2. Петров Б.В., Грачев Н.Н. Способ контроля качества сборки блоков радиоэлектронных средств. Патент РФ № 2054839.

## ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Грачев Н.Н.,  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассматриваются особенности использования дистанционных технологий в дополнительном образовании. Сформулированы проблемы возникающие в деле с организацией подходящего управленческого и организационного контекста обучения.

### **The use of remote learning technologies in additional education. Grachev N.N.**

The features of the use of of distance technology in further education. Presents the problem arising in the organization of appropriate management and organizational context of learning.

Обсуждая вопрос о дополнительном образовании и повышении квалификации, необходимо представлять различия в задачах дистанционного образования в широком смысле, когда подразумевается предоставление образовательных услуг для изучения какой-то области знаний и целенаправленное взаимодействие с обучаемым для закрепления у последнего определенных (конкретных) знаний, приобретение им, также четко определенных, навыков и умений. Обучение как процесс может подразумевать обучение предмету, как области знаний в целом, и обучение конкретным разделам из этого предмета, с целью узкой специализации для использования приобретенных навыков в заранее определенной сфере профессиональной деятельности. По всей видимости, система дополнительного образования должна реализовывать последний подход.

Это означает, что мотивация способствует, а методика и технология сопровождения учебного процесса должны реализовывать достижение определенной цели, нежели в процессе просто образования. Вопрос стоит не о получении образования (среднего, высшего, дополнительного) вообще, а о повышении квалификации и/или приобретении знаний в новой предметной области для решения конкретных задач, возникших из потребностей конкретного вида профессиональной деятельности, причем с учетом фактора времени, сокращающего время, отведенное на учебный процесс, в десятки раз.

Создание и развитие такой системы обучения предполагает существенное изменение подхода к: способам организации и сопровождения учебного процесса; свойствам и возможностям средств обучения; применению методик обучения, реализующих новые потребительские свойства предоставления образовательных услуг; использованию оригинальных механизмов оценки результатов и эффективности процесса обучения и повышения квалификации.

Отсюда возникает необходимость создания новой образовательной среды, основанной на оригинальных принципах организации учебного процесса, интенсивных методиках обучения и поддерживаемую современными информационными технологиями. Это в первую очередь относится к системам управления знаниями, которые появились в настоящее время в достаточном количестве.

Другой важной проблемой в дистанционном образовании при повышении квалификации, является возраст и сложившиеся стереотипы, а также принятие в расчет ряд специфических особенностей.

Во-первых, у каждого взрослого есть своя система ценностей, свое представление о моделях обучения и свои ожидания, касающиеся самого процесса обучения. Во-вторых, все они приходят из конкретной социальной среды. В-третьих, взрослые люди обычно начинают обучение осознанно, имея на то основания и относительно четко представляя себе цели, которых собираются достичь, т.е. у них на момент обучения есть определенная мотивация. Однако эта мотивация может быть недостаточной для прохождения всего курса обучения. Следовательно, необходимо подкрепление мотивации к обучению, конкретными мероприятиями. Из этого следует, что поддержка и стимулирование обучаемого являются одной из главных задач в дистанционном образовании. Решение этой задачи в системе повышения квалификации обеспечивается непосредственным воздействием преподавателя на обучаемого при индивидуальных контактах. В системе открытых университетов на западе эта задача возложена на тьютора. В отечественной системе образования тьюторство не получило адекватного признания в силу ряда причин. Поэтому открыто стоит на повестке дня вопрос подготовки преподавателей к работе в системе дистанционного образования, к активному применению в учебном процессе современных информационных технологий с использованием ресурсов глобальных телекоммуникационных сетей.

В системе дистанционного образования, особенно, когда обучающиеся - практические работники, важно на начальном этапе технологического цикла определить объемные и содержательные параметры материала, подлежащего усвоению, соотношение в нем теоретико-методологических, методических, практических компонентов.

Исследования показывают, что наиболее сложным для дистанционного образования является технологический цикл, в рамках которого происходит осмысление изучаемого материала, его логическая систематизация, выражение тех или иных явлений, процессов в научных категориях и понятиях. Формирование мышления, логической культуры для слушателей практических работников подчас бывает

затруднено по причине «повседневности», чрезмерного возвеличивания потенциала «здорового смысла».

В этих условиях важно постоянно поддерживать высокий теоретико-методологический уровень лекционного курса, творчески подходить к формированию учебных планов и программ, учебно-методической документации, связанной с самостоятельной работой слушателей.

Для решения изложенных здесь проблем необходимо проведение исследований в области психологии обучения с целью подбора наиболее эффективных методов, выявления типов людей по обучаемости, определения оптимального объема знаний, предлагаемых для усвоения.

Определенные проблемы возникают и в деле с организацией подходящего управленческого и организационного контекста обучения. Часто именно этот элемент учебной среды вызывает наиболее сложные проблемы. Естественным путем создания новой системы организации учебного процесса и управления им является изучение уже существующего в других учреждениях опыта создания такой системы. Однако часто оказывается, что хотя такое изучение опыта является очень полезным, оно не приводит к выявлению модели организации и управления учебным процессом, которая полностью могла бы использоваться в специфических условиях данного учреждения. Это ведет к необходимости разработки собственной модели организации и управления открытым, гибким обучением, ее апробированию и совершенствованию, постоянному развитию с учетом нового опыта использования.

То есть разработка управленческого и организационного контекста учебного процесса, построенного на принципах открытости, гибкости, дистанционности, использования новых технологий, требует создания исследовательского окружения обучающей среды.

Говорят, что дистанционное обучение через Интернет - самый демократичный вид обучения, поскольку позволяет получать образование любому человеку в любое время и в любом месте. Но так ли это на самом деле? Странно говорить о демократизме, когда в дело вовлекается столько техники расположенной в различных регионах земного шара.

Для того чтобы можно было всерьез говорить о глобальном образовании, необходимо вначале обеспечить всеобщий и полный доступ к Интернету. До тех пор пока этого нет, дистанционное обучение будет базироваться в технологически развитых центрах традиционного образования (прежде всего в университетах и библиотеках).

Образовательные учреждения и их ресурсы должны быть объединены в единую интерактивную сеть. Анархический принцип устройства Интернета должен сочетаться с принципом централизации, для осуществления которого нужна согласованность действий между различными организациями. Отсюда следует, что необходимы правительственные и межведомственные программы.

Плюрализм мнений и концепций, свойственный сетевой ризоме, ставит под вопрос системный характер научного знания и методов обучения. Наука и образование теряют свой тоталитарный характер, четко очерченные границы правильного и неправильного размываются. Каковы следствия этого процесса? Образование - это не просто получение информации, какой угодно и кем угодно. Это всегда система, дисциплина, последовательность, особый жизненный контекст и распорядок. Монастырь, университет, школа обеспечивали эту последовательность и контекст. Сможет ли это сделать компьютер?

Следует отметить, что никакие электронные ресурсы, так же как книги и прочие учебные пособия, никогда не заменят живого присутствия учителя. Дистанционное



образование не вытеснит образование традиционное, но войдет в его структуру как дополнительный элемент. Поэтому важно обсуждать не только новые возможности образования, которые дает технология, но и способы их интеграции в сферу традиционного образования.

Развитие инновационного образования позволяет выделить те основания, на которых строится решение проблемы выбора технологий в процессе управления инновациями в технологической основе образовательного процесса. В качестве основных принципов эффективного выбора и использования технологий в инновационном учебном процессе можно выделить следующие положения:

В учебном процессе важна не информационная технология сама по себе, а то, насколько ее использование служит достижению собственно образовательных целей.

Более дорогостоящие и наиболее современные технологии не обязательно обеспечивают наилучший образовательный результат. Наоборот, часто наиболее эффективными оказываются достаточно привычные и недорогие технологии.

Результат обучения существенно зависит не от типа коммуникационных и информационных технологий, а от качества разработки и предоставления курсов.

При выборе технологий необходимо учитывать наибольшее соответствие некоторых технологий характерным чертам обучаемых, специфическим особенностям конкретных предметных областей, преобладающим типам учебных заданий и упражнений.

Наиболее эффективным при выборе технологий является мультимедиа подход, при котором необходимо стремиться к взаимодополнению различных технологий, синергетическому эффекту их взаимодействия.

Развитие принципиально нового направления в образовании не может не сталкиваться с серьезными проблемами. Основными из них являются следующие:

проблема эквивалентности курсов и признания уровней дистанционного образования классическими университетами; проблема взаимного признания дипломов, сертификатов, программ обучения (особенно остро эта проблема стоит при экспорте (импорте) образования); существование подобной проблемы разницы аналогичных курсов в различных российских учебных заведениях или на схожих специальностях даже одного университета, может стать существенной проблемой при реализации трехуровневой модели подготовки в системе дистанционного образования; языковая проблема при экспорте (импорте) образования; выработка приоритетов в ситуациях, когда национальные интересы и культурные традиции могут существенно различаться; проблема стратегического планирования, например, решение вопроса о том, кому, какие и где предоставить курсы; проблема коммуникаций и стандартов; разница во времени на больших территориях; вопрос качества курсов и программного обеспечения, образовательных стандартов.

Проблема общая, и ее актуальность также очевидна в задачах дополнительного профессионального образования.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Грачев Н.Н.  
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ*

В работе рассмотрены методические основы использования моделей обучения с использованием информационных образовательных технологий. Приведен анализ принципов построения обучающих систем ориентированных на дистанционные технологии обучения

**Methodological bases of the educational process with the use of information technology. Grachev N.N.**

The paper discusses methodological foundations of learning models with educational IT. The analysis of the principles of learning systems technology-based distance learning

**Модели обучения с использованием автоматизированных обучающих систем.** Как правило, модели обучения не зависят от способа реализации учебного процесса: будь то очное обучение или обучение с использованием автоматизированных обучающих систем (далее “обучающих систем”).

Ключевое отличие использования обучающей системы состоит в максимальной адаптивности модели обучения под требования обучаемого.

**Модель обучения** – схема или план действий педагога при осуществлении учебного процесса. В основе модели обучения лежит организация преобладающей деятельности учащихся.

**Адаптивность** – это свойство системы приспосабливаться к действиям пользователя, т.е. система изменяет свои параметры и структуру в зависимости от работы пользователя.

**Адаптируемость системы** – это возможность пользователя изменять структуру и параметры системы.

Синтез постулатов, характерных для различных теорий, позволяет сформировать следующие **принципы обучения**:

- знания удобнее представлять в виде блоков (бихейворизм);
- блоки знаний должны быть взаимосвязаны друг с другом (ассоциативно-рефлекторная теория);
- новые знания должны мотивировать обучаемого (теория поэтапного формирования умственных действий);
- необходимо повторение пройденного материала (бихейворизм, теория поэтапного формирования умственных действий);
- при оценке ответов на поставленные вопросы необходимо учитывать уровень ученика (бихейворизм, теория поэтапного формирования умственных действий);
- необходимо предоставить ученику возможность обобщения знаний в систему и ее трансформацию (трансформационная теория обучения);
- для успешного поиска ответов на поставленные задачи необходимо изучение алгоритмов решения задач (концепция алгоритмизации).

Данные принципы являются основой построения учебного материала любой обучающей системы, будь она очной или дистанционной.

По схеме реализации учебного процесса в обучающих системах различают две принципиально разных **модели обучения**: **линейная** и **адаптивная**.

**Линейная модель** характеризуется строгой последовательностью прохождения учебного материала (блоков, модулей), которая заранее предопределена разработчиком системы (администратором, преподавателем, разработчиком учебных материалов и т.п.). Несмотря на то, что данные последовательности, как правило различаются на уровне категорий (школьники, студенты), групп (по специальностям) и даже отдельных студентов (по уровню подготовки), тем не менее процесс обучения заключается в

переходе от одного учебного блока (модуля) к другому по заранее заданной траектории.

В качестве достоинств данной модели можно отметить высокий уровень стандартизации (подготовка универсальных программ) и простота построения. Основным недостатком линейной модели является отсутствие возможности учета индивидуальных особенностей обучаемого, как психофизических, так и умственных.

Противоположностью линейной модели является **адаптивная модель обучения**. Существует множество различных подходов к построению адаптивных моделей, связанных, как с программной реализацией, так и с особенностями дискретизации учебного материала.

**Суть адаптивной модели обучения** заключается в следующем: последовательность прохождения учебного материала динамически генерируется в зависимости от пожеланий обучаемого (к видам представления информации, глубине изложения материала и т.п.) и результатов анализа деятельности обучаемого (входное или промежуточное тестирование, оценка психофизического состояния).

В современных обучающих системах виды представления информации должны учитывать особенности репрезентативной системы обучаемого. Кто-то из обучаемых является визуалом (лучше воспринимает информацию в виде изображений), другие – аудиалы, которые воспринимают информацию на слух, третьи – кинестетики, – люди, воспринимающие большую часть информации через другие ощущения (обоняние, осязание и др.) и с помощью движений.

Другим вариантом может быть динамическое формирование траектории обучения на основе одного большого входного теста, который объединяет в себе все вопросы по дисциплине. По результатам данного теста формируется перечень учебных модулей, которые должен пройти обучаемый.

**Модели смешанного обучения. "Blended learning"** Этот термин используется для обозначения обучающей программы, включающей несколько методов подачи материала. Термин «смешанное обучение» используется для описания решений, в которых комбинируются различные способы доставки учебного контента, такие как ПО совместной работы, курсы построенные на Веб-технологиях, EPSS и методики управления знаниями. Этот же термин используется для описания обучения, сочетающего различные виды учебных мероприятий, включая очное обучение в классе, онлайн электронное обучение и самообучение на рабочем месте.

Смешанное обучение разделяется на следующие три модели:

- обучение, нацеленное на навыки, сочетающее самообучение с обучением при поддержке инструктора или посредника, для выработки определенных знаний и навыков;
- обучение, нацеленное на работника, в котором сочетание различных учебных мероприятий и методов доставки контента используются для подготовки специалиста на конкретной должности;
- обучение, нацеленное на компетенции, в котором смешиваются преимущества средств поддержки обучения с ресурсами и методами управления знаниями, для развития компетенций рабочего места.

**Модель, нацеленная на знания.** Смешанное обучение, нацеленное на знание, смешивает взаимодействие с консультантом через электронную почту, дискуссии в форумах, непосредственные встречи, с самообучением, таким как Веб-курсы или книги. Этот подход можно сравнить с химической реакцией, в которой консультант или инструктор выступает как катализатор для получения продукта реакции – успешного обучения.

Ясно, что сочетание самообучения с поддержкой консультанта позволяет ученику не оказаться в изоляции, что позволит ему успешно завершить учебные модули.

В самом деле, данный подход работает хорошо, когда люди изучают контент на уровне знания или применения.

**Модель, ориентированная на сотрудника.** Этот подход смешивает традиционное обучение в учебных классах с онлайн-учебными мероприятиями. Разработчики должны использовать этот метод для обучения контенту, который требует от обучающихся пробовать новые способы поведения в среде, не допускающей ошибок. Действия разработчиков должны встраиваться в общую среду обучения, включающую форумы, Вебинары, групповые проекты и онлайн-обсуждения с использованием чат-модулей.

**Модель, ориентированная на компетенции.** Компетентность определяется тем, насколько быстро работники могут принимать решения в процессе выполнения своих обязанностей. Даже если составляющие процесса принятия решений описываются общими фактами и рабочими принципами, все равно люди нуждаются в некотором «невыраженном» знании, часто содержащемся только в памяти экспертов. Обучение, которое должно содействовать передаче такого «невыраженного» знания, требует подхода, ориентированного на компетенции. Поскольку люди впитывают такие знания наблюдая и сотрудничая с экспертами в процессе работы, мероприятия должны включать смесь онлайн-средств с «живым» наставничеством.

**Симуляции в электронном обучении в условиях реализации дополнительного образования.** Симуляции – один из интереснейших способов электронного обучения. Они представляют собой виртуальные учебные имитации различных ситуаций, связанных с целями обучения, чаще всего – рабочих, например, общения с разными типами клиентов. Симуляция обычно подчинена жесткому сценарию, то есть для достижения успеха обучающийся должен совершить определенные, правильные действия. При этом, поступая по ходу сценария тем или иным образом, человек получает определенные реакции, комментарии, рекомендации, которые должны продвинуть его по верному пути.

Таким образом, обучение происходит в действии, на опыте – пусть ситуация и является виртуальной. Как известно, именно такое практическое обучение и является наиболее эффективным. А симуляция позволяет обойти в организации нужного учебного опыта сразу несколько сложностей. Во-первых, любое обучение должно подчиняться некому сценарию, то есть достигать совершенно конкретных, прогнозируемых целей с помощью воздействий определенного типа. Дождаться, пока жизнь сама по себе предоставит обучающимся оказаться в ситуациях, в которых все это могло бы произойти, конечно же, не представляется возможным. Симуляции же вполне способны решить эту задачу.

Второй аспект имеет психологические корни. Находясь внутри учебной симуляции, человек чувствует себя в безопасности, так как со своим виртуальным персонажем, с одной стороны, можно отождествиться, но с другой – возможные ошибки персонажа и получаемые им оценки переживаются не так болезненно, как собственные.

**Персональная среда обучения – PLE.** Под PLE - Personal Learning Environment, персональными средами обучения, понимаются инструменты, сообщества и службы, на которых основываются индивидуальные образовательные платформы, предназначенные для использования учащимися, которым предоставляется самостоятельное управление своим обучением и самостоятельная постановка учебных целей.

Типичная PLE может представлять собой учебные блоги (в т.ч. Twitter), в которых учащиеся рассказывают о ходе своего обучения; YouTube и подобные ему сайты; RSS-ленты. Иными словами, PLE – это совокупность ресурсов, нужных учащемуся для того, чтобы найти ответы на его вопросы, создать нужный контекст для обучения и проиллюстрировать изучаемые процессы. Таким образом, персональная среда обучения – это не конкретное приложение или служба, а особый подход к реализации обучения.

То есть, по сути, в создании основы для PLE дело стоит за малым – нужно просто предоставить учащимся платформу, на которой они могли бы общаться, размещать собственный контент, обсуждать его и делиться впечатлениями об обучении. Не обязательно даже специально создавать такую платформу, можно просто приспособить для этих целей какой-либо общеизвестный бесплатный сервис, который позволяет пользователям загружать контент, обмениваться им и общаться друг с другом.

Идея PLE состоит в том, что учащиеся должны не просто пассивно потреблять информацию, получаемую из ограниченного числа предлагаемых им источников, а пользоваться сразу множеством информационных ресурсов, систематизировать и сравнивать полученные знания, и даже, в конечном итоге, самостоятельно создавать новые источники знаний. При таком подходе ответственность за обучение ложится на плечи самих учащихся, и они сами направляют его ход – что, в идеале, делает обучение более значимым, приятным и интересным.

**Вебинар.** Вебинар – слово, образованное от “web” плюс “seminar” и применяется для обозначения различных онлайн-мероприятий: семинаров, конференций, дискуссий, встреч, презентаций, а в некоторых случаях – тренингов и сетевых трансляций тех или иных событий. В ходе вебинара связь между участниками поддерживается через Интернет, с помощью установленного на компьютере или специального веб-приложения.

Возможности для взаимодействия участников с ведущими вебинара и друг с другом могут быть более или менее разнообразными. Довольно часто голосовая связь включена только у ведущих, а участники могут высказываться в текстовом чате, отвечать на вопросы, голосовать, иногда – рисовать на слайдах текстовой презентации. В других случаях все участники могут общаться голосом, или даже видеть друг друга с помощью веб-камер. Однако, так делают реже, чтобы дискуссией было легче управлять и в целях экономии интернет-трафика. Кроме того, нередко используется возможность совместного использования приложений участниками вебинара.

Что касается технологических решений для проведения вебинаров, они представлены в широком разнообразии. Это могут быть и веб-сервисы, то есть располагаться на сервере компании-поставщика и поддерживаться ею, и коробочные решения – то есть заказчик может разместить его на собственном сервисе и самостоятельно управлять им.

Вебинары – это формат мероприятий, обладающий немалым числом неоспоримых преимуществ, особенно для корпоративного обучения. Прежде всего, для того, чтобы собрать людей для участия в вебинаре, не нужно просить их никуда ехать, не нужно заботиться о помещении для проведения мероприятия, проживании ведущих и участников и множестве иных, связанных с этим, вопросах. Это позволяет очень существенно сократить расходы, что, конечно же, всегда является весомым аргументом для любой организации. Да и самим участникам удобно участвовать в таком учебном мероприятии, которое не требует от них никаких излишних усилий, не связанных с самим обучением. А для многих людей, которым в силу различных причин затруднительно было бы ехать ради мероприятия в другой

город, вебинары могут стать единственным источником постоянного участия в мероприятиях интересующей их тематики.

Немаловажно и то, что любой вебинар с лёгкостью может быть записан и впоследствии использован для множества целей – формирования внутренней корпоративной библиотеки знаний, выкладывания в Интернет в открытый для всех или только для участников доступ, анализа ведущим своего поведения, чтобы совершенствовать в будущем свой стиль и технику, и так далее. Так или иначе, записи вебинаров позволяют сохранить полученные знания, идеи, опыт.

Еще одно преимущество вебинаров состоит в том, что в одном мероприятии этого формата может участвовать куда больше человек, нежели в очном семинаре или тренинге. Ограничение на число участников обусловлено только возможностями того или иного технологического решения и условиями пользования им. В то время как в случае с очным форматом никуда не уйти от вопроса вместимости помещений, в которых проходит обучение, стоимости их аренды и подготовки, возможности ведущего работать с большой аудиторией, да и просто, например, читать лекцию так, чтобы всем было слышно и видно. С другой стороны, на такие мероприятия, которые требуют выраженного внимания к динамике взаимодействия участников между собой или подразумевают обучение умениям, формат вебинара накладывает понятные ограничения.

И все-таки возможности вебинаров вполне сравнимы с возможностями очного обучения. Видео и аудио связь, изображения, слайдовые презентации, опросы и голосования, доски для рисования и комментариев, текстовый чат, совместное пользование приложениями, - единственное, чего в вебинаре может не хватать, это личностный компонент, психологический контакт между ведущим и участниками. Однако это – вопрос мастерства, а не технологии. Многим тренерам и специалистам по обучению поначалу бывает сложно освоить формат вебинара, но со временем и накопленным опытом большинство из них приходят к пониманию ценности и удобства онлайн-учебных мероприятий и осваивают эту технику в совершенстве.

### **Литература.**

- 1 Александр Воронцов . <http://wiki.itorum.ru/author/vorontsov/>.

## **СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРО-РАДИО ИЗДЕЛИЙ**

Афанасьев М.С., Гродзенский С.Я., Грудзинский П.В.

*Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА)*

Предложен алгоритм разработки системы менеджмента качества испытательной лаборатории для проведения сертификационных испытаний электро-радио изделий отечественного и импортного производства для федеральных государственных нужд.

**System of the quality management of test laboratory at carrying out of certified tests of electro-radio products. Grodzenskiy S.Ya., Afanasyev M.S, Grudzinskiy P.V. Moscow State Technical University of Radioengineering, Electronics and Automation**

The algorithm for the design of the quality management system of laboratory testing for certification tests of electro-radio products of domestic and foreign manufacture for federal State needs.

В докладе устанавливаются требования к системе менеджмента качества (СМК) испытательной лаборатории при проведении сертификационных испытаний электро-радио изделий отечественного и импортного производства для федеральных государственных нужд.

Предложен алгоритм проведения сертификационных испытаний, позволяющий разработать СМК с учетом требований существующих государственных стандартов, руководящих и технических документов, регламентирующих требования к обеспечению качества на всех стадиях выполнения работ, связанных с проведением сертификационных и иных видов испытаний электро-радио изделий (ЭРИ) [1-7].

Пошаговая последовательность выполнения мероприятий (работ) приведена на рис. 1.

При разработке СМК в соответствии с предлагаемой последовательностью мероприятий необходимо соблюдение основных принципов системы качества:

- приоритетность требований потребителя;
- предупреждение возможных проблем, приводящих к потере качества;
- обеспечение и управление разнообразными ресурсами;
- формирование стиля управления, когда все сотрудники организации принимают участие в решении возникающих проблем, активизируется творческий потенциал сотрудников всех уровней;
- комплексное решение проблем качества;
- обеспечение морального и материального стимулирования деятельности сотрудников;
- снижение затрат;
- своевременная модернизация оборудования и повышение профессиональной подготовки персонала;
- оперативное и долгосрочное планирование повышения качества предоставляемых услуг.

Для успешной реализации принципов СМК необходимо:

- неукоснительное выполнение требований заказчика, предусмотренных техническим заданием (ТЗ) и условиями контракта (договора);
- соблюдения требований нормативно-технической документации, распространяющейся на выполняемые виды работ и сертифицируемую (представленную для испытаний) продукцию;
- предупреждение появления ЭРИ, не соответствующего установленным требованиям на данный тип продукции;
- совершенствование документооборота между исполнителем и заказчиком, а также представительства заказчика на предприятии;
- совершенствование управления научным и техническим персоналом при выполнении работ по контрактам (договорам), непрерывный рост уровня профессионально-должностной подготовки персонала всех категорий, обеспечение эргономичности условий работы;
- выполнения мероприятий по защите государственной тайны (в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации);
- снижения непроизводительных расходов ресурсов (менеджмент ресурсов) по выполняемым контрактам (договорам).

- четкое взаимодействие между лабораторией и аккредитованным (закрепленным) при ней контрольным органом (представительством) заказчика.

Результаты выполнения выше указанных мероприятий позволят создать четкую структуру СМК испытательной лаборатории, что позволит сократить как затраты на проведение работ по контрактам (договорам), так и на создание самой системы менеджмента качества и её внедрения в организации.

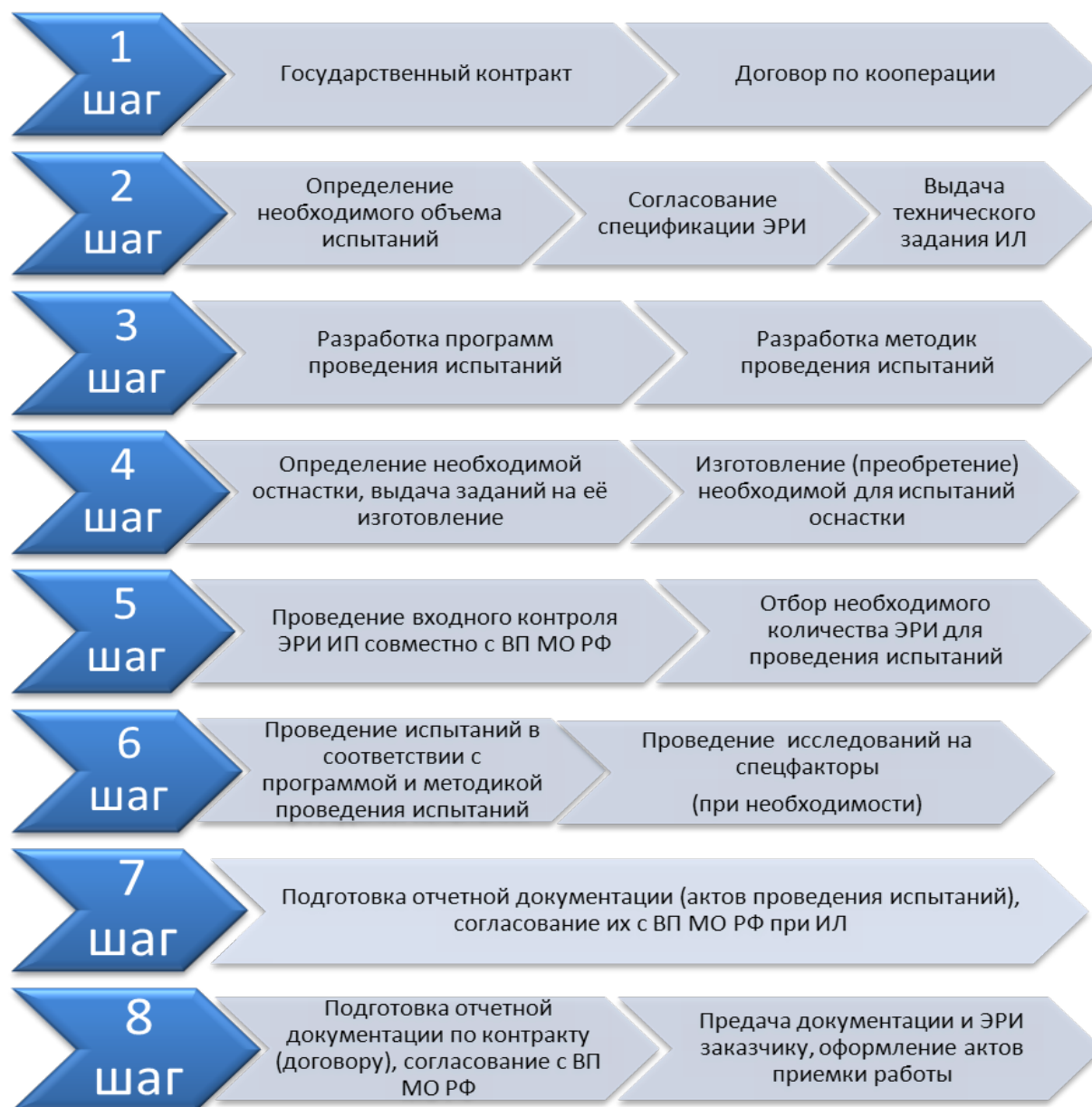


Рис. 1 - последовательность выполнения мероприятий (работ) проводимых в процессе испытаний ЭРИ ИП.

#### Литература.

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2008 «Системы менеджмента качества. Требования».
2. ГОСТ РВ 15.307- 2002 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Испытания и приемка серийных изделий. Основные положения;
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 – 2009 «Общие требования к компетентности



испытательных и калибровочных лабораторий».

4. ГОСТ Р 51672-2000 Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия. Основные положения.

5. ГОСТ РВ 15.002-2003 Система разработки и постановки на производство военной техники. Система менеджмента качества. Общие требования.

6. ГОСТ Р ИСО 9004-2010 Менеджмент для достижения успеха организации. Подход на основе менеджмента качества.

7. РД В 319.006-97 Система добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электро-радио изделий и материалов военного назначения «ВОЕНЭЛЕКТРОНСЕРТ». Требования к испытательным лабораториям и порядок их аккредитации.

## **CALS-ТЕХНОЛОГИИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

Гродзенский С.Я., Овчинников С.А., Калачева Е.А.

*Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА)*

Рассмотрена история создания CALS-технологий, актуальность и практические аспекты их применения на предприятиях радиоэлектронного комплекса. Отмечается, что комплексное применение PDM-систем и CALS-технологий наиболее актуально с точки зрения менеджмента качества.

### **CALS-Technologies: Past, Present and Prospects. Grodzenskiy S.Ya., Ovchinnikov S.A., Kalacheva E.A.**

The history of CALS-technologies creation, relevance and practical aspects of their use on complex electronic enterprises are considered. The comprehensive use of PDM-systems and CALS-technologies is noted to be the most relevant in terms related to quality management.

В начале 70-х годов XX века появились первые системы автоматизации выпуска бумажной документации (системы автоматизированного проектирования (САПР); автоматизированные системы управления предприятием (АСУП) и др.). Широкое применение их на практике показало, что при переносе данных из одной автоматизированной системы в другую требуются большие затраты труда и времени для повторной кодировки информации, а это может приводить к ошибкам, и в конечном счете к значительному снижению эффективности разработки, производства, эксплуатации, обслуживания, ремонта сложных наукоемких изделий.

Попыткой преодоления этих трудностей стала информационная интеграция стадий жизненного цикла (ЖЦ) продукции (изделия), которая и легла в основу CALS. Впервые, по-видимому концепция CALS возникла в середине 80-х годов в оборонном комплексе США, а идея ее состоит в отказе от «бумажной среды» и переходе к интегрированной информационной среде, охватывающей все стадии ЖЦ изделия.

Сегодня **CALS-технологии** (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support, непрерывная информационная поддержка поставок и ЖЦ изделия) - современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоемкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники, современных информационных и автоматизированных средств на всех стадиях ЖЦ изделия. Такой

подход обеспечивает унифицированные способы управления процессами и взаимодействием всех участников производственно-технологической кооперации – заказчиков, производителей и поставщиков, а также эксплуатационщиков и ремонтников – в соответствии с требованиями международных стандартов [1].

Концепция CALS - полноценная идеология, представляющая собой связующее звено между автоматизированными системами управления (АСУ) и проектирования (САПР) и элементами системы менеджмента предприятия. Русскоязычным аналогом понятия CALS является Информационная Поддержка ЖЦ Изделий (ИПИ).

Основная цель внедрения CALS - минимизация затрат в ходе ЖЦ изделия, повышение его качества и конкурентоспособности. Применение CALS-технологий является актуальной задачей для повышения конкурентоспособности отечественных производителей, особенно в оборонно-промышленном комплексе, радиоэлектронной промышленности и машиностроении, что показано в работах [2, 3].

Развитие CALS-технологий в России невозможно без создания комплекса соответствующих стандартов. В докладе рассмотрен ряд нормативных документов в области CALS.ИПИ – технологий. Заметим, что указом президента России от 7 июля 2011 г. № 899 CALS-системы внесены в состав приоритетных направлений развития науки и техники и перечень критических технологий Российской Федерации.

Разработка и производство сложных наукоемких изделий, обладающих высокими показателями технического уровня (прежде всего, показатели надежности, качества, помехозащищенности), требуют применения специальной методологии, базирующейся на системных принципах разработки сложных систем и комплексном математическом моделировании физических процессов.

Системы управления данными об изделии (PDM, от англ. Product Data Management) являются составной частью CALS-технологий. PDM-технология предназначена для управления всеми данными об изделии и информационными процессами ЖЦ изделия. Ее основная цель – повышение эффективности управления информацией за счет повышения доступности данных об изделии, требующихся для информационных процессов ЖЦ.

Задачи, решаемые за счет применения PDM-технологии:

- создание единого информационного пространства для всех участников ЖЦ изделия;
- автоматизация управления конфигурацией изделия;
- построение системы качества продукции согласно международным стандартам ISO серии 9000;
- создание электронного архива чертежей и прочей технической документации.

Использование на предприятии PDM-системы позволяет сократить продолжительность разработки изделия, т. е. существенно уменьшить время выхода изделия на рынок и повышение его качества.

В докладе показано, что комплексное применение PDM-систем и CALS-технологий позволяет предприятию увеличить производительность труда работников, сократить брак и затраты, связанные с внесением изменений в конструкцию изделий, сократить затраты на эксплуатацию, обслуживание и ремонт изделий, способствует повышению качества производимой продукции [4].

Рассмотренные в докладе проекты CALS-технологий внедрены на ведущих отечественных предприятиях, среди которых: ОАО «Компания «Сухой», ОАО «Корпорация «Иркут», ОАО «Туполев», ОАО «Московский вертолетный завод им. М. Л. Миля», ОАО «Казанский вертолетный завод», ОАО «Улан-Удэнский авиационный завод», ОАО «Конструкторское бюро приборостроения», ОАО «Государственный

Рязанский приборный завод», ОАО «Авиадвигатель», ОАО "НПК "Уралвагонзавод", ФГУП «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения».

#### Литература.

1. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», М., 2002.
2. Гродзенский С.Я., Овчинников С.А. О концепции информационной поддержки жизненного цикла наукоемкой продукции. Материалы научно-практической конференции «Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий», 2008 г.
3. Овчинников С.А. Актуальное состояние и перспективы развития CALS-технологий в России и за рубежом. Сб. Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения / Материалы международной научно-технической конференции INTERMATIC-2009. - М.: МИРЭА, 2009, ч. 3, с. 280-283.
4. Долгих, Э.А. Основы применения CALS-технологий в электронном приборостроении. Красноярск: ИПК СФУ, 2008г.

### ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В CALS-ТЕХНОЛОГИЯХ

Гродзенский С.Я., Овчинников С.А., Калачева Е.А.

*Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА)*

Рассмотрены методологические аспекты применения комплекса стандартов функционального моделирования в CALS-технологиях для информационной поддержки жизненного цикла продукции, изделий и бизнес-процессов организации.

#### **Application of modeling standards in CALS-technologies. Grodzenskiy S.Ya., Ovchinnikov S.A., Kalacheva E.A.**

Methodological aspects of the use of functional modeling standards set in CALS-technologies for information support during the product life cycle and business processes are considered.

Результаты системного анализа международных и национальных стандартов в области CALS-технологий доказывают практическую значимость применения концепции функционального моделирования для информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции. Данная концепция известна под аббревиатурой *IDEF* (**I**ntegration **D**efinition **F**unction **M**odeling) применяется при описании производственно-технических, организационно-экономических систем, бизнес-процессов предприятия [1].

Методы IDEF первоначально были разработаны в рамках реализации программы интегрированной компьютерной поддержки производства *ICAM* (**I**ntegrated **C**omputer-**A**ided **M**anufacturing) в середине 70-х годов в США. В основу была положена технология структурного анализа и проектирования *SADT* (**S**tructured **A**nalysis and **D**esign **T**echnique), предложенная примерно в то же время компанией SoftTech. Методы IDEF предназначены в первую очередь для описания и анализа процессов, потоков и различных структур с целью улучшения их характеристик [2]. Методы дополняют друг друга, обеспечивая возможность многоаспектного представления деятельности

системы бизнес-процессов независимо от вида производства, применяемых технических устройств и используемых информационных систем. На их основе были разработаны федеральные стандарты США FIPS (Federal Information Processing Standards), методологические основы которых используются для осуществления информационной поддержки ЖЦ продукции с применением CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life cycle Support).

Концепция CALS-технологий – комплексная системная стратегия повышения эффективности всех процессов ЖЦ продукции, непосредственно влияющая на ее качество и конкурентоспособность. [3]

Последовательное применение CALS-технологий позволяет:

- расширить области кооперации различных организаций;
- обеспечить преемственность результатов работы в комплексных проектах и возможность изменения состава участников без потери уже достигнутых результатов, за счет информационной интеграции и сокращения затрат на бумажный документооборот;
- сократить затраты в бизнес-процессах за счет лучшей сбалансированности их звеньев;
- повысить привлекательность и конкурентоспособность изделий, спроектированных и произведенных в интегрированной среде (ИС) с использованием современных компьютерных технологий;
- обеспечить заданное качество продукции в единой системе поддержки ее ЖЦ путем электронного документирования всех процессов и процедур;
- сократить издержки производства и снизить стоимость продукции;
- сократить время производства изделия и увеличить его ресурс за счет высокого качества и электронной поддержки во время эксплуатации.

Основной целью реализации CALS-технологий является обеспечение информационной интеграции. Важную роль при этом играет применение единых стандартов информационного представления и обмена данными о продукции, стадиях ее ЖЦ и выполняемых бизнес-процессах. Основой CALS-технологий является система международных стандартов и, в первую очередь, регламентирующих обмен данными об изделии, получившим название *STEP* (Standard for The Exchange of Product model data), разработанным под эгидой *ISO* (International Organization for Standardization). Стандарты ISO 10303 определяют средства моделирования промышленных изделий на всех этапах их ЖЦ [3].

В докладе показано (см. Табл.), что все CALS-стандарты условно могут быть разделены на три группы:

- *функциональные стандарты*, определяющие процессы, методы формализации, форматы и модели данных, технологии представления данных, способы доступа и использования данных, описывающих изделия и стадии его ЖЦ;
- *стандарты технического обмена*, описывающие общие принципы электронного обмена данными, определяющие организационно-технические аспекты электронного взаимодействия, контролирующие носители информации и процессы обмена данными между передающими и принимающими системами, регламентирующие технологии обеспечения безопасности данных, в частности, их шифрование в процессе обмена, применение электронной цифровой подписи для подтверждения их достоверности и т.д.;
- *информационные стандарты* по описанию данных о продуктах, процессах и средах ЖЦ изделия.

В CALS-технологиях широко представлены вопросы не только описания данных и организации информационного обмена, но и моделирования приложений для чего рекомендуется использовать методы функционального моделирования IDEF0 и информационного моделирования IDEF1X на базе языка *UML* (Unified Modeling Language).

Методы IDEF, как было сказано выше, изначально были разработаны в рамках реализации программы интегрированной компьютерной поддержки производства ICAM. Позднее они нашли наибольшее применение при внедрении CALS-технологий, создании функциональных моделей этапов ЖЦ продукции и широко представлены в федеральных стандартах США FIPS 183 и FIPS 184 соответственно.

Таблица 1.  
Комплекс основных CALS-стандартов

Информационные модели		Стандарт представления информации
Модель ЖЦ продукции и выполняемых бизнес-процессов		Серия стандартов IDEF ( <b>I</b> ntegrated <b>D</b> efinition) ISO 10303 AP208 Life cycle management change process
Модель продукции	Конструкторская и Технологическая	ISO 10303 (STEP) – <b>S</b> tandard for the <b>E</b> xchange of <b>P</b> roduct model data
		ISO-13584 (PLIB) – <b>P</b> arts <b>L</b> ibrary
	Производственная	MIL-HDBK-502 Acquisition Logistics MIL-PRF-49506 Logistics Management Information
		MIL-STD-1840/MIL-STD – 1840C Automated Interchange of Technical Information
	Эксплуатационная	MIL-M-87268 <b>I</b> nteractive <b>E</b> lectronic <b>T</b> echnical <b>M</b> anual (IETM) Content
		MIL-D-87269 – <b>I</b> nteractive <b>E</b> lectronic <b>T</b> echnical <b>M</b> anual (IETM) Database
		ISO 8879 Information Processing – Text and Office System – <b>S</b> tandard <b>G</b> eneralized <b>M</b> arkup <b>L</b> anguage (SGML)
		MIL-PRF-28000 Digital Representation for Communication of Product Data
		MIL-HDBK-28001 US Department of Defence Application of – SGML. <b>F</b> ederal <b>I</b> nformation <b>P</b> rocessing <b>S</b> tandard (FIPS 152)
		MIL-M-28001 Markup Requirements and Generic Style Specifications for Electronic Printed Output and Exchange of Text - SGML
		MIL-D-28002 Requirements for Raster Graphics Representation in Binary Format
		MIL-D-28003 Digital Representation for Communication of Illustration Data: <b>C</b> omputer <b>G</b> raphics <b>M</b> etafile (CGM) Application Profile
		MIL-PRF-28003 – <b>C</b> omputer <b>G</b> raphics <b>M</b> etafile (CGM)
		ISO 10744 HyTime (Hypermedia/Time Based Structuring Language)
ISO/IEC 10179 <b>D</b> ocument <b>S</b> tyle <b>S</b> emantics and <b>S</b> pecification <b>L</b> anguage (DSSSL)		
ISO/IECS 13522 Information Technology – Coding of Multimedia and Hypermedia Information (MHEG)		
Модель среды	ISO 15531 (MANDATE) – <b>M</b> anufacturing <b>D</b> ata for <b>E</b> xchange	

*IDEF0* (стандарт FIPS 183) *Function Modeling* – метод функционального моделирования; был разработан для описания функций различных систем путем

создания наглядной графической модели. Функциональные модели строятся методом декомпозиции от главной (контекстной) функции к более простым с учетом их взаимной связи. Элементы модели каждого уровня представляют собой действия по переработке информационных или материальных ресурсов при определенных условиях (ограничениях, управляющих воздействиях) с использованием определенных механизмов. Модели используются для детального функционального анализа с целью улучшения структуры функций объекта (реинжиниринга). Метод IDEF0 широко применяется при внедрении CALS-технологий, однако он не обеспечивает прямой интеграции функциональных моделей с моделями продукции. Для этого разрабатывается один из прикладных протоколов стандарта STEP – ISO 10303 AP208, который базируется на методологии IDEF0.

*IDEF1X (стандарт FIPS 184) – метод моделирования данных и проектирования реляционных баз данных.* Относится к типу методологий «сущность-взаимосвязь» (ER-Entity-Relationship), сущности понимаются не как реальные объекты, а как типы, обладающие общими свойствами. Это позволяет хранить информацию в форме абстрактной схемы (семантической модели), которая связывает хранящиеся в компьютере символы с реальным миром и является верным его отражением.

Метод IDEF1X по своей идеологии близок к языку EXPRESS стандарта ISO 10303 STEP, предназначенного для описания продукции в нейтральном формате (в форме EXPRESS-схем, характерных для реляционных баз данных). Описание этого языка приведено в томах 11-19 стандарта ISO 10303.

Методы функционального моделирования могут быть использованы и при разработке систем обеспечения качества продукции. В этом случае функциональная модель описывает систему менеджмента качества (СМК) продукции, регламентированные стандартами ISO серии 9000, т.е. сеть процессов управления качеством продукции и их интерфейсы, связанные с ними обязанности, полномочия, процедуры и ресурсы, взаимодействие подразделений и персонала организации. Разработанные функциональные модели процессов позволяют выявить логические ошибки, допущенные при построении СМК, уточнить распределение полномочий и ответственности, автоматически генерировать отчетные документы по структуре системы. Для моделирования процессов системы качества на практике также используются информационные модели, регламентированные стандартом ISO 10303 и методологией IDEF1X.

Полученные в результате моделирования функциональные модели не только являются детальным описанием выполняемых процессов, но также позволяют решать целый ряд задач, связанных с оптимизацией, оценкой и распределением затрат, возникающих на различных стадиях ЖЦ продукции, проводить анализ и реинжиниринг бизнес-процессов на основе применения CALS-технологий.

### Литература

1. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.: ил.
2. Абдикеев Н.М. и др. Реинжиниринг бизнес-процессов. – М.: Эксмо, 2005. – 592 с.
3. Шалумов А.С., Никишкин С.И., Носков В.Н. Введение в CALS-технологии: Учебное пособие. Ковров: КГТА, 2003. – 184 с.

## ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ПОРОГОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ КАРТЫ НАСЫЩЕННОСТИ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Груничев А.В., Демкин Д.В., Кирсанов М.Н.  
*Москва, НИУ «Московский Энергетический Институт»*

Рассмотрены различные методы выделения контуров объектов на изображении. Предложен оригинальный алгоритм, основанный на обработке пороговым фильтром карты насыщенности цветного изображения. Проведено сравнение предложенного способа с традиционными алгоритмами, такими как фильтр Собеля и пороговый фильтр, применёнными к изображению в оттенках серого.

### **Object border detection by threshold filtration method of image saturation map. Grunichev A., Demkin D., Kirsanov M.**

Various border detection methods have been reviewed. The original algorithm, based on analyzing of saturation channel of colored image with a threshold filter, has been proposed. This method was compared with traditional solutions, like Sobel filtration and threshold filtering, both applied to grayscale image.

В настоящее время является актуальной проблема детектирования искусственных объектов, таких как авианосцы (рис.1), на фоне относительно однородной природной среды [1]. Для распознавания указанных объектов необходимо произвести выделение их границ. Обычно данная задача решается посредством таких алгоритмов, как фильтр Собеля [2] или пороговый фильтр [3]. Данные алгоритмы применяются к изображениям в оттенках серого (рис.2-а), что позволяет, используя камеры с одинаковым числом элементов светочувствительной матрицы, получать для изображений в градациях серого в 3 раза большее разрешение, чем для цветных [4].



Рис. 1. Исходное изображение.

Однако при этом теряется информация о цвете изображения, которая может иметь решающее значение для поставленной задачи детектирования искусственных объектов на фоне естественной среды, таких как корабли на фоне водной поверхности.



а) Изображение в оттенках серого.



б) Карта насыщенности цветного изображения.



в) Гауссово размытие ( $r = 25$  пикс)



г) Гауссово размытие ( $r = 50$  пикс)

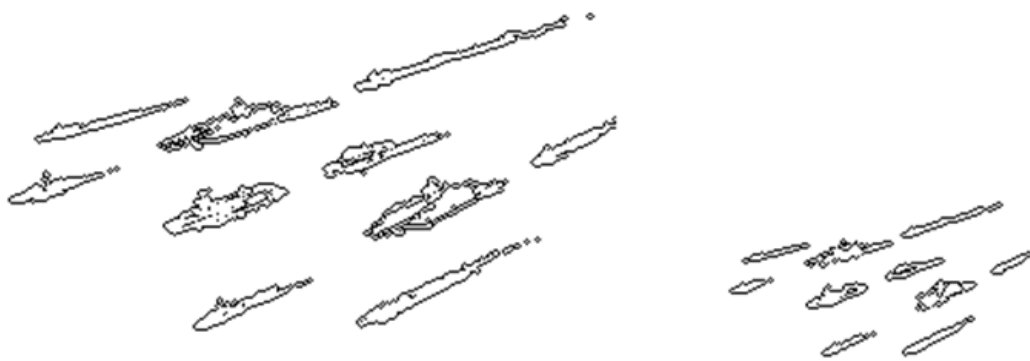


д) Гауссово размытие ( $r = 115$  пикс)

Рис. 2. Преобразованное изображение.

К таким параметрам относится, в частности, насыщенность цвета, которая крайне низка для искусственных военно-морских объектов, ввиду того, что подавляющим. К таким параметрам относится, в частности, насыщенность цвета, которая крайне низка для искусственных военно-морских объектов, ввиду того, что подавляющим материалом для их изготовления является металл серого цвета [5]. Помимо этого, стоит отметить, что насыщенность цвета не изменяется в зависимости от освещённости объекта в пределах дневных изменений, поэтому возникающие тени не порождают паразитных контуров. Уменьшение разрешающей способности цветной камеры относительно чёрно-белой для задачи выделения контуров не влияет на работу детектора границ, что продемонстрировано на рис.3.



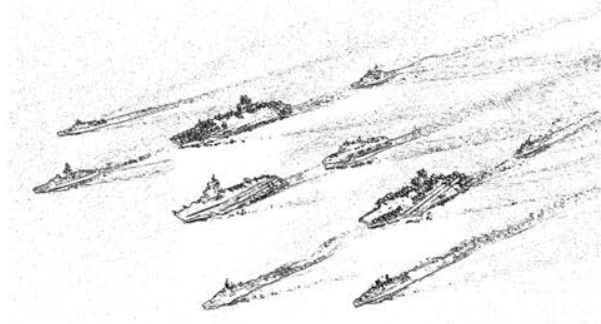


*а) Результат обработки изображения с разрешением 300x182*

*б) Результат обработки изображения с разрешением 150x91*

Рис. 3. Результаты пороговой фильтрации при различных разрешениях обрабатываемого изображения.

В то же время известно, что пороговая фильтрация обладает одним существенным недостатком – необходимостью указания значения порога срабатывания детектора границ. Однако в однородной среде данное значение можно определить заранее для каждого водоёма в каждую погоду, составив соответствующую таблицу. В случае же работы с картой насыщенности, можно использовать наименьшие значения из полученной таблицы, так как искусственные военно-морские объекты имеют крайне выраженный провал насыщенности, что видно на рис.2-б.



*а) Фильтрация Собеля изображения в оттенках серого.*



*б) Фильтрация Собеля карты насыщенности цветного изображения.*



*в) Пороговая фильтрация изображения в оттенках серого.*



*г) Пороговая фильтрация карты насыщенности цветного изображения.*

Рис. 4. Результат фильтрации.

Предлагается оригинальный метод, использующий в качестве входной информации для фильтра выделения контура карты насыщенности исходного изображения, получаемой применением к каждой точке формулы (1).

$$s = 1 - \frac{\min(r, g, b)}{\max(r, g, b)} \quad (1),$$

где  $s$  – значение насыщенности,

$r, g, b$  – значения соответственно красной, зелёной и синей составляющей точки цветного изображения.

Например, применив формулу (1) к точкам изображения (рис.1), получаем изображение (рис.2-б), которое затем и подаётся на вход фильтра выделения границ.

С помощью программ, написанных на языке C# и в математическом пакете Maple, проведём измерение эффективности работы пороговой фильтрации карты насыщенности цветного изображения.

С качественной точки зрения результат работы пороговой фильтрации карты насыщенности цветного изображения (рис. 4-з) является более чётким и без лишних шумов, таких, как водяной след при пороговой фильтрации изображения в оттенках серого (рис. 4-в) и блики воды при фильтрации Собеля изображения в оттенках серого (рис. 4-а). Особенно эти недостатки ярко выражены при фильтрации Собеля карты насыщенности цветного изображения (рис. 4-д).

На рис. 5 представлена экспериментальная зависимость времени обработки изображения от его размера. В отличие от пороговой фильтрации, для фильтрации Собеля по этим параметрам не имеет значение вид обрабатываемого изображения (изображение в оттенках серого или карта насыщенности цветного изображения). Анализ графика показывает, что при любых размерах изображения пороговая фильтрация карты насыщенности цветного изображения при условии выделения границ объектов на фоне естественной среды имеет преимущество по времени по сравнению с остальными видами фильтрации, причем, с увеличением размера изображения разница во времени обработки увеличивается по линейному закону относительно фильтрации Собеля и по параболическому – относительно пороговой фильтрации изображения в оттенках серого.



Рис. 6. Зависимость числа видимых кораблей от радиуса Гауссова размытия.

В реальных условиях из-за ряда непредсказуемых факторов таких, как сбой фокусировки камеры и плохие погодные условия, изображение может получиться нечётким с размытыми контурами объектов. Для того чтобы смоделировать подобную ситуацию было использовано Гауссово размытие изображения [6]. Изменяя радиус Гауссова размытия, применённого к исходному изображению, была определена чувствительность фильтров к такому роду воздействия (рис.6). В результате, фильтрация Собеля изображения, к которому было применено Гауссово размытие радиусом 25 пикселей (рис.2-в), не способна выделить ни одного объекта из 10 (рис.6, срез А), в то время как пороговая фильтрация карты насыщенности цветного изображения показывает стопроцентный результат. При радиусе Гауссова размытия, равного 50 пикселей (рис.2-г), пороговая фильтрация изображения в оттенках серого уже также не выделяет ни одного объекта (рис.6, срез Б). Пороговая фильтрация карты насыщенности цветного изображения позволяет выделить один объект из десяти (рис.6, срез В) на изображении, обработанном Гауссовым размытием даже с радиусом, равным 115 пикселей (рис.2-д).

В результате исследований был получен детектор, позволяющий достаточно точно и с большим преимуществом по времени выделить границы объекта на изображении. Эти достоинства могут быть использованы в военной сфере, когда все действия должны выполняться максимально быстро и предельно точно. В частности, ввиду появления по аналогии с самолётами кораблей типа «Stealth» [1], полученный детектор границ может служить альтернативой существующим системам обнаружения.

#### Литература.

1. Summers C. Stealth ships steam ahead. BBC News Online, 2004. URL: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/3724219.stm>
2. Sobel I., Feldman G. A 3x3 isotropic gradient operator for image processing. Never published but presented at a talk at the Stanford Artificial Project. 1986.
3. Kirsanov A., Vavilin A. and Jo K-H. Vector Processing Contours. The 5<sup>th</sup> International Forum on Strategic Technology, 2010.
4. Пат. 3971065 США. Color imaging array/ Bayer В., Rochester N. Заявлено 5.03.1975; Опубли. 20.07.1976.
5. Parkes, Oscar. British Battleships (2nd Edition). Leo Cooper, London, 1990.
6. Nixon M. and Aguado A. Aguado. Feature Extraction and Image Processing. Academic Press, 2008

## ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ КАК ЗАКОНОМЕРНЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ИНФОРМАТИКИ

Губарев В.В.  
Новосибирск, НГТУ

Приведены факты, касающиеся техносферы, привязанные к временной оси развития человечества. Выделены четыре тенденции развития: быстрое ускорение развития в последние десятилетия; потеря конкурентных преимуществ собственников технических новшеств по мере превращения новшеств в инфраструктуру соответствующей области человеческой деятельности; изменение во времени

распределения человечества по сферам занятости в сторону услуг; необходимость изменения методологического сопровождения новшеств и инфраструктурных решений. Рассматриваются основные виды облачных вычислений, принципы их работы, отличительные особенности, а также постепенный переход от элементной к системной и организмовой методологиям, связанным с этими тенденциями.

### **Cloud computing as the regular stage of informatics development. Gubarev V.**

The facts of technospheres development are mentioned. Four tendencies of development are allocated: fast developments acceleration in last ten-years; loss competitive advantages of technical innovations proprietors in process of innovations transformation into an infrastructure of corresponding human activity area; change of humanity distribution of mankind in time on spheres of employment towards services; necessity of change of methodological support of innovations and infrastructural decisions. Basic kinds of cloud computing, principles of their work, distinctive features, and also gradual transition from element to system and organism methodologies, connected with these tendencies, are considered.

#### **1. Введение. Постановка задачи**

Известно изречение Никколо Макиавелли [1469–1527 гг.]: «Кто владеет прошлым, тот управляет будущим». Можно утверждать, что это изречение справедливо и для истории техники. К сожалению, до сих пор в истории стран и человечества в целом нет четко однозначно определенного понятия истинности результатов исторических исследований. Это порождает проблемы с интерпретацией их достоверности.

Есть разные направления изучения истории какого-то объекта (технического, биологического, страны). Одно ориентировано на построение генезисных моделей, отвечающих на вопрос «Каковы прошлые конструкции, состояния и механизмы функционирования объекта?». Итогом таких исторических исследований являются выявление, описание, хронологическое сопровождение обнаруженных фактов прошлого. Здесь даже для истории стран, социальных формаций и движений можно ввести разумные критерии истинности фактов (что не снимает проблемы их интерпретации!).

Второе направление связано с построением каузальных моделей, отвечающих за вопрос «Почему так устроен и функционирует объект?», телосных («Зачем, для чего существует, как устроен и функционирует объект?»), эволюционных («Как зарождался и изменялся объект?»). Чаще всего оно базируется на посылке, что прошлое причинно обуславливает будущее и, как следствие, последующее может в определенной степени определять прошлое. Это означает, что конкретные текущие или исторические факты жестко обусловлены конкретными предшествующими им событиями (фактами, состояниями объекта). Усилия историков, например, страны, придерживающихся такого подхода, направлены на выяснение того, что из прошлого оказалось существенным для настоящего, и переписывающих историю, исходя из полученных результатов исследования. Понятно, что если реальный ход рассматриваемых событий истории подчиняется системным правилам, характеризуется многогранностью и нелинейной многосвязностью большого многообразия действующих на события по ходу истории факторов, в том числе сопровождается процессами, описываемыми стохастическими моделями, а тем более моделями нелинейной динамики, динамического хаоса [1], разные историки, оперирующие только таким «детерминированным» подходом могут прийти к разным «историческим картинам

мира» и роли личностей в истории. Это особенно заметно на примере разных историй России, породивших фразу о непредсказуемости прошлого России.

Наконец, еще одно направление связано с выявлением системных закономерных тенденций и непричинных взаимосвязей между кажущимися на первый взгляд разными аспектами развития человечества, например, созданием техносферы, развитием экономики региона, изменением благосостояния населения и т.д. Этот подход ориентирован на построение прогностических, проектных моделей объекта, способных предсказать не столько конкретные сценарии будущего, сколько тенденции, закономерности его развития. Реалистичные исследователи при этом ориентируются на посылку «Чтобы правильно предсказать будущее (особенно в технике), надо знать непредсказуемое. Непредсказуемое означает принципиальные новшества, которых сейчас нет, они не предвидимы, но которые могут появиться в будущем и существенно изменить ход развития событий». Иными словами, они понимают принципиальную непредсказуемость долгосрочного будущего, но могут предугадать какие-то контуры будущего, учитывая настоящее и тенденции прошлого. Именно этот подход мы попробуем использовать в данной работе.

В свете сказанного, целью настоящего доклада является изложение на базе системного рассмотрения развития человечества варианта обоснования ожидаемого появления облачных вычислений и технологий как закономерного этапа развития информатики – составной части человеческого бытия.

Системность используемого подхода заключается не только в том, что развитие человеческого сообщества рассматривается как развитие синергетической, самореферентной и авто(ауто)поэтической системы [1, 2], но и в выявлении их следующих системных тенденций:

1. Ускорение развития, наличие в системе режимов с обострением [1–3].
2. Ускорение движения технологических инноваций от гарантий конкурентных преимуществ для их собственников к общественным инфраструктурам, доступным всем [4].
3. Изменение распределения населения по сферам занятости.
4. Изменение методологического сопровождения инфраструктурных решений.

## **2. Тенденции ускоренного развития человечества**

Исследуя историю развития человечества, нетрудно заметить следующие тенденции в ней (см. рис. 1 и [3]).

1. Медленное многотысячелетнее развитие без быстро используемых существенных нововведений.

2. Создание техносферы фактически за последние двести лет.

3. Ускоренное появление за последние 200 лет не только важных новых технических решений, но и резкий гиперболический рост человечества, все более четкое проявление режима с обострением при наличии точки сингулярности в интервале 2025–2050 годы [1]. Заметим, что именно в на этом интервале ожидается появление независимо прогнозируемых событий вида:

2030 г. – точка технической сингулярности, когда компьютеры, сравнявшись с человеком по интеллекту, объединят через сеть свои «мозги» в единый суперразум и поведут себя непредсказуемым образом;

2045 г. – точка сингулярности развития человечества, когда биология перейдет в разряд информационных наук, появятся неограниченные возможности воспроизводства клеток, миниатюрные компьютеры смогут управлять мозгом и состоянием человека, произойдут качественные изменения как самой информации, так и окружающего мира;

2044–2046 гг. – создание искусственного (биоискусственного) или синтетического тела с искусственным интеллектом, не уступающего биологическому

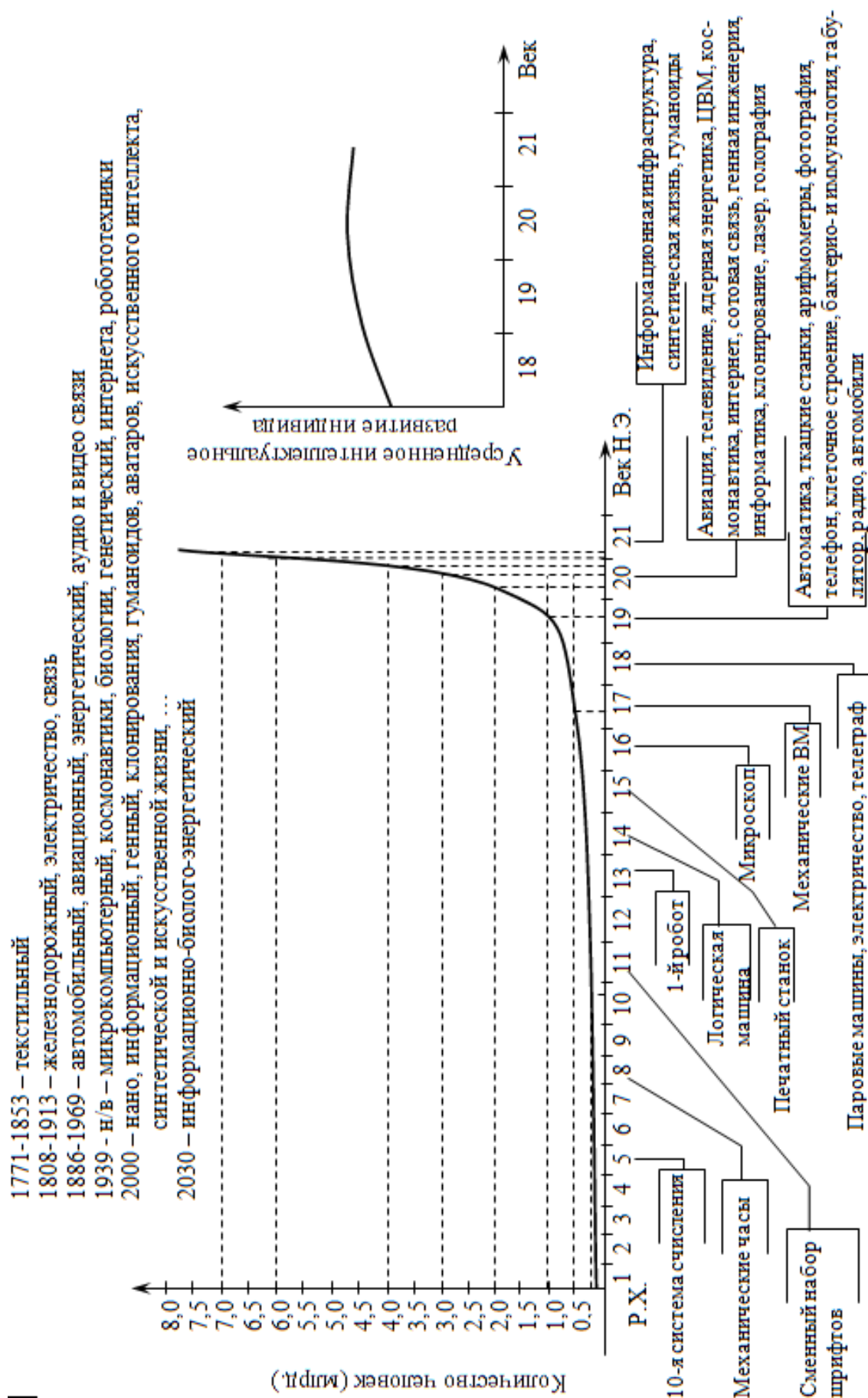


Рис. 1. Демонстрация ускорения развития человечества

человеку. Возникает вопрос, что же будет не только в ближайшие 200 лет, но хотя бы в ближайшие 50 лет?

Заметим, что, как правило, «появление любой новой инфраструктурной технологии знаменует собой разрыв с прошлым и поощряет спекуляции на тему будущего» [4].

Все это характерно и для информационных технологий. Как можно было предположить, бурное развитие и широкое распространение средств и технологий вычислительной техники и инфотелекоммуникаций, часто обобщенно условно называемых информационными технологиями (ИТ), должно было привести к чему-то подобному. Именно на это обратил внимание Николас Д. Карр [4]. Основная мысль, проповедуемая Н.Д. Карром, сводится к утверждению, что теперь (начало 2000-х годов) вложение денег в развитие в каком-то хозяйствующем субъекте существующих информационных средств и технологий перестает быть эффективным, поскольку информационные средства и технологии перешли рубеж, после которого наращивание их применения перестает обеспечивать конкурентные преимущества их собственникам по мере того, как ИТ начинают становиться инфраструктурным решением.

Если это так, инфраструктурное решение, согласно тенденциям, имевшим место ранее на транспорте (железные дороги, автомобили, самолеты), в связи (телеграф, телефон), в энергетике и коммунальных услугах, появились реальные предложения по оказанию услуг на базе инфраструктуры ИТ. Подобные предложения стали появляться и реализовываться: интернет-торговля, реклама, центры обработки данных, поисковые системы, а также средовые сегменты, обеспечивающие финансовую поддержку оказания подобных услуг (по типу кино, теле, радио, газет и п.т.), разные социальные сети, пока не появилась идея использовать ИТ-средства для оказания услуг по первоначальному назначению ВТ – для вычислений и обработки разнородных данных. Эта идея и вылилась в облачные вычисления, чему способствовала третья, отмеченная ранее, тенденция – ускоренное увеличение в последние десятилетия доли населения, занятого в сфере услуг и потребляющих их (рис. 2).

#### **4. Из истории развития облачных вычислений**

Теперь укажем некоторые аспекты, касающиеся эволюции облачных вычислений и технологий (ОВТ, Cloud Computing – англ.).

Прежде всего обратим внимание на современное обобщенное понимание ОВТ. В контексте ОВТ под вычислительными понимаются не только и не столько системы и технологии, оперирующие с арифметическими операциями, сколько системы, сети, технологии, связанные с преобразованиями любых входных данных в выходные результаты (данные, информацию) при помощи совокупности формализованных абстрактных правил.

В основе концепции облачной обработки данных как основополагающей идеи лежит включение в это понятие «все информационное (инфраструктура, платформа, программное обеспечение (ПО), данные, информация, рабочее место и пр.) как услуга с помощью Интернета и виртуализации». Именно Интернет и виртуализация являются ключевыми средствами и технологией ОВТ. Само слово «облако» взято из образного размытого иллюстративного представления Интернета.

На примере данных виртуализация – это процесс их представления пользователям посредством некоторого интерфейса, скрывающего все средовые и технологические аспекты хранения (способ, местоположение, структуры, язык доступа) данных. Суть виртуализации в абстрагировании данных от конкретной формы их хранения, сбора и распределения ресурсов между потребителями.

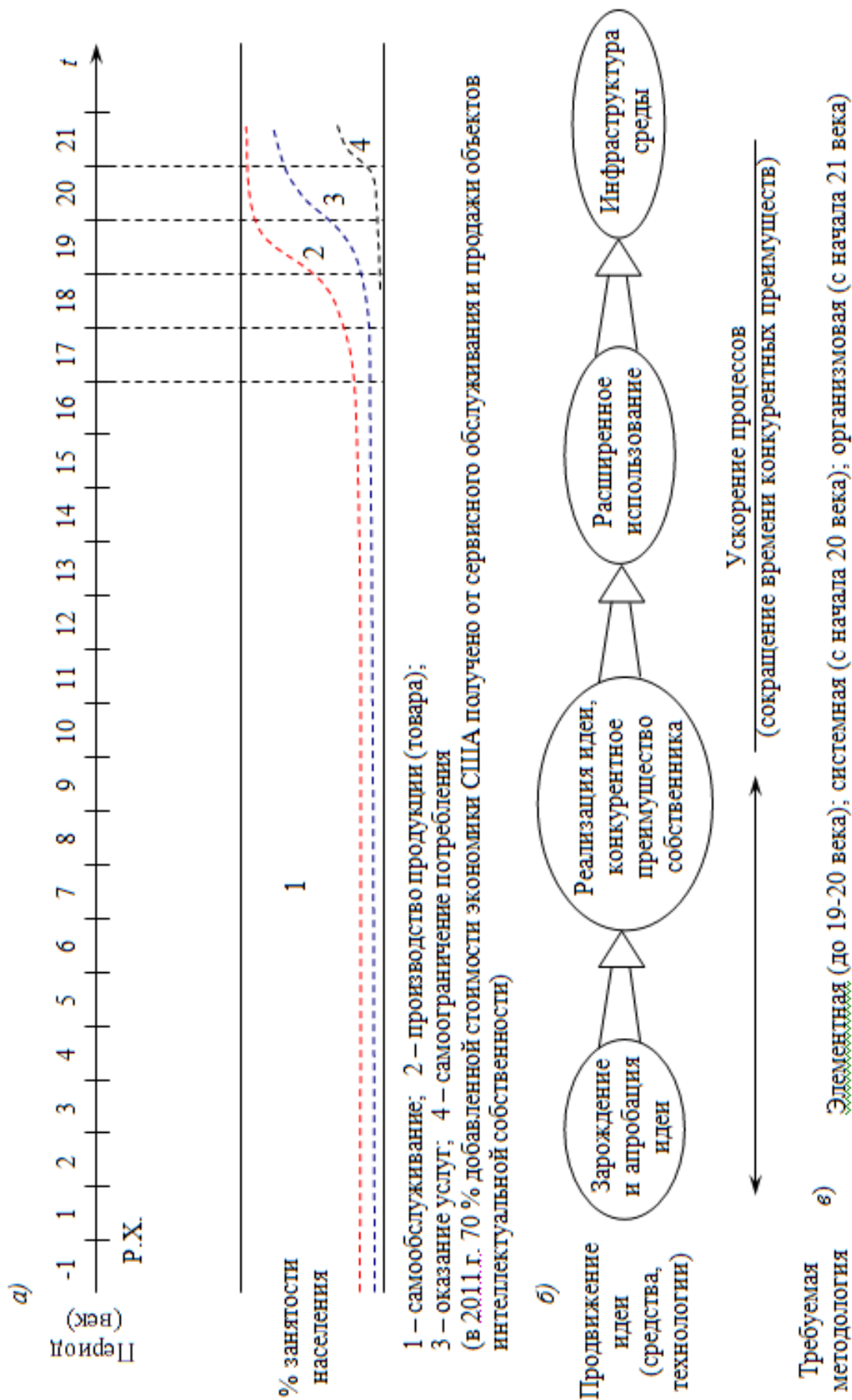


Рис. 2. Качественная иллюстрация динамики развития человечества по мере появления новых технических решений



В настоящее время различают следующие виды облаков: частные, групповые, публичные (общедоступные) и гибридные. **Частные** (private cloud) – это облака, обслуживающие одну организацию (фирму), имеющую или создающую свой дата-центр (центр обработки данных, ЦОД). **Групповые** (community cloud) – облака, распределенные между несколькими организациями. **Публичные** – представляющие услуги организациям и частным лицам на базе инфраструктуры провайдера облаков, когда специализированная организация предоставляет доступ широкому кругу клиентов. **Гибридные** – это облака, совмещающие частные, групповые и публичные, например, когда часть функций реализуется в частном облаке, а часть – в публичном.

По-видимому, первым мысль о том, что «со временем вычисления могут превратиться в один из видов коммунальных услуг» высказал в 1960 г. Джон Маккарти /John McCarthy/, известный американский ученый, автор термина «искусственный интеллект» [3]. Хотя сам термин «облачные вычисления» появился только в 2006 г., а март 2006 г. принято считать официальным месяцем его рождения, ему предшествовали идеи и разработки Интернета, виртуализации, сервис-ориентированные архитектуры (COA, SOA) ПО. Как можно было ожидать согласно изложенному ранее, в 2007 г. и, особенно, в 2008 г. бурно обсуждались разные предложения и фантазии вокруг вопроса, являются и могут ли стать облачные и связанные с ними технологии перспективной услугой после электричества, газа, воды, телефона.

В 2009 г. началось бурное развитие облачных средств и технологий, а для 2010–2012 гг. характерно «великое» переселение (постепенный перевод) существующих ИТ, точнее приложений и данных, в облака по трем направлениям: централизованных ЦОД в частные облака; из частных облаков в гибридные и далее публичные; из публичных в частные.

По прогнозам специалистов доля облачных вычислений в ЦОД составит в 2014 г. – 51 %, а в 2015 – 76 %, а объем рынка облачных вычислений в 2014 г. составит в Северной Америке 18 млрд. \$, в Западной Европе – 10, Японии – около 2-х.

При этом принципы работы облачных решений сводятся к разным категориям сервисов (услуг):

- Инфраструктура как сервис (Infrastructure-as-a-Service, IaaS, InSaaS), когда в аренду сдается инфраструктура, т.е. пользователю предоставляется экземпляр виртуального сервера с уникальным IP-адресом и часть системы хранения данных;
- Платформа в качестве сервера (PaaS) – предоставление пользователю готовой к работе виртуальной платформы, состоящей из одного или нескольких виртуальных серверов с операционными системами (ОС) и специализированными приложениями – облачных сред;
- Программное обеспечение в качестве сервиса (Soft-as-a-Service, SaaS) – предоставление пользователю возможности пользоваться ПО как услугой и делать это удаленно через Интернет;
- Приложение как сервис (Application-as-a-Service, AaaS);
- Данные (DaaS) и Информация (InfaaS) как сервис – не покупать, не накапливать, не хранить, а временно пользоваться ими как услугой.

Наконец, отметим отличительные особенности облачных сервисов. Это:

- режимность, означающая предоставление набора ресурсов по требованию, по запросу;
- эластичность – способность масштабироваться (scalability), растягиваться и сжиматься;
- доступность через сеть;

- оплата по типу «плата за использование»;
- независимость от элементов управления инфраструктурой;
- наличие контроля за использованием;
- самообслуживание;
- динамичность (agelity);
- управляемость (governance);
- коммунальность (многоарендность /multi-tenancy/);
- наличие самых современных средств, технологий, кадров;
- эффективная утилизация.

### **5. Методологические основы тенденций**

Важнейшим моментом, который следует отразить, рассматривая ускорение тенденций развития человечества, является изменение методологического сопровождения, способствовавшего порождению, развитию новшеств и превращению их в инфраструктурные решения.

Как показывает анализ, методологии характерна скорость изменения, сходная изменениям новшеств и перераспределению сфер занятости населения (см. рис. 2).

Вплоть до начала 20 века методологической основой познания любых объектов природы был элементный (элементаристский) аналитико-синтезовый подход. Его результатом являлись прежде всего аналитические знания. Практически во всех научных дисциплинах познание шло путем выделения отдельных элементов объекта и разложением решаемой задачи на более простые. После решения простых ставились и решались более сложные задачи, касающиеся исследуемого объекта. Так формировались синтетические знания, объединяющие ранее полученные знания об объекте, как в данной научной дисциплине, так и в других естественных и гуманитарных.

Создание в 19-м и 20-м веках сложных объектов, влияющих на окружающий мир, привело к системной методологии. Исследователи стали модельно рассматривать объекты как системы [3, 6], когда исследования направлялись на объект как на целое, на его «внутро», окружение, встроенность в окружение, на его историю, эволюцию и т.д. Системная методология, возникшая из реальных потребностей, позволила решить многие задачи, которые не решались или не очень эффективно решались в рамках элементного подхода. Однако в настоящее время ситуация резко меняется. Дело в том, что различные объекты, как и мировое хозяйство, сообщество, человечество и природа, в целом, рассматриваемые как система, в условиях либерального рыночного капитализма до сих пор эффективно развивались при наличии внешних ресурсов, которые можно было подкачивать в каждую систему. Например, колонизацией или завоеванием других стран, новых рынков сбыта, привлечением новой рабочей силы и т.д. В настоящее же время наш мир и его технические инфраструктурные системы все острее чувствуют ограниченность внешних, да и собственных, ресурсов, переходя тем самым от открытых систем к организмовым. В них все элементы связаны, живут в едином ритме, имеют явное разделение и частичное дублирование функций в организме как целом, равноважны и т.д. А это требует перехода от сложившейся системной методологии к организмовой. Примером такой перестройки является появление трибологии, изучающей процессы трения, и роботехники, ориентированных на организмовое применение процессов трения в узлах машин на основе самоорганизации, как это имеет место, например, в живых организмах (суставы скелетов человека и животных), в которых трение эффективно используется природой.

Видимо следующим важным этапом в развитии ИТ-технологий будет решение задач, связанных с обработкой Больших Данных. По сведениям фирмы Gartner в 2012 г.

затраты на них составили в мире \$ 28 млрд., а в 2013 г. ожидается \$ 34 млрд. К 2015 г. в мире в этой отрасли появится 4,4 млн. рабочих мест, из них 1,9 млн. в США.

### Литература

1. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего // С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 288 с.
2. Губарев В.В. Перспективные подходы в менеджменте / В.В. Губарев // Менеджмент в России и за рубежом, 2009, № 3. – С. 3–16.
3. Губарев В.В. Информатика: прошлое, настоящее, будущее / В.В. Губарев. – М.: Техносфера, 2011. – 432 с.
4. Карр Н.Д. Блеск и нищета информационных технологий: Почему ИТ не являются конкурентным преимуществом / Николас Дж. Карр. – М.: ИД «Секрет фирмы», 2005. – 176 с.
5. Открытые системы, 2012, № 9. –С. 8.

### АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Гужов В.И., Ильиных С.П., Кузнецов Р.С., Бердников П.А.  
Новосибирск, НГТУ

Рассматривается аналитическое решение интерференционной задачи расшифровки при неизвестных величинах фазовых сдвигах. Решение предназначено для анализа данных в интерференционных системах с пошаговым фазовым сдвигом.

#### **An analytical solution of the interference task. Guzhov V., Ilinykh S., Kuznetsov R., Berdnikov P.**

Is considered the analytical solution of the interference tasks decrypt in unknown values of the phase shifts. The solution is intended for the analysis of the data in the interference systems with step-by-step phase shift.

1. Введение. Наибольшее применение при построении интерференционных систем в последние годы получил метод фазовых сдвигов, в котором интерференционные картины получают изменяя фазу опорной волны на некоторые известные значения (пошаговая или фазо-сдвигающая интерферометрия, phase-sampling, phase-shifting interferometry) [1]. Основной трудностью при анализе интерферограмм в данном методе является определение точного значения вносимых фазовых сдвигов. В статье приводится аналитическое решение задачи расшифровки, не требующее априорного знания величины фазовых сдвигов.

2. Решение задачи расшифровки. Интенсивность в каждой точке интерферограммы можно представить уравнением

$$I(x, y) = A(x, y) + B(x, y)\cos(\Phi(x, y) + \Delta\Phi), \quad (1)$$

где  $A(x, y)$  - средняя яркость,  $B(x, y)$  - амплитуда интерференционных полос,  $\Phi(x, y)$  - поле фазовых разностей интерферирующих оптических полей (полная фаза).

$$\Phi(x, y) = \phi(x, y) + 2\pi N(x, y), \quad (2)$$

где  $N(x, y)$  - число целых периодов  $2\pi$  укладывающихся в полную оптическую разность фаз (полную фазу)  $\Phi(x, y)$  и зависящих от геометрии схемы

интерферометра, и от длины волны излучения лазера  $\lambda$ ,  $\phi(x, y)$  - локальная фаза соответствующая дробной части полной фазы  $\Phi(x, y)$ .  $\Delta\Phi$  вносимый фазовый сдвиг.

Если взять две точки на интерферограмме с координатами  $(x_A, y_A)$  и  $(x_B, y_B)$  при четырех фазовых сдвигах получим систему из десяти уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1(x_A, y_A) = A(x_A, y_A) + B(x_A, y_A) \cos(\phi(x_A, y_A)) \\ I_2(x_A, y_A) = A(x_A, y_A) + B(x_A, y_A) \cos(\phi(x_A, y_A) + \Delta\Phi_1) \\ I_3(x_A, y_A) = A(x_A, y_A) + B(x_A, y_A) \cos(\phi(x_A, y_A) + \Delta\Phi_2) \\ I_4(x_A, y_A) = A(x_A, y_A) + B(x_A, y_A) \cos(\phi(x_A, y_A) + \Delta\Phi_3) \\ I_5(x_A, y_A) = A(x_A, y_A) + B(x_A, y_A) \cos(\phi(x_A, y_A) + \Delta\Phi_4) \\ I_6(x_B, y_B) = A(x_B, y_B) + B(x_B, y_B) \cos(\phi(x_B, y_B)) \\ I_7(x_B, y_B) = A(x_B, y_B) + B(x_B, y_B) \cos(\phi(x_B, y_B) + \Delta\Phi_1) \\ I_8(x_B, y_B) = A(x_B, y_B) + B(x_B, y_B) \cos(\phi(x_B, y_B) + \Delta\Phi_2) \\ I_9(x_B, y_B) = A(x_B, y_B) + B(x_B, y_B) \cos(\phi(x_B, y_B) + \Delta\Phi_3) \\ I_{10}(x_B, y_B) = A(x_B, y_B) + B(x_B, y_B) \cos(\phi(x_B, y_B) + \Delta\Phi_4). \end{array} \right. \quad (3)$$

Далее для упрощения изложения индексы  $(x, y)$  опускаем.

Обозначим интенсивности  $I_1 - I_5$  как  $x_1 - x_5$ , интенсивности  $I_6 - I_{10}$  как  $y_1 - y_5$ , а уровни средней яркости  $A(x_A, y_A)$  и  $A(x_B, y_B)$  -  $x_0$  и  $y_0$  соответственно. С учетом принятых обозначений система уравнений (3) примет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = x_0 + B_1 \cos(\phi_1) \\ x_2 = x_0 + B_1 \cos(\phi_1 + \Delta\Phi_1) \\ x_3 = x_0 + B_1 \cos(\phi_1 + \Delta\Phi_2) \\ x_4 = x_0 + B_1 \cos(\phi_1 + \Delta\Phi_3) \\ x_5 = x_0 + B_1 \cos(\phi_1 + \Delta\Phi_4) \\ y_1 = y_0 + B_2 \cos(\phi_2) \\ y_2 = y_0 + B_2 \cos(\phi_2 + \Delta\Phi_1) \\ y_3 = y_0 + B_2 \cos(\phi_2 + \Delta\Phi_2) \\ y_4 = y_0 + B_2 \cos(\phi_2 + \Delta\Phi_3) \\ y_5 = y_0 + B_2 \cos(\phi_2 + \Delta\Phi_4) \end{array} \right. \quad (4)$$

Если изменять фазовый сдвиг  $\Delta\Phi$  непрерывно, то точка на плоскости  $(x, y)$  опишет эллиптическую траекторию, то есть, любая точка, соответствующая системе уравнений (3) принадлежит некоторому эллипсу, удовлетворяющему следующему

уравнению

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0 \quad (5)$$

С учетом данного положения можно сократить число неизвестных в системе уравнений (4) приведя центр эллипса в начало координат.

Координаты центра эллипса  $x_0$  и  $y_0$  находим, решая систему уравнений

$$\begin{cases} a_{11}x_0 + a_{12}y_0 = a_{13} \\ a_{21}x_0 + a_{22}y_0 = a_{23} \end{cases}, \quad (6)$$

$$x_0 = -\frac{\begin{vmatrix} a_{13} & a_{12} \\ a_{23} & a_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}}, \quad (7)$$

$$y_0 = -\frac{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{13} \\ a_{12} & a_{23} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}}$$

После исключения переменных  $x_0$  и  $y_0$  система уравнений (4) примет вид

$$\begin{cases} x_1 = B_1 \cos(\phi_1) \\ x_2 = B_1 \cos(\phi_1 + \Delta\Phi_1) \\ x_3 = B_1 \cos(\phi_1 + \Delta\Phi_2) \\ x_4 = B_1 \cos(\phi_1 + \Delta\Phi_3) \\ x_5 = B_1 \cos(\phi_1 + \Delta\Phi_4) \\ y_1 = B_2 \cos(\phi_2) \\ y_2 = B_2 \cos(\phi_2 + \Delta\Phi_1) \\ y_3 = B_2 \cos(\phi_2 + \Delta\Phi_2) \\ y_4 = B_2 \cos(\phi_2 + \Delta\Phi_3) \\ y_5 = B_2 \cos(\phi_2 + \Delta\Phi_4) \end{cases}. \quad (8)$$

Выразим синус фазового угла в первой точке через значения интенсивностей с различными фазовыми сдвигами

$$B_1 \sin(\phi_1) = \frac{x_2 - x_1 \cos(\Delta\Phi_1)}{\sin(\Delta\Phi_1)} \quad (9)$$

$$B_1 \sin(\phi_1) = \frac{x_3 - x_1 \cos(\Delta\Phi_2)}{\sin(\Delta\Phi_2)}$$

И, вычитая, их друг из друга получим

$$x_1 \sin(\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2) + x_2 \sin(\Delta\Phi_1) - x_3 \sin(\Delta\Phi_2) = 0,$$

В векторном виде уравнение (9) примет вид для первой точки

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin(\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2) \\ \sin(\Delta\Phi_2) \\ -\sin(\Delta\Phi_1) \end{pmatrix} = 0, \quad (10a)$$

аналогично, для второй точки получим

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin(\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2) \\ \sin(\Delta\Phi_2) \\ -\sin(\Delta\Phi_1) \end{pmatrix} = 0. \quad (10б)$$

Исключая из выражений (10) член  $\sin(\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2)$  имеем

$$\left( \frac{x_2}{x_1} - \frac{y_2}{y_1} \right) \sin(\Delta\Phi_2) - \left( \frac{x_3}{x_1} - \frac{y_3}{y_1} \right) \sin(\Delta\Phi_1) = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\sin(\Delta\Phi_2)}{\sin(\Delta\Phi_1)} = \frac{x_1 y_3 - x_3 y_1}{x_1 y_2 - x_2 y_1}, \quad (12)$$

Для других фазовых сдвигов отношение синусов имеет вид

$$\frac{\sin(\Delta\Phi_i)}{\sin(\Delta\Phi_j)} = \frac{x_1 y_i - x_i y_1}{x_1 y_j - x_j y_1} = s_{ij}. \quad (13)$$

Из выражения (9) следует

$$\sin(\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2) B_1 \sin(\phi_1) + x_1 \cos(\Delta\Phi_2) - x_3 \cos(\Delta\Phi_1) = 0, \quad (14)$$

$$\sin(\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2) B_2 \sin(\phi_2) + y_1 \cos(\Delta\Phi_2) - y_3 \cos(\Delta\Phi_1) = 0. \quad (15)$$

объединяя выражения (14) и (15) получим

$$\sin(\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2) \frac{x_2 - x_1 \cos(\Delta\Phi_1)}{\sin(\Delta\Phi_1)} + x_1 \cos(\Delta\Phi_2) - x_3 \cos(\Delta\Phi_1) = 0. \quad (16)$$

Раскрывая выражение (16) получим

$$\cos(\Delta\Phi_1) s_{21} - \cos(\Delta\Phi_2) - s_{21} \frac{x_2}{x_1} + \frac{x_3}{x_1} = 0, \quad (17)$$

$$\cos(\Delta\Phi_1) s_{21} - \cos(\Delta\Phi_2) + b_1 = 0, \quad (18)$$

где  $b_1 = s_{21} \frac{x_2}{x_1} - \frac{x_3}{x_1}$ .

Выражение (18) можно переписать в виде

$$c_1 s_{21} - c_2 + b_1 = 0 \quad (19)$$

С другой стороны, возводя в квадрат отношение синусов углов фазовых сдвигов, и, выражая синус через косинус, получим

$$s_{21} = \frac{s_2}{s_1} = \frac{\pm \sqrt{1 - c_2^2}}{\pm \sqrt{1 - c_1^2}},$$

$$\frac{1-c_2^2}{1-c_1^2} - s_{21}^2 = 0 \quad \text{или} \quad c_1^2 s_{21}^2 - c_2^2 - s_{21}^2 + 1 = 0 \quad (20)$$

Из полученного выражения (20) и уравнения (19) получаем систему уравнений для нахождения косинусов углов сдвига

$$\begin{cases} s_{21}c_1 - c_2 + b_1 = 0 \\ s_{21}^2 c_1^2 - c_2^2 - s_{21}^2 + 1 = 0 \end{cases} \quad (21)$$

Решаем систему уравнений (21), выражая косинус второго угла фазового сдвига из первого уравнения системы  $c_1 = \frac{c_2 + b_1}{s_{21}}$  и подставляя его во второе уравнение:

$$(c_2 + b_1)^2 - (c_2^2 + s_{21}^2) + 1 = 0. \quad (22)$$

Графически решение уравнения (22) может быть представлено как пересечение гиперболы  $s_{21}^2 c_1^2 - c_2^2 - s_{21}^2 + 1 = 0$  с прямой  $s_{21}c_1 - c_2 + b_1 = 0$  (рис. 1). Штриховой линией показана область допустимых решений  $|c_1| \leq 1$  и  $|c_2| \leq 1$ . Данному условию удовлетворяет единственное решение уравнения (22)

$$c_1 = \frac{c_2 + b_1}{s_{21}}, \quad c_2 = \frac{s_{21}^2 - b_1 - 1}{2b_1} \quad (23)$$

Аналогично можно найти косинусы остальных углов фазовых сдвигов. Синусы углов фазовых сдвигов находим следующим образом:

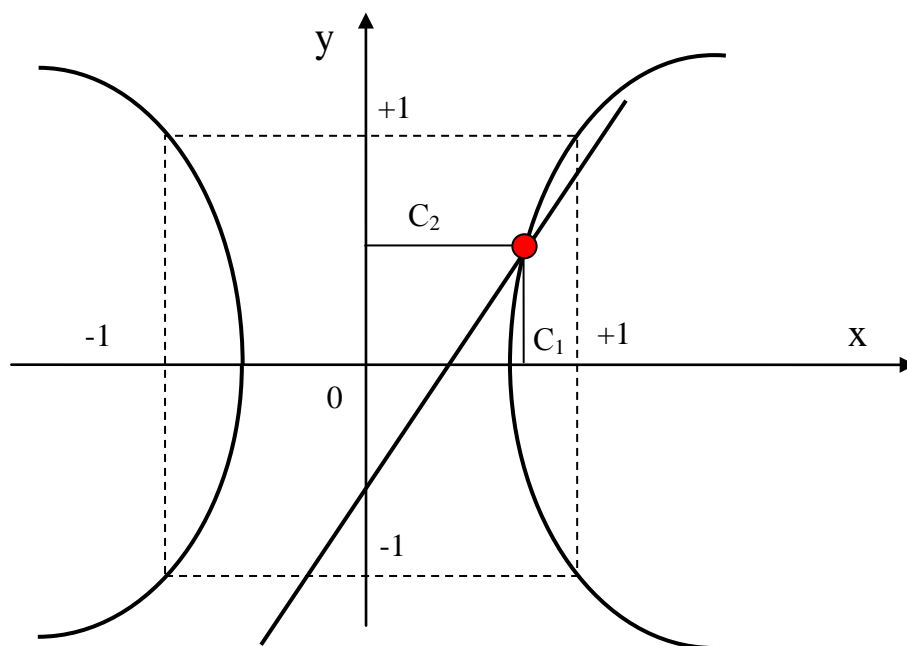


Рис 1. Решение системы уравнений (21)

- Выражаем синус первого угла фазового сдвига через значение его косинуса  $s_1 = \pm\sqrt{1-c_1^2}$ . Знак перед корнем выбирается равным знаку выражения  $x_1 y_2 - x_2 y_1$ .

- Остальные значения синусов углов фазовых сдвигов для согласования их знаков находим, подставляя найденное значение первого угла фазового сдвига в ранее найденные отношения синусов  $s_2 = s_{21}s_1$ ;  $s_3 = s_{31}s_1$   
 $s_4 = s_{41}s_1$  (24)

Для нахождения фазовых углов можно использовать одно из известных уравнений расшифровки, например:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \phi_1 &= \frac{(x_1 - x_2) + (x_1 - x_2)c_1 + (x_1 - x_2)c_2}{(x_1 - x_2)s_1 + (x_1 - x_2)s_2} \\ \operatorname{tg} \phi_2 &= \frac{(y_1 - y_2) + (y_1 - y_2)c_1 + (y_1 - y_2)c_2}{(y_1 - y_2)s_1 + (y_1 - y_2)s_2} \end{aligned} \quad (25)$$

3. Выводы. Получено аналитическое решение задачи расшифровки интерферограмм с пошаговым фазовым сдвигом, которое не требует априорного знания величины вносимых фазовых сдвигов.

### Литература

- [1] Hariharan P., Oreb B.F., Brown N. Digital phase-measurement system for real-time holographic interferometry // Optics Communication.- Vol.41.- №6.-1982.- pp.393-398  
 time holographic interferometry // Optics Communication.- Vol.41.- №6.-1982.- pp.393-398

## СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА НЕОДНОРОДНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ДЕРЕВЬЕВ НИТЕЙ

Гусев А.П.,  
 МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аннотация. Представлена система распределения вычислительной нагрузки на неоднородной вычислительной сети. Для разработки системы решались две основные проблемы. Во-первых, разработка алгоритма анализа структуры сети и вычислительной мощности узлов. Во-вторых, разработка алгоритма для анализа и разделения программы на блоки вычислений в соответствии с используемыми ресурсами и необходимой вычислительной мощностью. Далее, рассматривается структура программы использующей параллельные вычисления. Приводится описание процесса функционирования всей системы. Описывается протокол сетевого взаимодействия.

### Processing load distribution system on a heterogeneous computer network by trees threads. Gusev A. Bauman Moscow State University

Abstract. The processing load distribution system on heterogeneous computer network is presented. Two basic problems are solved by developers. First, network structure and nodes processing power analyzing algorithm was development. Second, program analysis and separation algorithm, which separate program into blocks of calculations in accordance with used resources and necessary computing power, was developed. Then, authors take a look on program structure using parallel computing. The whole system process description is presented. Described network protocol.



В современном мире, со столь быстро развивающимися технологиями, идет постоянная технологическая гонка, в этом есть свои плюсы и минусы. Развитие техники всегда приносит научные плоды, например, на сверхмощных суперкомпьютерах проводят моделирование физических явлений и разрабатывают новые технологии, используются нами повсеместно, невозможно представить надежные немецкие автомобили, самолеты или столь сложную космическую технику, без компьютерного моделирования. Однако столь стремительное появление новинок на рынке технологий, заставляет многие организации тратить поистине невероятные суммы на покупку нового оборудования и переобучение персонала для работы с ним.

Как вам возможно известно, то же самое происходит и в сфере программного обеспечения, появляются новые подходы к реализации алгоритмов, новые технологии программирования и важнейшей проблемой является многопоточное программирование. Этот вопрос настолько сложен, что и по сей день не имеет максимально точного решения, так как эта задача не только программирования, но и математики.

Однако каждый из нас имеет в своем доме компьютер, или возможно даже несколько. В среднем внутри каждого из них находится многопоточный процессор, возьмем для примера, что каждый имеет по одному четырехядерному процессору. Это означает, что в вашем доме находится около 3200 процессоров (имеется ввиду многоквартирный панельный дом), можно представить, какой вычислительный потенциал они имеют (около 175 TFlop/s, что составляет 1% от вычислительной мощности суперкомпьютера лидирующего в топ-500). Зачастую, вся эта вычислительная мощность не используется, но существуют способы максимально загрузить ресурсы с выгодой для каждого человека.

Для этого нами была разработана технология получившая название XMND (eXtreme Multi Node Divider). Для начала, рассмотрим общую структурную схему взаимодействия программ в нашей системе.

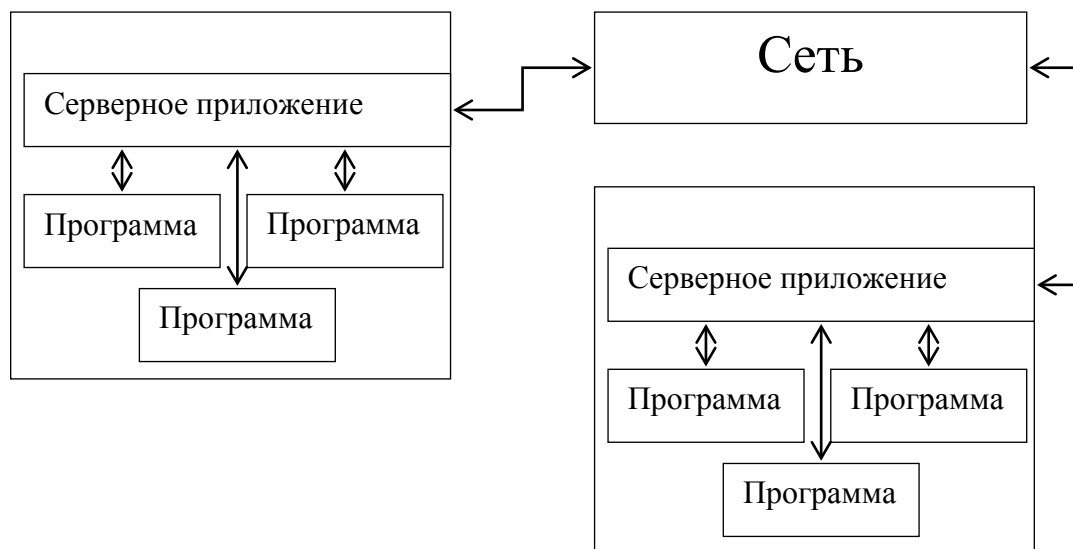


Рисунок 1. Структурная схема взаимодействия

Как видно из схемы, каждое программное средство обращается к серверному приложению, которое регулирует распределение заданий по узлам сети. Такое общее представление весьма схоже с известной технологией MPI (Message Passing Interface),

но эта технология занимает более высокий уровень, и покрывает два главных недостатка MPI: Поддержку неоднородной архитектуры, устойчивость к ошибкам и распределение вычислительной нагрузки.

Чтобы произвести процедуру распределения, системе необходимо иметь исполняемый код и блок данных необходимых для обработки. Здесь и кроются главные проектные проблемы, первая состоит в необходимости передачи исполняемого кода, а вторая в передаче входных параметров и вычисленных значений.

Рассмотрим ситуацию, когда на стартовой машине запускается приложение. Чтобы продемонстрировать работу системы, ниже на рисунке, приведен снимок исполняемого кода на языке C++.

Для начала приложение должно инициализироваться. В понятие инициализации XMND входит создание сокетов и инициализация систем синхронизации, также система отправляет локальному узлу запрос на соединение с сервером вычислений. От сервера вычислений должен прийти идентификационный номер, если в течение времени ожидания программа такого не получает, она переходит в режим самостоятельного выполнения.

```

1 #include "stdafx.h"
2 #include "controller.h"
3
4 int _tmain(int argc, _TCHAR* argv[])
5 {
6     int string_size = 0;
7     int id = 0;
8     initXMND(argc,argv);
9     if(id = nareaXMND("nothing\0",0))
10    {
11        getXMND(id,"nothing\0",string_size);
12        for (int i=0;i<100;i++)
13        {
14            if(id = nareaXMND("nothing\0",0))
15            {
16                getXMND(id,"nothing\0",string_size);
17                //some code
18                sendXMND(id,"nothing\0",0);
19            }
20            dividerXMND(id,"nothing\0",string_size);
21        }
22        sendXMND(id,"nothing\0",0);
23    }
24    dividerXMND(id,"nothing\0",string_size);
25    releaseXMND();
26    return 0;
27 }
28 |
29

```

Рисунок 2. Пример использования в коде

Следующим шагом является выполнение секции помеченной пользователем, как вычисляемая, посредством разделения ресурса. Для организации обработки таких блоков была использована конструкция `if`, это временная мера, чтобы избежать внесения изменений в процесс компиляции программы.

Внутри функции `nareaXMND`, программа, прежде всего, проверяет режим вычислений: самостоятельный или с разделением. Если процесс происходит с разделением, программа посылает запрос к локальному серверу вычислений, для сверки своего идентификатора с тем, который приписан к блоку. Если он совпадает, программа переходит внутрь, если нет, блок ожидает своей очереди выполнения на сервере вычислений.

В качестве параметра функции `nareaXMND` передается массив байтов и размер массива, он может быть принят внутри блока вычислений функцией `getXMND` через сервер вычислений.

Вычисленные данные в свою очередь передаются функцией `sendXMND` и могут быть приняты вызовом функции `dividerXMND`, которая принимает в качестве параметра идентификатор блока и будет ожидать его завершения в случае вызова.

При такой структуре приложение будет выполняться так называемым деревом нитей, схема процессов и их участков исполнения представлена на рисунке.

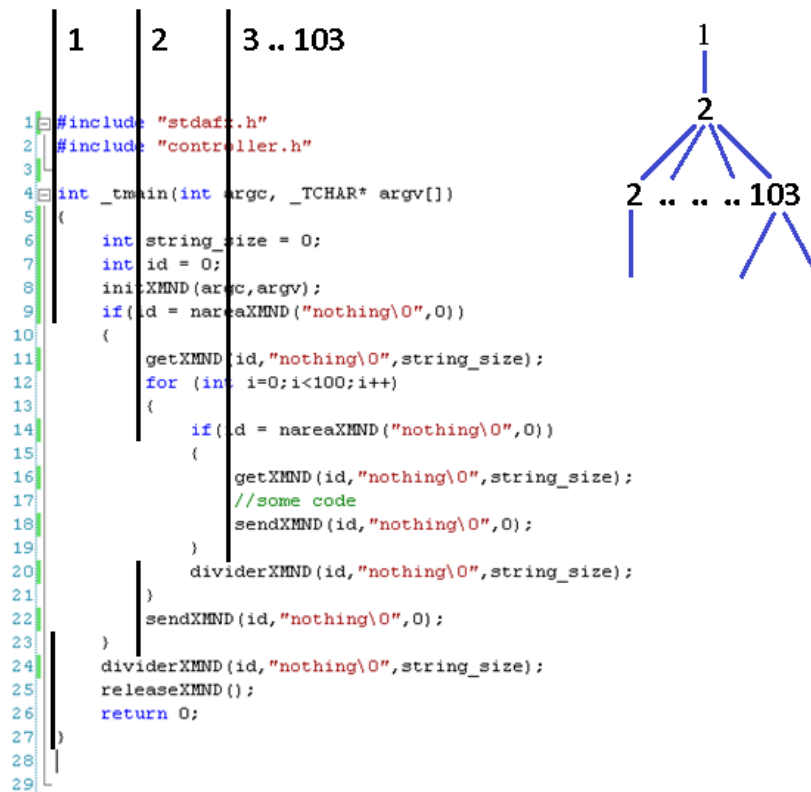


Рисунок 3. Схема выполнения кода в процессах

Распределением нитей вычислений занимается уже не раз, упомянутый нами сервер вычислений. Для примера функционирования используемого алгоритма возьмем неоднородную вычислительную систему, представленную на рисунке 4.Б.

Модули сканируют определенную конфигурацией порт каждого компьютера в сети, и в случае обнаружения аналогичного модуля, сохраняют его в карте сети со средним временем, полученным с помощью команды `ping`, и значении скорости передачи данных, запуская соответствующий тест.

Следующим шагом каждого модуля является минимизация полученного дерева сети, с определением коммутационных групп и реконфигурации сети (Рис. 4.А), оставляя взаимодействие между группами узлов соответствующим условию:

$$\max a \cdot \langle \text{производительность} \rangle + b \cdot \langle \text{скорость сети} \rangle + c \cdot \langle \text{интервал } ping \rangle, \text{ где } a, b, c \text{ – коэффициенты задаваемые конфигурацией.}$$

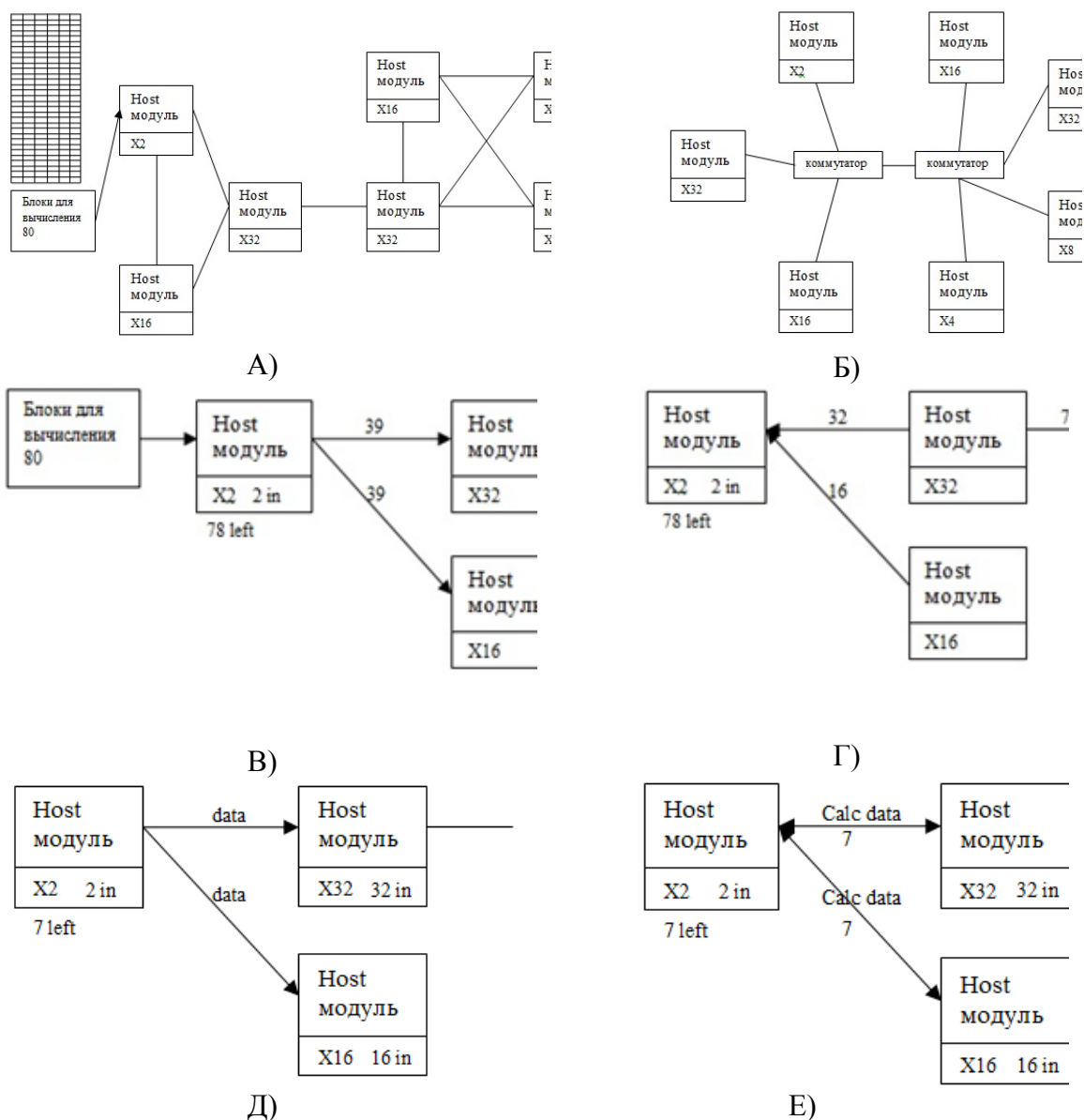


Рисунок 4. Этапы работы предложенного алгоритма распределения

При поступлении на вход блока вычислений (80 блоков) *host*-модули начинают процедуру согласования распределения задач:

1. Резервирование блоков для самостоятельного вычисления
2. Рассылка запроса на вычисление оставшихся блоков по таблице вычислителей через промежутки времени (Рис 4.В).
3. Пересылка запрошенным вычислительным модулем согласия на вычисление, при наличии свободных мощностей и запроса на вычисление следующим вычислительным узлам (Рис 4.Г).
4. Получение согласия на вычисление и передача входных данных (Рис 4.Д).
5. Вычисление данных починенным узлом.
6. Пересылка вычисленных данных узлу-источнику, либо назначенному узлу (Рис 4.Е).
7. Повторение операций.

Система, использующая данный алгоритм, имеет отклонение от максимальной производительности не превышающее 11%, которые теряются на задержки перед запуском процесса для передачи информации по сети.

В качестве завершения обзора разрабатываемой нами технологии, приведем таблицу запросов сервера и протокол его взаимодействия.

Команда	Параметры	Ответ	Описание
“S”	<S>< Порт><Тип вычислений><Данные исполняемого кода>	<Идентификатор процесса>	Запрос старта вычислений
“B”	<B><Общая оценка><Количество точных оценок><Массив точных оценок>		Маячок сетевых узлов
“H”	<H><Идентификатор области>	<Идентификатор процесса>	Запрос принадлежности области к процессу
“R”	<R><Порт><Количество блоков><Тип вычислений><Идентификатор процесса><Массив инициализации>	“A”	Запрос на вычисление блока
“A”	<A><Количество блоков><Идентификатор процесса>	“C” “D”	Подтверждение о старте вычислений
“C”	<C><Идентификатор процесса><Массив с данными кода>		Пересылка исходного кода
“D”	<D><Идентификатор процесса><Массив данных>		Пересылка данных
“K”	<K><Идентификатор процесса><Массив вычисленных данных>		Пересылка вычисленных данных

### Литература

1. B. Wilkinson and M. Allen. Parallel Programming Techniques & Applications Using Networked Workstations & Parallel Computers, 2nd ed. Toronto, Canada: Pearson, 2004.
2. F. Gebali. Analysis of Computer and Communication Networks. New York: Springer, 2008.
3. T.G. Lewis and H. El - Rewini. Introduction to Parallel Computing. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992.
4. B. Burke. NVIDIA CUDA technology dramatically advances the pace of scientific research. [http://www.nvidia.com/object/io\\_1229516081227.html?\\_templated=320](http://www.nvidia.com/object/io_1229516081227.html?_templated=320), 23.09.2012.
5. Cilk Arts. Smooth path to multicores. <http://www.cilk.com/>, 26.09.2012.
6. OpenMP. OpenMP: The OpenMP API specification for parallel programming. <http://openmp.org/wp/>, 2009.

7. C.E. Leiserson. The Cilk + + Concurrency Platform. Journal of Supercomputing, 51 (3), 2009.
8. MIP Forum. Message passing interface forum. <http://www.mpi - forum.org/>, 6.09.2012.
9. R.D. Blumofe and C.E. Leiserson. Scheduling multithreaded computations by work stealing. Journal of the ACM (JACM), 46 (5), 1999.
10. OpenMP. Summary of OpenMP 3.0 c/c + + syntax. <http://openmp.org/mp - documents/OpenMP3.0 -SummarySpec.pdf>, 23.09.2012.
11. Maui Administrator's Guide. <http://www.adaptivecomputing.com/resources/docs/maui/pdf/mauiadmin.pdf>, 2.10.2012.
12. TORQUE Administrator Manual. <http://www.clusterresources.com/torquedocs21/>, 3.10.2012.

## THE PROBLEM OF CONTROL FOR MULTIROBOT SYSTEMS

Dedkov V.A., Kirsanov M.N.

*Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia*

We consider the use of artificial intelligence (ant colony optimization algorithm and simulated annealing algorithm) in the “problem of multirobot system visiting the assigned targets on the plane” using an inversion of algorithm. We also compare these algorithms.

### 1. Introduction

Swarm robotics is used in problems where the use of a single robot is ineffective or impossible.

One example of swarm robotics is mine clearing a large area. May be situations where it is desirable to perform the operation as soon as possible. It is clear that a group of robots will do it better than a single robot.

From the described problem occurs following particular problem: the multi-robot system must visit all targets while minimizing some of the parameters for the selected criteria.

In this paper we examine methods of artificial intelligence (ant colony optimization algorithm and simulated annealing algorithm) in control for multirobot systems in cases, where robots and targets are distributed on a horizontal rectangular field randomly and uniformly, depending on the various initial conditions of the problem (the number of robots and the number of targets).

The robot was given the task to visit all targets with minimal total path length and minimal total rotation angle. Robots are modeled by points.

### 2. Research methods

For research we model the behavior of a multi-robot system on the plane via the program written in the programming language GNU Octave.

On a rectangular field, we randomly placed robots (the larger diameter of the circle) and the targets (the smaller diameter of the circle) (Fig. 1).

We introduce a number of assumptions: the trajectory of the robot is polygonal line, the robots move with the same constant speed, at the turning points (at nodes of polygonal line) robot turns quickly, robots do not collide with each other, there is no obstacles to their movement, objects and robots are geometric points.

#### 2.1. Description of research

Experiments were performed for

- 5 and 25 robots
- 10, 25, 50, 75 and 100 targets

on the field with size 100x100, with a single robot's step 1.5.

We performed 3 experiments for every possible case, and then calculated the average value of the total path length and the total rotation angle of all robots. We entered data into the table and used it to plot.

All experiments were performed for two cases: the search for targets with the *simulated annealing* algorithm [1, 2] (SA) and the search for targets with the *ant colony optimization* algorithm [3, 4] (ACO).

The mean values of total paths length and rotation angles were plotted.

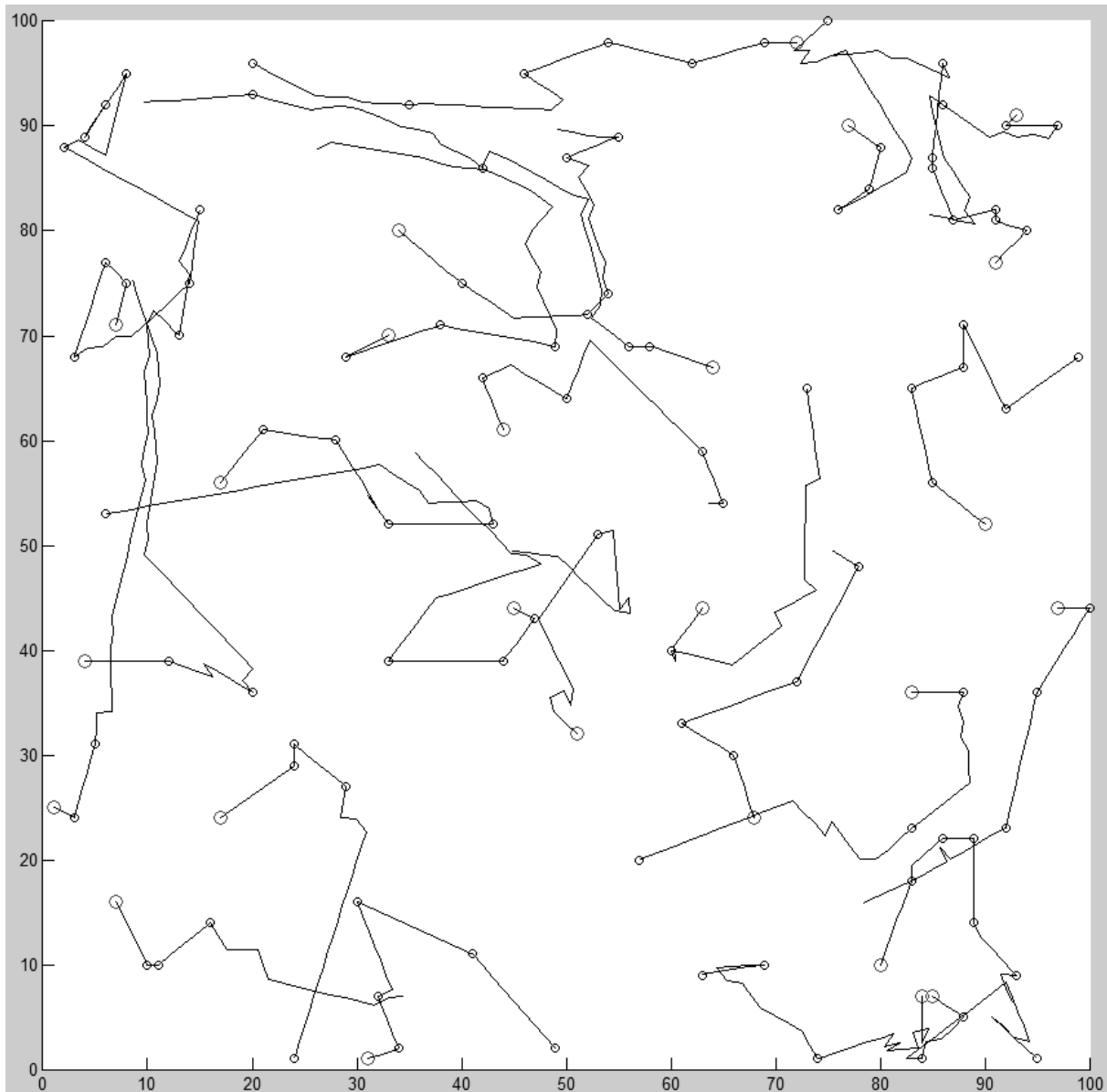


Fig. 1 Screenshot of the display window of the program

### 3. Description of how the program works

- I. The initial conditions of the problem are recorded in a data file (field size, the number of robots, the number of targets, location of robots and targets). The following steps are performed by reading the file.
- II. While the number of robots is less than or equal to the number of targets (the number of targets is reduced when the robot reaches the goal), the following steps are performed:
  1. For all robots a target is searched for one of the algorithms (ACO or SA, algorithm is specified when the program starts).
  2. Each robot walks to the targets in the cycle. It looks like all the robots are moving to the targets at the same time: full cycle is one step of the group. The number of targets is reduced by the number of reached targets (if there are any).
  3. If at least one of the robots from item II.2 reaches the target (note: item II.2 is the full cycle, not just one iteration), then we go to the item II.1 or to the item III (if the number of targets has become less than the number of robots). Otherwise, item II.2 continues.
- III. Now the number of robots is greater than the number of goals. For program robots become targets and goals become robots: this is the inversion of algorithm (in the input of the algorithms ACO or SA we send updated coordinates of robots and targets). It's all looks like the same as if the robots marching to targets. Subparagraphs of this item III repeat subparagraphs of item II. Item III is performed while the number of targets is greater than 0.

### 3.1. Description of the implementation of the simulated annealing algorithm

In the cycle of  $n$  iterations the following steps are performed:

- I. Two robots in the permutation are selected randomly.
- II. Swap these two robots in the permutation.
- III. Cycle through items in the permutation:
  1. Look for the shortest path for each robot in the permutation.
  2. Calculate the rotation angle for each robot in the permutation corresponding to the shortest path.
  3. Calculate the total path length  $S$  and the total rotation angle for current permutation.
- IV. If the total path length **and** the total rotation angle decreased:
  1. Set new coordinates (which are planning to return from the algorithm) for the robots in the values corresponding to the current permutation.
  2. Take the current permutation of robots as a new permutation.
- V. Otherwise, give a chance to the current permutation to become the new permutation:
  1. Calculate the probability of choosing the bad decision by the formula

$$P = e^{\frac{-(S - S_{min})}{T}}$$

( $S_{min}$  is the minimum total path length for the current iteration).

2. If  $P < P_0$ , where  $P_0$  is a random number, we take the current permutation of robots as a new permutation.
- VI. Each  $freq$ -th iteration (number  $freq$  is the input parameter of the algorithm) reduce parameter  $T$  (conventional temperature) by the formula

$$T_{k+1} = \alpha T_k,$$

( $0 < \alpha < 1$  is also an input and controlled parameter of the algorithm).

### 3.2. Description of the implementation of the ant colony optimization algorithm



In the cycle of  $n$  iterations the following steps are performed:

- I. Two robots in the permutation are selected randomly.
- II. Swap these two robots in the permutation.
- III. Cycle through items in the permutation:
  1. Look for the “ACO-path” for each robot in the permutation, using the formula for the transition probability robot on the  $k$ -th iteration of the main loop, from its vertex  $i$  in the permutation to the vertex  $j$  in the list of targets.

$$P_{ij,k} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_m \tau_{im}^{\alpha} \eta_{im}^{\beta}}$$

here  $\tau_{ij}$  is amount of pheromone left by the robot at the interval  $[i, j]$ ;  $\eta_{ij}$  is the inverse of the length of the interval  $[i, j]$ ;  $\alpha, \beta$  are empirical coefficients. Function  $P_{ij,k}$  shows the robot number of vertex  $j$  to which it must go. Index  $m$  in the sum passes over all not to be passed vertices adjacent to  $i$ .

Thus, for a robot  $k, i$  we make list of probabilities, corresponding to the vertices to which the robot can go. More likely the robot will go to vertex which corresponds to a high probability  $P_{ij,k}$ .

2. Set the increment of pheromone corresponding to ACO-path for each robot

$$d\tau_{ij} := d\tau_{ij} + Q\eta_{ij}$$

(Parameter  $Q$  is scale constant of the order of route length; it is chosen proportionally to order of graph).

3. Calculate the rotation angle for each robot in the permutation corresponding to the “ACO- path”.
  4. Calculate the total path length and the total rotation angle for a current permutation.
- IV. If the total path length **and** the total rotation angle decreased:
1. Set new coordinates (which are planning to return from the algorithm) for the robots in the values corresponding to the current permutation.
  2. Take the current permutation of robots as a new permutation.
- V. Update the pheromones:
1. Adding new tracks

$$\tau_{ij} := \tau_{ij} + \gamma d\tau_{ij}$$

2. The evaporation of pheromone

$$\tau_{ij} := \tau_{ij}(1 - \gamma)$$

( $0 < \gamma < 1$  is an input and controlled parameter of the algorithm).

#### 4. Experimental results

The ACO-algorithm worked with the parameters  $\gamma = 0.7, \alpha = 2, \beta = 10$  on  $n = 100$  iterations.

The SA-algorithm worked with the parameters  $freq = 2, \alpha = 0.8$  on  $n = 60$  iterations.

Legend on the charts: **S** is the total distance traveled (sum paths traveled by each robot), **Ang** is the total rotation angle (angle sum, which turned each robot), and **N** is the

number of targets. On each of the plots we have two dependencies: for the simulated annealing algorithm (SA) and the ant colony optimization algorithm (ACO).

#### 4.1 Experimental results for 5 robots

Table 1. Total path length and the total rotation angle: results of experiments and mean values for 5 robots.

		ACO				SA			
Number of robots		No. of experiment				No. of experiment			
targets N	5	1	2	3	Average	1	2	3	Average
10	S	736,8355	971,3996	639,0395	782,4249	566,6406	857,1895	723,8573	715,8958
	Ang	22,2811	26,7688	22,9782	24,00937	12,5369	18,7415	22,7899	18,02277
25	S	1593,638	984,8524	1862,123	1480,204	1825,314	1013,134	1713,776	1517,408
	Ang	41,3433	40,8735	48,2675	43,49477	40,1048	38,7284	35,7485	38,1939
50	S	2854,536	2419,159	2952,242	2741,979	2778,902	2381,103	2983,893	2714,633
	Ang	92,2761	74,9021	92,9624	86,71353	64,8423	56,6347	66,7009	62,72597
75	S	3314,435	3069,247	3144,757	3176,146	2926,788	2544,885	3034,001	2835,225
	Ang	133,9688	107,3153	124,2778	121,854	92,3735	94,4691	99,1823	95,34163
100	S	4175,345	4353,957	3772,835	4100,712	3139,989	4064,414	3574,329	3592,911
	Ang	189,6303	177,9501	151,8882	173,1562	108,1721	124,3909	132,1661	121,5764

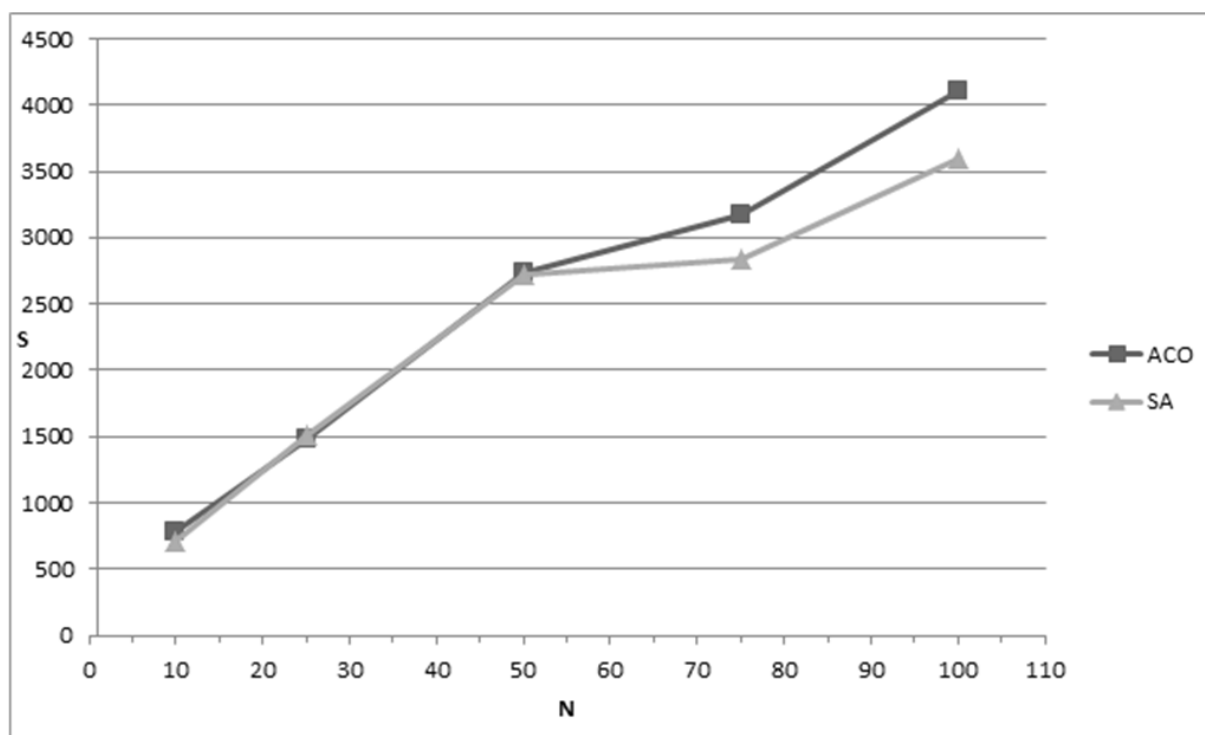


Fig. 2 Dependence of total path length of the number of targets for 5 robots.

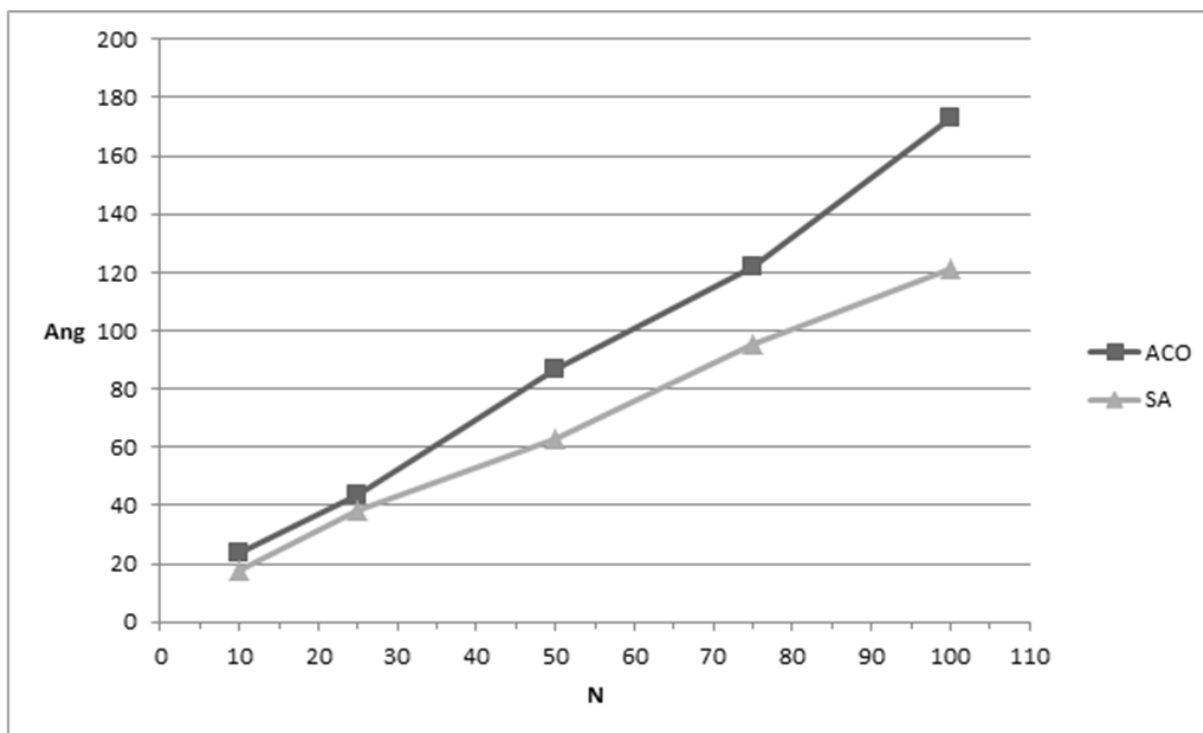


Fig. 3 Dependence of total rotation angle of the number of targets for 5 robots.

#### 4.2 Experimental results for 25 robots

Table 2. Total path length and the total rotation angle: results of experiments and mean values for 25 robots.

Number of robots	targets N	ACO				SA			
		No. of experiment				No. of experiment			
		1	2	3	Average	1	2	3	Average
10	S	317,2626	338,0249	225,7912	293,6929	266,637	338,0249	216,4415	273,7011
	Ang	20,1699	20,8818	17,7366	19,5961	11,8569	20,8818	17,8761	16,8716
25	S	3458,718	2686,216	2346,584	2830,506	2748,091	2138,69	2241,913	2376,231
	Ang	99,7665	88,416	93,5625	93,915	61,0333	74,1086	72,7973	69,31307
50	S	5968,922	4788,841	5489,151	5415,638	5323,425	4621,469	4667,049	4870,648
	Ang	200,4583	162,6331	183,8955	182,329	160,1766	132,2663	142,6417	145,0282
75	S	7306,886	10140,13	5144,956	7530,657	6557,238	8853,85	4595,715	6668,934
	Ang	319,4948	352,3869	270,6666	314,1828	248,7757	230,5737	191,6727	223,674
100	S	6086,838	7026,438	5928,91	6347,395	7665,114	5727,763	4728,469	6040,448
	Ang	293,6192	306,0733	241,7185	280,4703	244,9477	209,5243	203,4546	219,3089

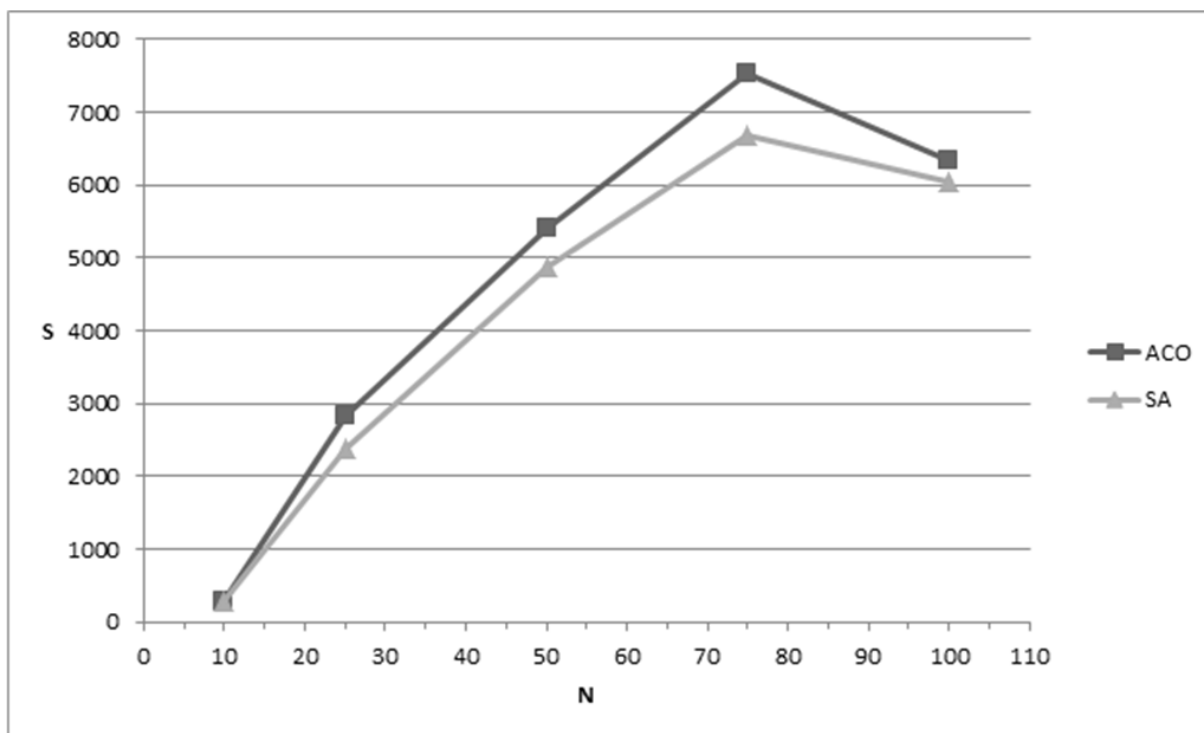


Fig. 4 Dependence of total path length of the number of targets for 25 robots.

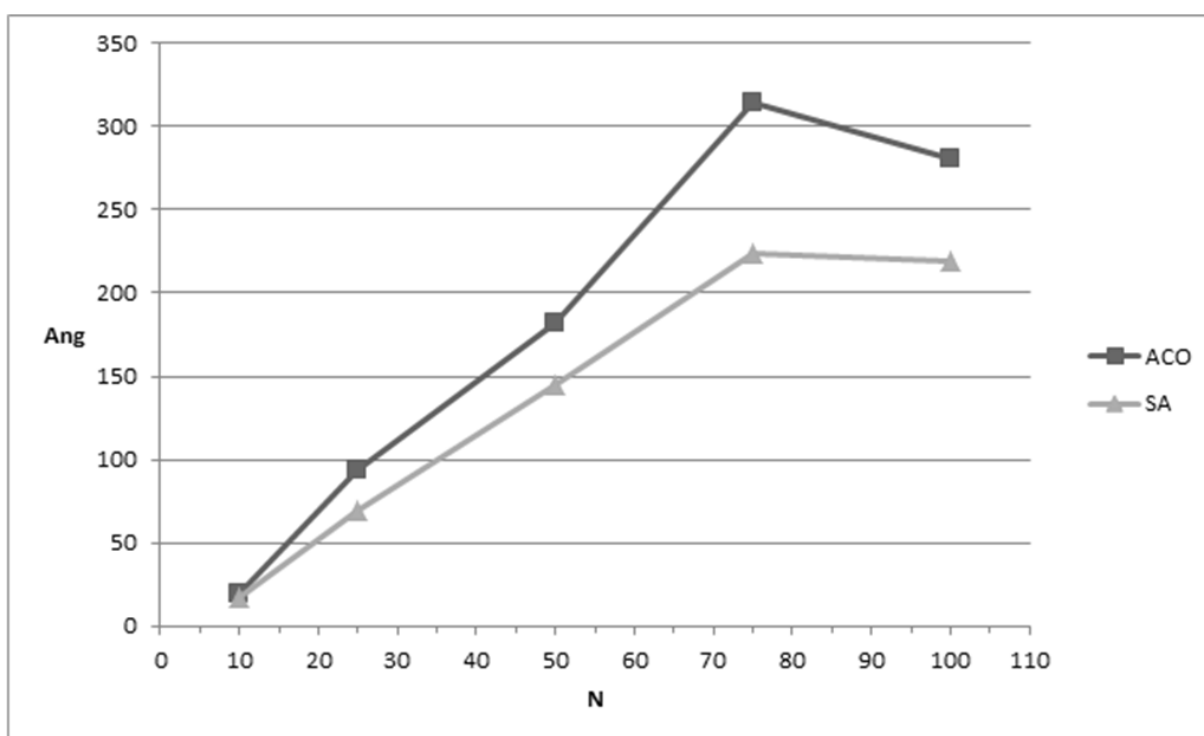


Fig. 5 Dependence of total rotation angle of the number of targets for 25 robots.

## 5. Conclusion

In almost all cases, the algorithm SA has shown better results than the algorithm ACO. An interesting feature can be seen for 25 robots. When the number of targets is more than 75, the total path length and the total rotation angle start to decrease. This strange at first sight result is explained by the fact that the density of the robots on the plane becomes large

enough, and each robot creates its own domain of targets: it does not have to go far for the targets.

### References

- [1] Kirkpatrick, S.; Gelatt, C. D.; Vecchi, M. P. Optimization by Simulated Annealing. *Science* 220 (4598) (1983): 671–680.
- [2] Černý, V. Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications* Vol. 45 (1985): 41–51.
- [3] M. Dorigo, M. Birattari & T. Stützle, Ant Colony Optimization: Artificial Ants as a Computational Intelligence Technique. *TR/IRIDIA/2006-023* (2006).
- [4] Kirsanov M. N. Graphs in Maple. *M.: Fizmatlit*, 2007. 87 – 90. (in rus).

## РАЗРАБОТКА БЛОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Егоров И.В., Внуков А.А.  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с масштабированием цифровых изображений, оптимизацией проводимых вычислений путём использования параллельной обработки на основе конвейера. Данный подход предполагает постепенную обработку изображения на нескольких параллельно работающих ступенях. Предложена модель блока масштабирования.

### **Development of the parallel digital image scaling block. Egorov I., Vnukov A.**

The theme of this article is digital image scaling and optimization of required computations by utilizing parallel piping. This method is based on step-by-step processing of image on a few parallel stages of the pipe. Proposed model of the scaling block.

Общая постановка задачи предполагает реализацию распараллеливания процесса масштабирования цифровых изображений. Пусть имеется цифровое изображение, полученное от некоего источника, размер которого необходимо изменить перед отображением. Современные алгоритмы масштабирования позволяют качественно и быстро масштабировать изображение, однако за счёт распараллеливания вычислений можно добиться повышения скорости обработки изображений, что особенно важно в критичных ко времени областях, таких как видеообработка.

Для обеспечения достаточной скорости обработки поступающего изображения, позволяющей непрерывное воспроизведение, блок масштабирования следует реализовать на основе ПЛИС. Блок установки и расчёта параметров видеообработки должен формировать управляющие данные для блока масштабирования, по которым он должен будет определиться с выполняемой операцией, объёмом памяти для хранения промежуточных данных и коэффициентами увеличения или уменьшения изображения. Так как видеопотоки, поступающие с различных источников, могут нуждаться в различной обработке, то блок установки и расчёта параметров видеообработки должен формировать и передавать данные для всех входных изображений независимо друг от друга. Так же этот блок должен быть полностью независим от самого блока масштабирования, то есть формировать общие данные о требуемой обработке входного потока данных, независимо от внутренней реализации блока масштабирования, при

этом установка параметров видеообработки должна быть реализована в соответствии с общей организацией блока масштабирования, расчёты же должны производиться полностью независимо от организации блока масштабирования. Данные о параметрах видеообработки данный блок должен получать с управляющих входов. В итоге, блок масштабирования должен получать от блока установки и расчёта параметров видеообработки только самые общие данные, а именно коэффициент изменения масштаба изображения. Для обеспечения гибкости в работе блока установки и расчёта параметров видеообработки, а также ввиду отсутствия сложных математических вычислений в процессе его работы, наиболее логично организовать его в виде программы, например службы, и являющейся промежуточным звеном между программной средой и техническими средствами. Такая реализация позволит также организовать модульную структуру, в которую, при необходимости, можно будет соответствующим образом внести изменения, для приведения в соответствие с потребностями системы, в которой она будет использоваться.

Структурно-функциональная схема блока масштабирования изображена на рисунке 1.

На этой схеме изображена структура блока масштабирования, а так же взаимодействие между блоками, входящими в состав подсистемы.

В состав подсистемы входят два основных блока: блок масштабирования и блок установки и расчёта параметров видеообработки. В состав первого также входят: блок интерполяции и блок децимации.

Функциональный состав блока установки и расчёта параметров видеообработки включает в себя:

- расчёт параметров видеообработки: приём пришедших от разных источников управляющих данных и расчёт необходимых для дальнейшего функционирования системы данных, таких как коэффициент масштабирования;
- установку параметров видеообработки: получение рассчитанных данных и передачу другим блокам необходимых им для работы данных, в понятном для них формате.

Функциональный состав блока масштабирования включает в себя:

- выбор операции: анализ параметров видеообработки и принятие решения, на их основе, о необходимости применения к входным данным операции интерполяции или децимации;
- выделение буфера требуемого объёма: расчёт, на основе соответственно параметров интерполяции или децимации, необходимого размера буфера для хранения поступающих на обработку данных, отправляемых на отображение выходных данных, а также временных данных, возникающих в процессе обработки, и выделение в памяти буфера необходимого размера;
- интерполяцию изображения: увеличения масштаба оригинального изображения, путём добавления в него новых пикселей по специальному алгоритму;
- децимацию изображения: уменьшения масштаба оригинального изображения, путём удаления из него части пикселей по специальному алгоритму;
- буферизацию обработанных данных: запись обработанных данных для отображения в выходной буфер, из которого их должна будет прочитать подсистема обмена данными.

При масштабировании одновременно нет нужды во всём изображении, так как оно обрабатывается последовательно блоками в несколько пикселей. Точное число необходимых для вычислений пикселей, а так же сложность вычислений целиком зависит от конкретного применяемого алгоритма. Таким образом, все алгоритмы

предполагают собой последовательную обработку изображения блок за блоком, что является не очень эффективным учитывая пределы разрешений изображения в современных системах отображения информации, особенно остро этот вопрос стоит в системах видеотображения, которым необходимо обрабатывать и отображать информацию с высокой скоростью.

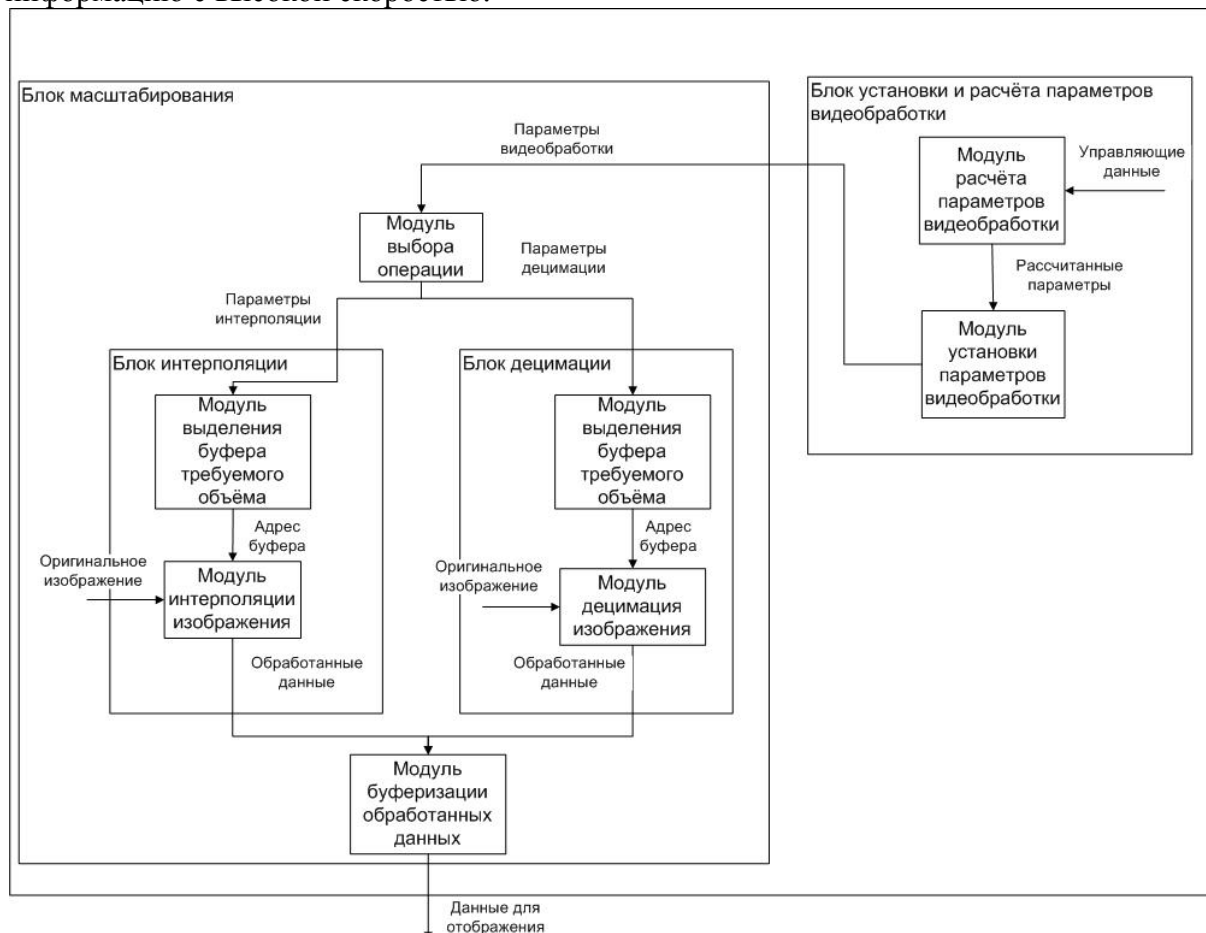


Рисунок 1 - Структурно-функциональная схема блока масштабирования

Для выполнения данной задачи, мною выбраны метод направленной интерполяции и боксовый фильтр, первый применителен для интерполяции (увеличения изображения), а второй – для децимации (уменьшения изображения). Однако у этих методов есть серьёзный общий недостаток: их применимость лишь для кратного масштабирования сторон изображения по степеням двойки. Для обхода недостатков этих методов можно использовать конвейерный подход. В данном контексте это будет означать не одновременное изменение масштаба изображения в некоторое число раз, а постепенное масштабирование за несколько этапов. Из-за увеличения числа операций, прирост производительности может быть не очевидным, так как придётся снова и снова обрабатывать изображение. Но не стоит забывать о том, что для одной итерации цикла масштабирования, как уже упоминалось ранее, нет необходимости во всём изображении, только в его части, то есть можно будет организовать конвейер из нескольких параллельно работающих ступеней, каждая из которых обрабатывает часть изображения на определённом этапе. Например первая ступень конвейера увеличивает изображение в два раза и передаёт результаты работы на вторую, вторая же, в свою очередь, получив достаточное количество данных от первых ступеней увеличивает изображение ещё в два раза. На последней ступени

производится точное доведение до нужного разрешения, масштабируя на последней итерации изображение на величину лежащую в пределах от  $3/4$  до  $3/2$ , причём необязательно на одинаковую величину по длине и ширине.

При использовании конвейера, к уже выбранным двум алгоритмам масштабирования добавляется третий, позволяющий масштабировать изображение на любую не кратную по сторонам величину. Так как на последней итерации масштабирование выполняется в небольшом пределе, и необходима быстрая и одинаково качественная, как при интерполяции так и при децимации обработка изображения, то для этих целей прекрасно подойдёт сглаживающий алгоритм Брезенхема. Он обладает высокой скоростью обработки и не порождает различных для человеческого глаза артефактов при масштабировании изображения от 50% до 200% от изначального объёма, что как раз совпадает с пределами масштабирования, выполняемыми на последней итерации. Схема функционирования блока масштабирования изображена на рисунке 2.

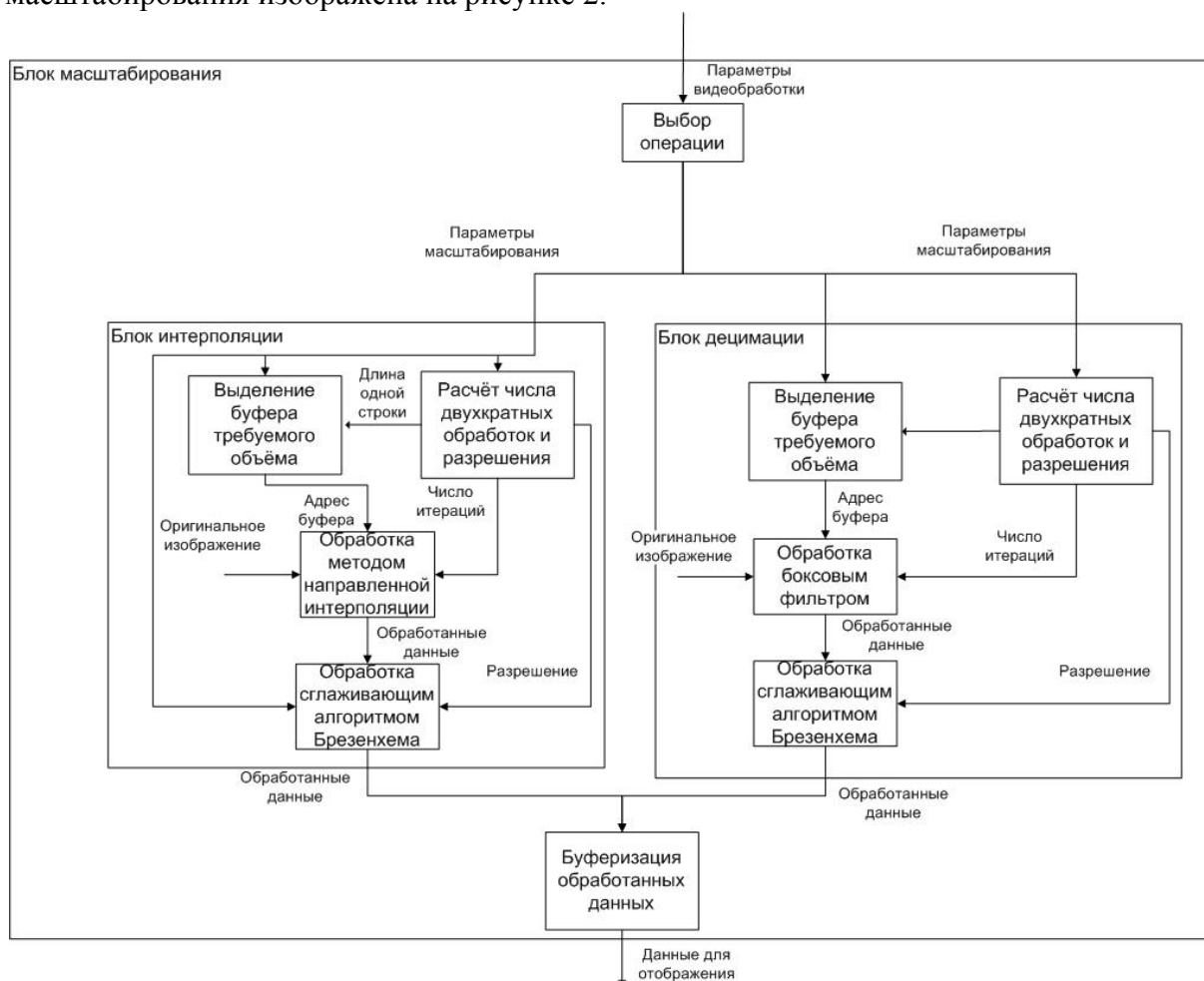


Рисунок 2 - Схема функционирования блока масштабирования

Вначале производится решение, на основе данных о разрешении, о том, какая операция будет производиться: децимация или интерполяция. После принятия этого решения блоку интерполяции или децимации, соответственно, передаются параметры видеобработки, на основе которых происходит выделение необходимого входного буфера для хранения поступающей информации и внутреннего буфера для хранения временной, необходимой на этапе масштабирования информации, такой как частично обработанное изображение, так как для выделения нужного объёма памяти необходимо



иметь информацию о требованиях конкретного реализованного алгоритма масштабирования, то модуль выполняющий эту операцию должен быть реализован как в блоке интерполяции, так и в блоке децимации. Так же после выбора нужной операции производится расчёт числа двукратных обработок входного изображения методом направленной интерполяции или боксовым фильтром, для метода направленной интерполяции это число означает число итераций цикла последовательного двукратного увеличения изображения, для боксового фильтра, в данной реализации, это означает степень двукратного уменьшения изображения. Вместе с числом обработок производится расчёт промежуточного разрешения итогового изображения, полученного после обработки только методом направленной интерполяции или боксовым фильтром, данные о котором вместе с данными о искомом разрешении итогового изображения передаётся модулю обработки сглаживающим алгоритмом Брезенхема. Далее, для децимации производится обработка входного изображения боксовым фильтром некоторое число раз, чтобы масштаб полученного в итоге изображения отличался от искомого не более чем в два раза в любую сторону, соответственно, при интерполяции, используется алгоритм направленной интерполяции некоторое число раз, чтобы масштаб полученного в итоге изображения отличался от искомого не более чем в два раза в любую сторону. А затем уже производится обработка полученного изображения сглаживающим алгоритмом Брезенхема для более точного приведения его к необходимому масштабу. Итоговое изображение записывается в буфер обмена, из которого его для дальнейшего отображения прочитает подсистема обмена данными.

Одной из поставленных мною задач является обеспечение полной независимости блоков интерполяции и децимации внутри блока масштабирования, а так же организация легко изменяемой модульной структуры. Таким образом, логично объединить часть вышеописанных функций в один модуль, а также обеспечить их наличие и в блоки интерполяции и в блоке децимации, то есть продублировать модуль в структуре обоих блоков. Таким образом, логично совместить функцию расчёта числа двукратных обработок с блоком обработки соответствующим алгоритмом, ввиду того, что она напрямую связана именно с выбранными конкретными алгоритмами. Сглаживающий алгоритм Брезенхема следует продублировать в блоке интерполяции и децимации в виде отдельного модуля, ибо хотя он и напрямую связан с исключением недостатков двух выбранных основных масштабирующих алгоритмов, но его роль может быть выполнена и другим алгоритмом, следовательно для предоставления возможности изменения структуры блока масштабирования, не затрагивая реализацию с использованием конвейера, его следует отделить от основного модуля масштабирования. Так же можно выделить отдельный блок ввода-вывода, в который войдут в виде двух отдельных модулей: функция по получению параметров видеообработки и выборе на их основе операции, и функция буферизации обработанных данных для их последующего вывода.

Структурная схема разрабатываемого блока масштабирования представлена на рисунке 3.

В итоге, в состав блока масштабирования входят три блока:

- блок интерполяции, включающий в себя: модуль работы с буфером, модуль направленной интерполяции, модуль сглаживания Брезенхема;
- блок децимации, включающий в себя: модуль работы с буфером, модуль боксового фильтра, модуль сглаживания Брезенхема;
- блок ввода-вывода, включающий в себя модуль выбора операции и модуль буферизации обработанных данных.

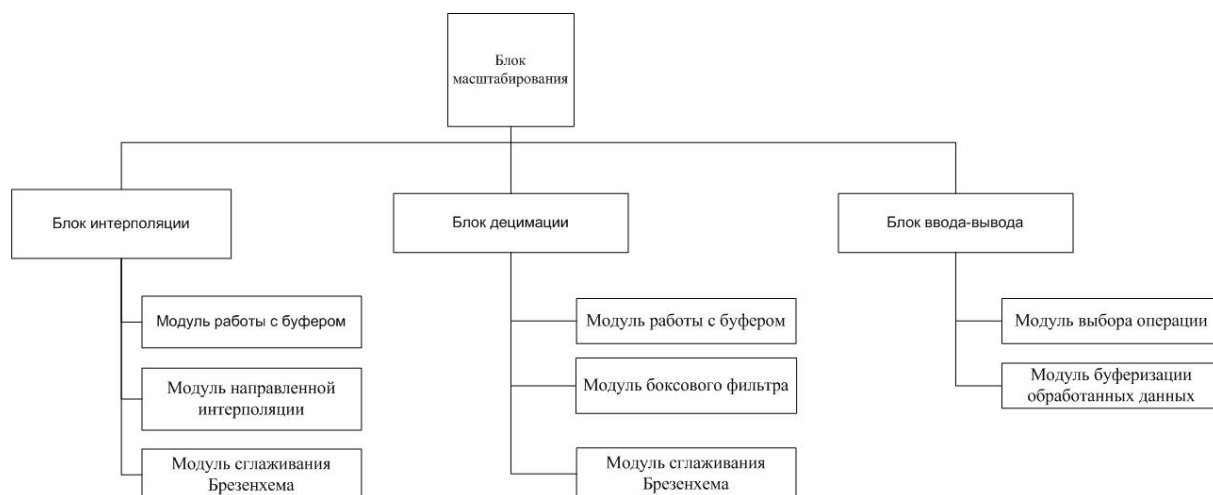


Рисунок 3 - Структурная схема разрабатываемого блока масштабирования

В целом, данная организация процесса масштабирования представляет собой многократную последовательную обработку изображения методом боксового фильтра или алгоритмом направленной интерполяции, а затем сглаживание полученного изображения брезенхемовским алгоритмом. Такая обработка изображения, несмотря на кажущуюся длительность процесса, является достаточно быстрой, ввиду высокой производительности выбранных алгоритмов, а также позволяет взаимокompенсировать их недостатки.

#### Литература

1. *Егоров И.В., Внуков А.А.* "БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ МАСШТАБИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ". Инновационные информационные технологии Материалы международной научно-практической конференции./Под ред. С.У. Увайсова; Отв. за вып. И.А.Иванов, Л.М.Агеева, Д.А.Дубоделова, В.Е.Ерёмина. с. 276-278. Прага, 17-21 апреля 2012г.-М.:МИЭМ, 2012 ISBN 978-5-945-09-317-4.

2. *Егоров И.В., Внуков А.А.* "Разработка высокопроизводительного параллельного алгоритма масштабирования изображений". ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ РАСО'2012. Шестая международная конференция, Москва, 24-26 окт. - Труды: в 3т. -М.: ИПУ РАН 2012.- Том 2.- 418с. - ISBN 978-5-91450-123-2(т.2).

### ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН И СВЧ УСТРОЙСТВ НА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

Елизаров А.А., Закирова Э.А., Филимонова А.С.

*Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ*

Представлены новые технические решения в разработке микрополосковых антенн и частотно-селективных СВЧ устройств. Показана перспективность использования при создании таких устройств резонансных отрезков замедляющих систем и многослойных печатных плат.

**Innovative technical solutions in develop of microstrip antennas and microwave devices on multilayered printed–circuit boards. Yelizarov A.A., Zakirova E.A., Filimonova A.S.**

New technical solutions in develop of microstrip antennas and frequency-selective microwave devices is presented. Perspectivity of use is shown at creation of such devices of resonant segments of slow wave systems and multilayered printed-circuit boards.

Современный этап развития микрополосковых антенн и частотно-селективных СВЧ устройств связан с расширением количества их функций при уменьшении массогабаритных показателей и повышении стабильности электрических параметров и характеристик [1- 3]. Важным направлением такого развития является переход от традиционной двухмерной топологии и конструкции печатной платы, – к трехмерной. В этой связи большую перспективность представляет использование усовершенствованной технологии низкотемпературного совместного обжига керамической подложки и схемы на металле (LTCC-M) [4]. Применение многослойной технологии позволяет повысить функциональную плотность СВЧ устройств в сочетании с низкой стоимостью, высокой надежностью и хорошей воспроизводимостью. Кроме того, создание новых конструкций печатных плат с заданными свойствами обеспечивает необходимое распределение электромагнитного поля в структуре и требуемые выходные параметры проектируемого устройства.

Несмотря на имеющееся многообразие технологий и конструкций, наиболее перспективными для микрополосковых антенн и СВЧ устройств различного функционального назначения являются многослойные печатные платы и платы с подвешенными подложками. Такие печатные платы содержат подвешенную подложку, состоящую из диэлектрического основания с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости, с одной стороны которой расположены проводящие элементы, и воздушного зазора, отделяющего металлический экран, находящийся с другой стороны. Недостатком таких печатных плат является отсутствие согласования волновых сопротивлений диэлектрического основания подложки, и воздушного зазора, приводящее к возникновению отраженной волны в поперечном сечении платы. Кроме того, при использовании печатной платы для микрополосковых антенн и излучателей необходимо обеспечивать согласование импедансных проводников с внешним воздушным пространством.

В результате проведенного исследования предложена новая конструкция модифицированной печатной платы с подвешенной подложкой, в которой указанные недостатки устранены [5, 6]. Отличительной особенностью такой печатной платы является то, что диэлектрическая подложка выполняется многослойной, с числом слоев не менее трех, толщиной каждого слоя равной четверти рабочей длины волны и линейно уменьшающимся от плоскости экрана к плоскости импедансных проводников волновым сопротивлением.

Рисунок поперечного сечения модифицированной платы с подвешенной трехслойной подложкой толщиной  $d$  представлен на рис.1, а с подвешенной трехслойной подложкой толщиной  $d_1$  и трехслойным согласующим диэлектрическим экраном толщиной  $d_2$  - на рис.2. Относительные диэлектрические проницаемости слоев подложки и диэлектрического экрана линейно уменьшаются с ростом номера слоя.

Использование многослойной диэлектрической подложки с согласованными волновыми сопротивлениями слоев позволило предложить новую конструкцию микрополоскового гребенчатого фильтра низких частот с увеличенной частотой отсечки по сравнению с прототипом [7, 8], без изменения топологического рисунка и геометрических размеров, отсутствия высших паразитных полос пропускания,

обладающего малыми потерями и высокой собственной добротностью в диапазоне СВЧ.

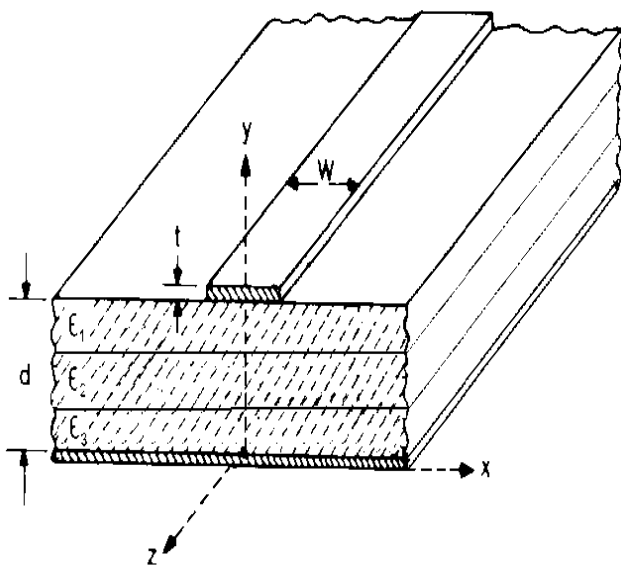


Рис. 1. Модифицированная печатная плата с подвешенной подложкой.

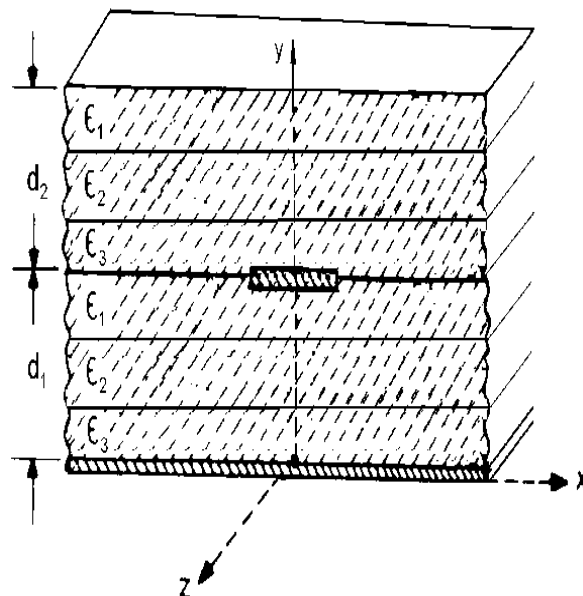


Рис. 2. Модифицированная печатная плата с подвешенной подложкой и согласующим диэлектрическим экраном.

Конструкция такого микрополоскового фильтра содержит многослойную диэлектрическую подложку, на одной стороне которой выполнена импедансная штыревая гребенка, и расположенный с другой стороны подложки изотропный металлический экран. Диэлектрическая подложка выполняется с толщиной, равной четверти рабочей длины волны, содержит число слоев не менее трех с линейно уменьшающимся от плоскости экрана к плоскости импедансной штыревой гребенки волновым сопротивлением.

На рис.3 показана 3D-модель микрополоскового фильтра низких частот, выполненная на трехслойной подложке, где цифрой 1 обозначена импедансная штыревая гребенка, цифрой 2 – изотропный металлический экран, цифрами 3, 4, 5 – слои четвертьволновой подложки с линейно уменьшающимся от плоскости экрана к плоскости импедансной штыревой гребенки волновым сопротивлением.

На рис. 4 приведены характеристики комплексного коэффициента передачи  $S_{21}$  фильтра от частоты, рассчитанные с помощью программы AWR Design Environment (Microwave Office v.8.03) для случая однослойной платы (кривая 1 - численный расчет и 2 - схематехнический расчет), для случая трехслойной платы (кривая 3) и пятислойной платы (кривая 4).

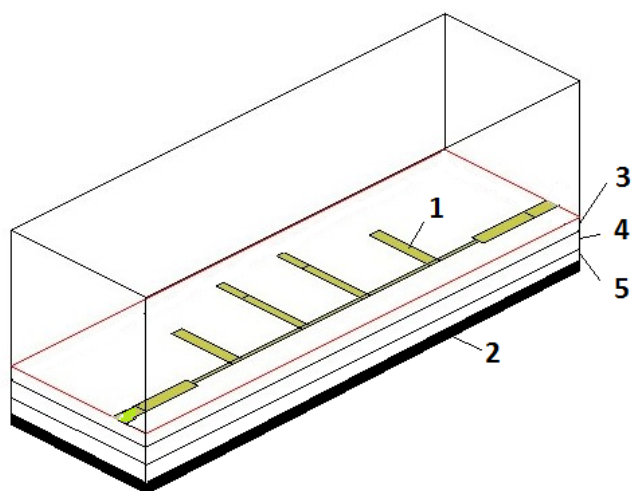


Рис.3. Модель микрополоскового гребенчатого фильтра низких частот

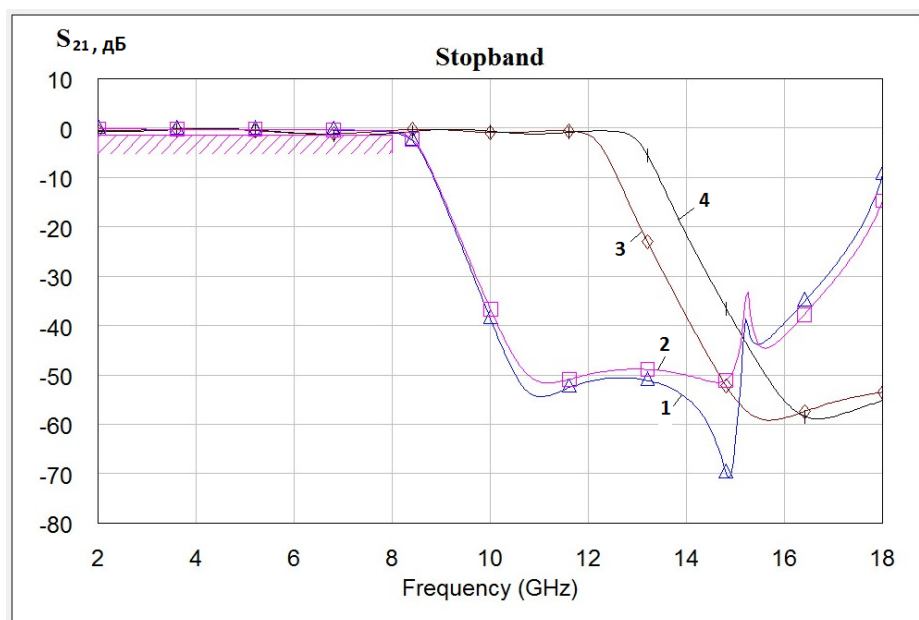


Рис.4. Зависимости параметра  $S_{21}$  в дБ от частоты в ГГц для микрополоскового гребенчатого фильтра низких частот.

Из анализа данных кривых следует, что с увеличением числа слоев частота среза фильтра увеличивается с 8 ГГц для однослойной платы до 12 ГГц для трехслойной платы и 13 ГГц – для пятислойной платы. При этом рост частоты среза достигается без увеличения коэффициента  $S_{11}$ , расчетные значения которого не превышают единицу.

При использовании модифицированной печатной платы для создания микрополосковых антенн и излучателей, их импедансные проводники, имеющие в большинстве случаев применения волновое сопротивление десятки Ом, необходимо согласовать с внешним воздушным пространством, имеющим сопротивление 377 Ом. Для этого в конструкцию платы введен многослойный диэлектрический экран с линейно увеличивающимся от плоскости импедансных проводников волновым

сопротивлением (рис.2). При числе слоев согласующего экрана не менее трех и толщине каждого слоя равной четверти рабочей длины волны достигается выравнивание скачка волнового сопротивления, что обеспечивает повышение коэффициента излучения и расширение диаграммы направленности антенн и излучателей.

Кроме того, использование многослойных печатных плат для микрополосковых спиральных антенн позволяет обеспечивать требуемую поляризацию волн при заданной диаграмме направленности. Известные конструкции спиральных антенн, выполненные на базе одиночных или связанных радиальных круговых или прямоугольных структур с арифметической, логарифмической или эллиптической намоткой, обладают осевым излучением с односторонней поляризацией, вращающейся либо в левую, либо в правую сторону, определяющуюся направлением намотки спирали. Тип поляризации, противоположный имеющейся, как правило, выражен слабо и по амплитуде излучения, и по направленности, что не позволяет использовать его на практике, например, для радиометрии.

Применение многослойной диэлектрической подложки, обладающей указанными выше свойствами, позволяет обеспечить двустороннюю круговую или эллиптическую поляризацию в широкой полосе частот, при габаритных размерах антенны, значительно меньших рабочей длины волны. 3D-модель микрополосковой спиральной антенны с двусторонней круговой поляризацией, выполненной на трехслойной подложке, показана на рис. 5, где цифрой 1 обозначена импедансная двухзаходная спираль с логарифмической намоткой, цифрой 2 – изотропный металлический экран, цифрами 3, 4, 5 – слои четвертьволновой подложки с линейно уменьшающимся от плоскости экрана к плоскости импедансной спирали волновым сопротивлением.

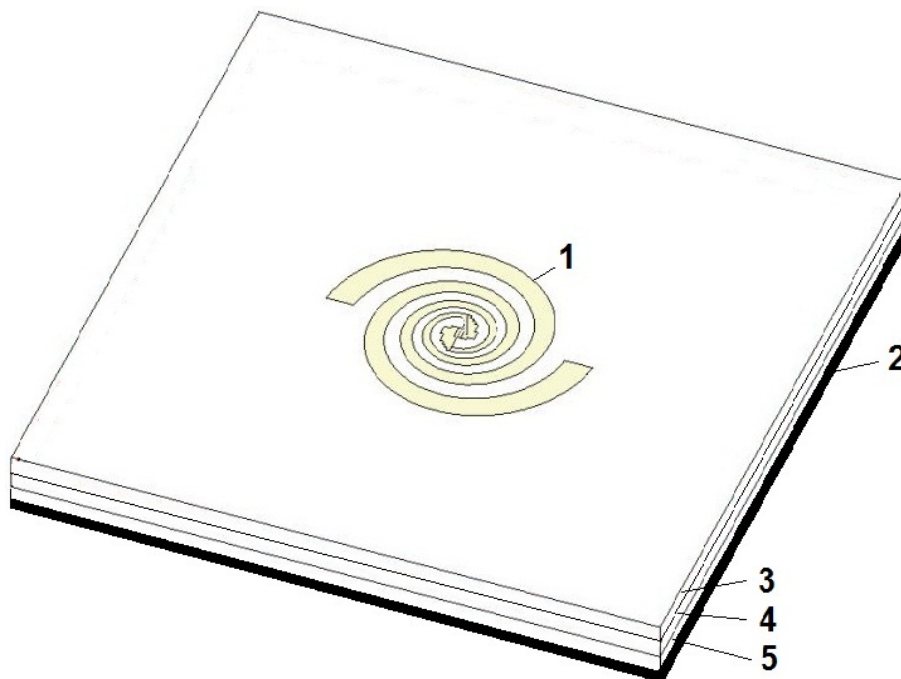


Рис.5. Модель микрополосковой спиральной антенны с двусторонней поляризацией.

Осевое излучение микрополосковой спиральной антенны с двусторонней круговой поляризацией обеспечивается следующим образом [9]. Обозначим средний диаметр витка  $d_{cp}$ , тогда на длине половины витка спирали фазовый сдвиг равен

$\pi^2 d_{cp} / \lambda$ . С учетом начального сдвига, равного  $\pi$ , получим результирующее расхождение токов по фазе  $\Psi = \pi + \frac{\pi^2 d_{cp}}{\lambda}$ . Поскольку угол  $\Psi$  отличается от  $\pi$ , то

соблюдается условие осевого излучения с вращающейся поляризацией. В этом случае оптимальное значение коэффициента замедления, соответствующее противофазе поля первого и последнего витков, определяется формулой:  $n_{opt} = \frac{\lambda + h + \frac{\lambda}{2p}}{l_c}$ , где  $h$  – шаг,  $p$  – число витков спирали,  $l_c$  – длина одного витка спирали.

Из последней формулы следует, что поскольку  $\lambda/2p \ll \lambda + h$ , то поляризацию можно считать эллиптической. Однако если величина коэффициента замедления не оптимальна, т.е.  $n \approx \frac{\lambda + h}{l_c}$ , то разница между  $n$  и  $n_{opt}$  весьма мала, а значит, полученная поляризация близка к круговой.

Условие осевого излучения выполняется не для всей структуры, а только для той ее части, в которой токи обеих спиралей совпадают по фазе:  $\pi + \frac{\pi^2 d_{cp}}{\lambda} = k \cdot 2\pi$ , где  $k = 1, 2, 3, \dots$ . Из полученного соотношения следует, что средний диаметр первого «резонансного» кольца ( $k=1$ ) равен  $d_{1cp} = \lambda/\pi$ , а его периметр  $\pi d_{1cp} = \lambda$ . Средний диаметр и периметр следующих «резонансных» колец в  $k$  раз больше.

Наиболее интенсивно излучает первое «резонансное» кольцо. Это связано с тем, что излучение спирали вызывает затухание волны, сопровождающееся уменьшением тока от ее начала (в центре) к периферийной области. Большая величина коэффициента затухания в рассматриваемой структуре объясняется малым отражением поверхностной волны от концов обеих спиралей (эффект бегущей волны тока). Для того чтобы на максимальной длине волны рабочего диапазона  $\lambda_{max}$  сохранялось первое «резонансное» кольцо излучения, диаметр спиралей должен быть достаточно велик:  $d > \lambda_{max}/\pi$ . С уменьшением длины волны это кольцо начинает сжиматься до величины  $\lambda_{min}$ , определяемой размерами узла запитки структуры.

Результаты моделирования диаграмм направленности микрополосковой спиральной антенны в плоскости  $XY$ , полученные с помощью программы AWR Design Environment (Microwave Office) (рис.6 – 7), наглядно демонстрируют градации изменения левосторонней круговой поляризации при практически не меняющейся правосторонней поляризации, задаваемой рисунком топологии спиралей. Так на рис.6 слева дана диаграммы направленности прототипа – двухзаходной спиральной антенны с логарифмической намоткой на однослойной плате с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 9,8$ . Такая антенна обладает правосторонней круговой поляризацией при слабо выраженной левосторонней поляризации.

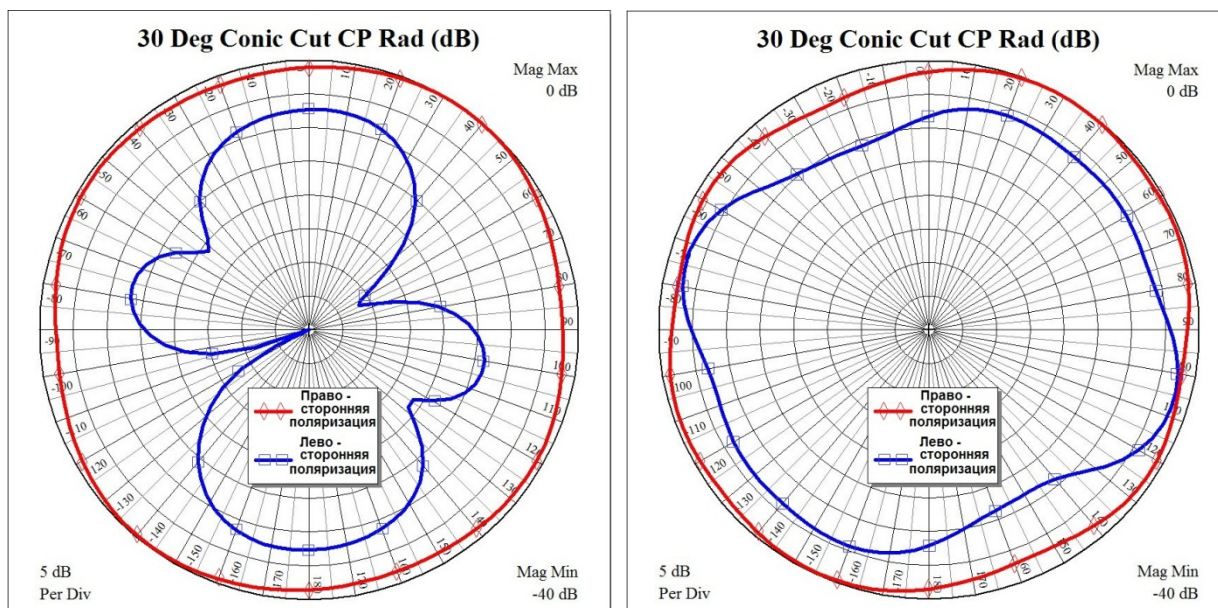


Рис.6. Диаграммы направленности микрополосковой спиральной антенны на однослойной подложке (слева) и трехслойной подложке (справа).

Увеличение числа слоев подложки с линейно уменьшающимся от плоскости экрана к плоскости импедансной спирали волновым сопротивлением в случае трехслойной платы ( $\varepsilon_1 = 9,8; \varepsilon_2 = 5,6; \varepsilon_3 = 2,4$ ) рис.6 справа, приводит к «выравниванию» левосторонней поляризации, которая вначале приближается к эллиптической, а при дальнейшем увеличении числа слоев, к круговой поляризации.

На рис.7 показаны диаграммы направленности спиральной антенны на десятислойной подложке ( $\varepsilon_1 = 16,0; \varepsilon_2 = 9,8; \varepsilon_3 = 7,2; \varepsilon_4 = 5,6; \varepsilon_5 = 4,2; \varepsilon_6 = 3,8; \varepsilon_7 = 3,2; \varepsilon_8 = 2,8; \varepsilon_9 = 2,4; \varepsilon_{10} = 2,33$ )<sup>В</sup> плоскостях XY и XZ.

Такая антенна имеет и правостороннюю, и левостороннюю круговую поляризации, причем амплитуда левосторонней поляризации в плоскости XZ превышает правостороннюю, что свидетельствует о более узком и направленном излучении.

Достоинством предложенной антенны является постоянное отношение периметра первого «резонансного» кольца к длине волны, что позволяет сохранить направленные свойства резонансной системы в широком диапазоне длин волн.

Таким образом, проведенный обзор и результаты компьютерного моделирования показывают возможность создания новых микрополосковых антенн и частотно-селективных устройств на основе резонансных отрезков замедляющих систем и многослойных печатных плат, обеспечивающих требуемые электрические характеристики и габаритные размеры устройств меньше центральной рабочей длины волны при достаточно высокой собственной добротности структур в диапазоне СВЧ.

В данной научной работе использованы результаты, полученные в ходе выполнения проекта «Исследование распространения замедленных электромагнитных волн в многослойных диэлектриках и разработка СВЧ устройств на их основе», выполненного в рамках Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2013 году, грант № 13-05-0017.



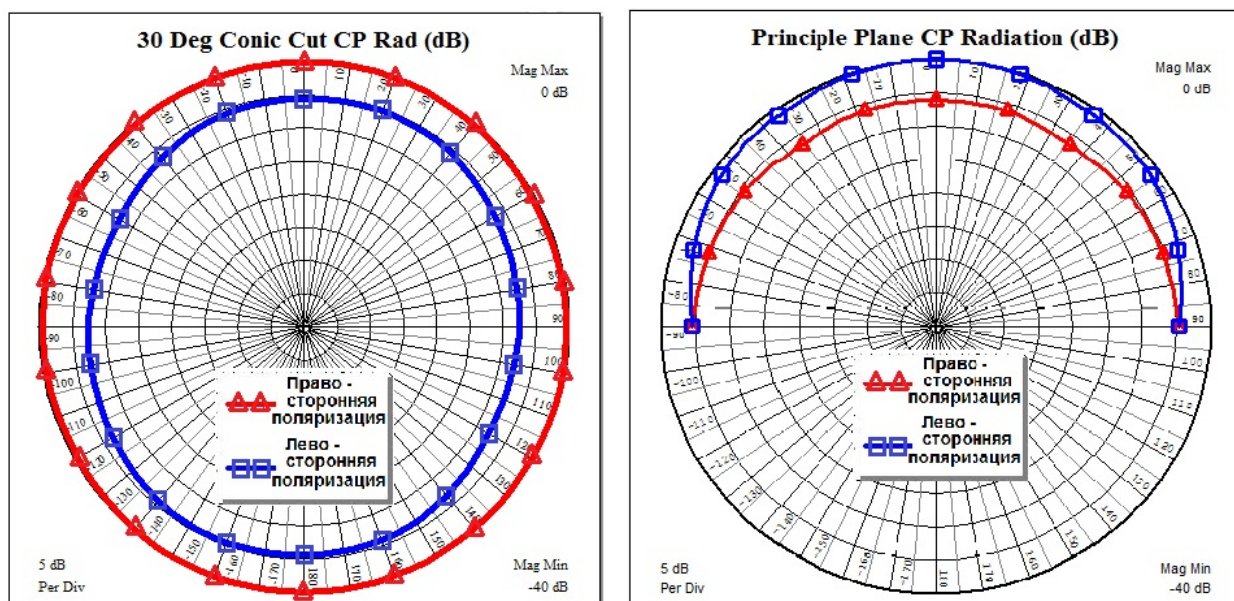


Рис.7. Диаграммы направленности микрополосковой спиральной антенны на десятислойной подложке в плоскостях XY(слева) и XZ (справа).

### Литература

1. Елизаров А.А., Пчельников Ю.Н. Радиоволновые элементы технологических приборов и устройств с использованием электродинамических замедляющих систем. М.: Радио и связь, 2002.- 200с.
2. Елизаров А.А. Инновационные технические решения в разработке микрополосковых частотно-селективных СВЧ устройств на отрезках замедляющих систем // Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные информационные технологии». – Сочи, 2012. – с.378-384.
3. Елизаров А.А., Кухаренко А.С. Исследование микрополосковых частотно-селективных устройств СВЧ на резонансных отрезках замедляющих металлодиэлектрических систем // Антенны, 2009, №10, С.31-37.
4. Елизаров А.А., Закирова Э.А. Инновационные технологии проектирования многослойных печатных плат диапазона СВЧ // Материалы международной научно-практической конференции «Инновационные информационные технологии». – Прага, 2012. – с.408-411.
5. Патент РФ на изобретение по заявке № 2010123341. Печатная плата с подвешенной подложкой / Елизаров А.А., Закирова Э.А.. Приоритет от 08.06.2010. Решение о выдаче от 26.06.2012.
6. Елизаров А.А., Закирова Э.А. Исследование многослойной печатной платы с подвешенной подложкой для микрополосковых СВЧ устройств // Труды LXVII Научной сессии, посвященной Дню радио. - Москва, 2012. – с.366-369.
7. Патент РФ на полезную модель № 124 445. Микрополосковый фильтр на штыревой гребенке с многослойной подложкой / Елизаров А.А., Закирова Э.А. Оpubл. в БИ № 2, 2013.
8. Патент РФ на полезную модель № 46 389. Микрополосковый фильтр низких частот на штыревой гребенке / Елизаров А.А., Лебедева Т.А. Оpubл. в БИ № 18, 2005.
9. Елизаров А.А., Закирова Э.А. Исследование излучения радиочастотных элементов на микрополосковых спиральных замедляющих системах // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт, № 10, 2012. – с.51-53.

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОПЕРВЕАНСКИХ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЧ ПРИБОРОВ**<sup>1</sup>Пчельников Ю.Н., <sup>2</sup>Елизаров А.А., <sup>2</sup>Ефремова М.В.<sup>1</sup>*SloWaves, Inc., Cary, NC, USA* <sup>2</sup>*Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ*

Проанализированы перспективы создания высокопервеанских эмиссионных электронно-оптических систем СВЧ приборов. Рассмотрен принцип продольной компрессии электронного пучка и варианты его технической реализации при проектировании ламп с бегущей волной.

**Prospects of high-perveance electronic-optical systems creation of microwave devices. Pchelnikov Yu.N., Yelizarov A.A., Yefremova M.V.**

Analyzed the prospects of high-perveance electronic-optical systems creation of microwave devices. Discusses the principle of longitudinal compression of the electron beam and the variants of its technical realization in the design of travelling wave tubes.

Разработка современных электровакуумных СВЧ приборов и устройств требует создания эмиссионных электронно-оптических систем с высоким значением первеанса пучка ( $10^{-6} - 10^{-4}$ )  $A/V^{3/2}$ . Основное назначение пучков в рассматриваемых приборах – передавать с преобразованием энергию внешних источников в энергию СВЧ, что определяет следующие требования к ним: высокие значения тока при относительно низких потенциалах, строго определенная геометрическая форма и упорядоченная ламинарная внутренняя структура, малый разброс скоростей электронов и низкий уровень собственных шумов. Одним из важных принципов формирования таких электронных пучков является использование продольной компрессии заряда [1].

Технически продольная компрессия электронного пучка может быть реализована в трехэлектродных пушках, содержащих анод, выполненный в виде двух диафрагм. При этом электроны, вышедшие с катода, сначала ускоряются относительно высоким потенциалом  $V_1$  первой диафрагмы  $D_1$ , а затем замедляются более низким потенциалом  $V_2$  второй диафрагмы  $D_2$  (рис.1) [1, 2]. Формирование пучка электростатическим полем происходит на участке катод – первая и вторая диафрагмы пушки, причем осевой потенциал изменяется немонотонно и достигает максимума у  $D_1$ . Потенциал сформированного пучка равен потенциалу выходной диафрагмы  $D_2$ . Продольная компрессия осуществляется между диафрагмами пушки вследствие уменьшения осевой скорости электронов, что позволяет также увеличить плотность тока сформированного пучка по сравнению с известными диодными и триодными пушками, имеющими низкий первеанс. Характеристики относительной плотности тока и коэффициента токопрохождения электронной пушки получены в работе [2] для цилиндрического пучка диаметром 2 мм (рис.1).

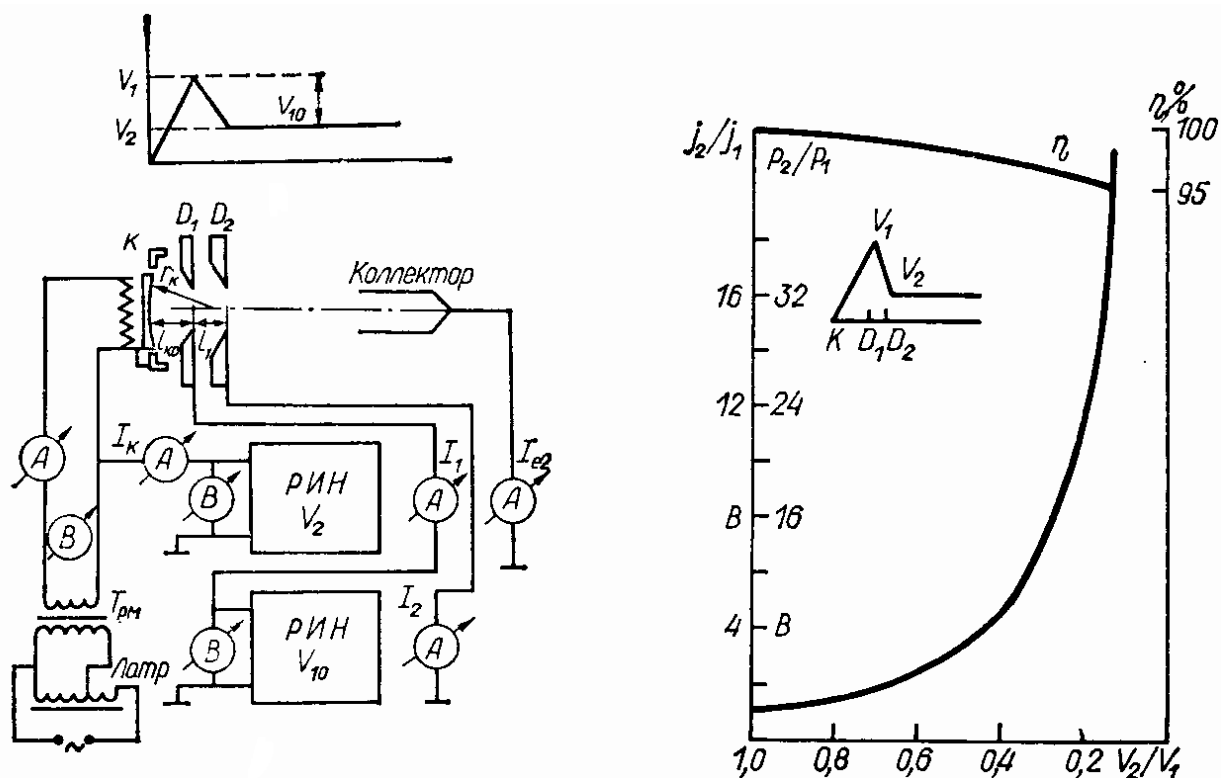


Рис.1. Схема устройства и основные характеристики электронной пушки с продольной компрессией.

Принцип продольной компрессии позволяет обеспечить для пушек такие важные свойства, как фокусирующее действие и ионную защищенность катода (ионная ловушка). Это позволяет увеличить срок службы катода пушки, стабильность тока пучка и уменьшение пробоев в условиях ухудшенного вакуума.

В настоящее время электронные пушки с компрессией заряда широко используются для формирования сплошных и трубчатых электронных пучков в мощных ЛБВ непрерывного и импульсного действия.

В работе [3] с помощью пакета 3D-программ CST Studio проведено моделирование электронной пушки лампы с бегущей волной (ЛБВ) типа УВ-384. Такая пушка содержит четыре основных электрода: катод, кольцевой фокусирующий электрод, управляющий электрод и анод (рис.2). Катод имеет сферическую поверхность, площадь которой примерно в 10 раз превышает сечение пучка в трубе дрейфа. В конструкцию пушки были внесены изменения с целью увеличения микропереванса, в частности, управляющий электрод придвинут к катоду. Для эффективной компрессии пучка центр катода помещён в область нулевого магнитного поля внешней магнитной системы. Электрическое поле между катодом, фокусирующим электродом и управляющим электродом образуют электронную линзу, которая заставляет электроны сходиться к оси. Важную роль в формировании пучка играет сходящееся фокусирующее магнитное поле, темп нарастания которого оптимизируется с целью уменьшения пульсаций в пучке (рис. 3).

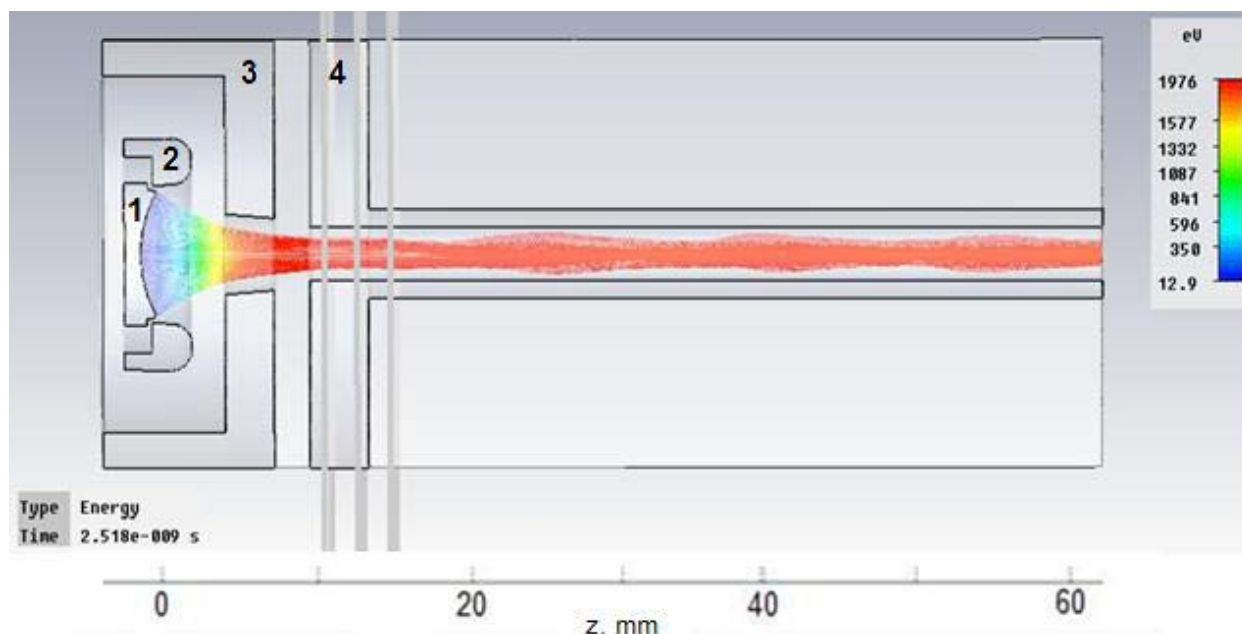


Рис.2. Схема электронной пушки: 1 – катод, 2 – фокусирующий электрод, 3 – управляющий электрод, 4 – анод.

Моделирование электронного пучка, формируемого электронно-оптической системой мощной импульсной ЛБВ, работающей в диапазоне частот 8,5 – 10,5 ГГц, представлено в работе, выполненной в ОАО «Плутон» [4]. Для обеспечения выходных параметров ЛБВ требуется формирование длинных и тонких пучков, обеспечивающих токопрохождение 98-99%. Столь высокие требования по токопрохождению определяются тем, что используемая спиральная замедляющая система не способна рассеивать мощность, превышающую 150 Вт. При рабочем токе пучка 750 мА и ускоряющем напряжении 8600В допустимым является токооседание 15 мА, что составляет 2% от рабочего тока.

Для обеспечения вышеперечисленных требований была выбрана конструкция электронной пушки с управляющим электродом в виде штыря, расположенного в центре кольцевого катода. Схематическое изображение электродов пушки и контур электронного пучка представлены на рис.4, а основные параметры электронной пушки и магнитной периодической фокусирующей системы (МПФС) в табл. 1.

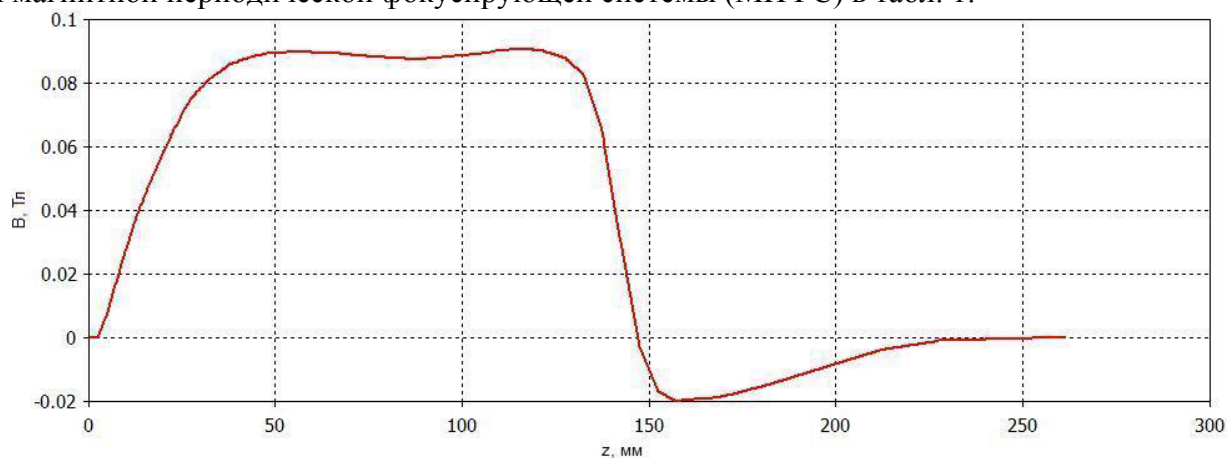


Рис.3. Профиль экспериментально измеренного фокусирующего магнитного поля вдоль оси прибора.

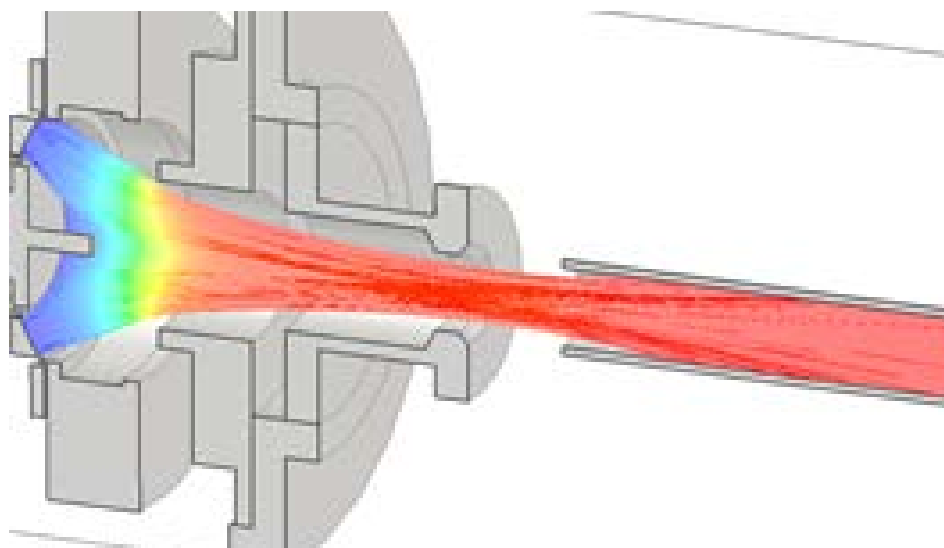


Рис.4. Контур электронного пучка, сформированного электронной пушкой

Ход электронных траекторий показывает, что электронный пучок длиннофокусный, близкий к ламинарному. Такая конструкция обеспечивает отсутствие перехвата части тока пучка управляющими электродами и предотвращает их перегрев.

Таблица 1. Параметры пушки и МПФС

Ток пучка	720 мА
Ускоряющий потенциал	8500 В
Первеанс	0,9 мА/В <sup>3/2</sup>
Управляющий потенциал	360 В
Потенциал запираения	-360В
Диаметр катода	6,4 мм
Компрессия пучка по площади	28,4
Средний диаметр пучка в пролетном канале	1 мм
Амплитуда поля в МПФС	250 мТ
Период МПФС	11 мм

Получение пучка с малыми пульсациями в пролетном канале ЗС обеспечивалось за счет оптимизации положения электронной пушки относительно первого максимума магнитного поля. При этом амплитуда первого пика МПФС составила 107 мТл. Ход электронных траекторий в области согласования представлен на рис.5.

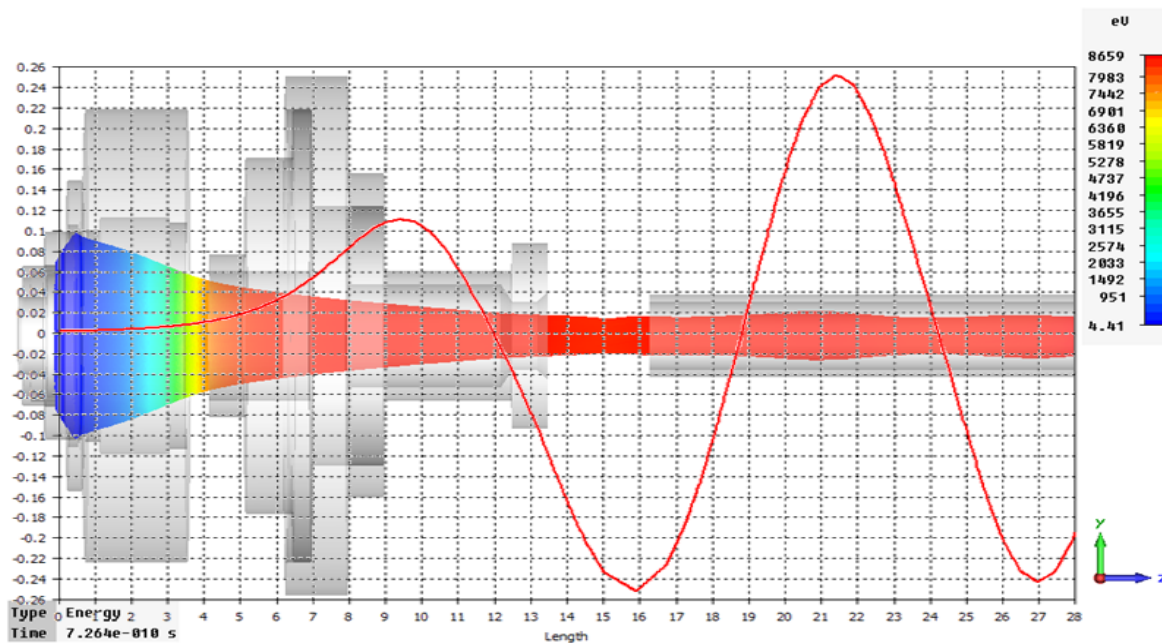


Рис.5. Контур электронного пучка в периодическом магнитном поле

Рассчитанная электронно-оптическая система была реализована в макете ЛБВ. При разработке конструкции были учтены изменения размеров деталей и их взаимного расположения при нагреве катода до рабочей температуры  $1050^{\circ}\text{C}$ .

Конструкция пушки представлена на рис.6

Экспериментальные исследования параметров токопрохождения в изготовленном макете ЛБВ, проведенные в импульсном режиме при скважности 4 и напряжении отпираия  $+350\text{В}$ , показали, что в режиме без входного сигнала токопрохождение в приборе составило 97%, а в режиме усиления токопрохождение в приборе составило  $\approx 95\%$ .

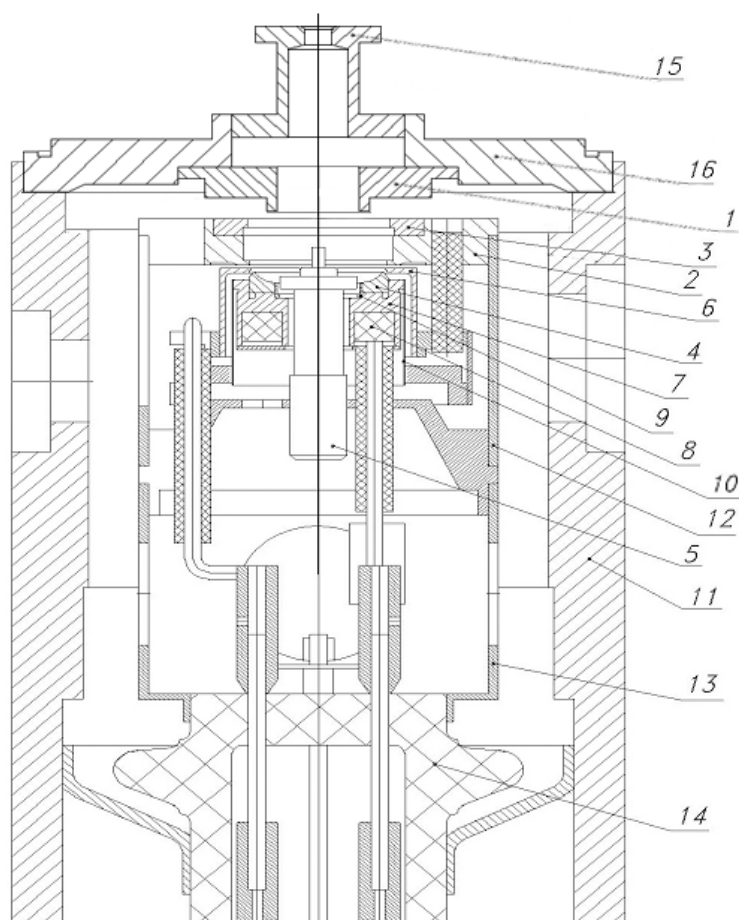
В процессе работы макета обнаружено, что максимальная температура корпуса ЛБВ наблюдается в области первых трех магнитов МПФС, т.е. в области расположения коллиматорной втулки и первых витков спирали.

Специально проведенные исследования по разделению тока спирали и коллиматора в режиме без входного сигнала показали, что 8 мА оседают на коллиматор, а 12 мА – на спиральную ЗС.

С целью выяснения возможных причин, приводящих к повышенному токооседанию электронного пучка на входе в пролетный канал ЗС, проведен цикл расчетов, учитывающих отклонения реальной пушки от идеальной конструкции.

Результаты расчетов показали, что эмиссия с внешней кромки катода шириной 0,03 мм, плоскость которой перпендикулярна оси системы, приводит к появлению ореола вокруг сформированного электронного пучка и, соответственно, к увеличению его диаметра в сечении кроссовера до значения  $D=1,4$  мм (рис.7).

В результате проведенного моделирования получено, что учет совокупности отклонений от расчетных размеров может привести к возрастанию токооседания на коллиматор до 16 мА.



*Рис.6. Конструкция электронной пушки: 1-анод, 2-фокусирующий электрод, 3-крышка фокуса, 4-эмиттер, 5-управляющий электрод, 6-экран, 7-кern катода, 8-подогреватель, 9-внутренний подфокусирующий электрод, 10-гильза катода, 11-корпус пушки, 12-гильза фокуса, 13-гильза изолятора, 14-изолятор пушки, 15-коллиматор, 16-фланец.*

Для подавления нежелательной эмиссии с кромки катода было предложено уменьшить диаметр подфокусирующего электрода до величины, меньшей диаметра эмиттера. Расчет показал, что уменьшение диаметра подфокусирующего электрода действительно “запирает” кромку катода, но при этом приводит к “прижатию” электронного потока к штырю и, следовательно, выталкиванию внутренних траекторий пучка. Поэтому подобная конструкция нуждается в доработке.

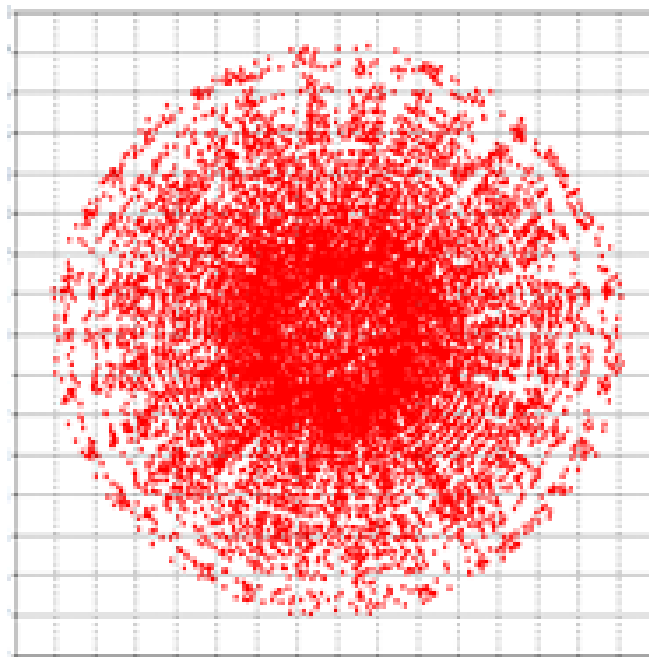


Рис. 7. Сечение пучка в плоскости кроссовера

В данной научной работе использованы результаты, полученные в ходе выполнения проекта «Исследование распространения замедленных электромагнитных волн в многослойных диэлектриках и разработка СВЧ устройств на их основе», выполненного в рамках Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2013 году, грант №13-05-0017.

#### Литература

1. Electron Beams and Microwave Vacuum Electronics / by Shulim E.Tsimring. Wiley-Interscience. John Wiley & Sons, Inc., 2007.- 577p.
2. Электроника и радиофизика миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн / А.Я.Усиков, Э.А.Канер, И.Д.Трутень и др. – Киев: Наук. Думка, 1986 -386с.
3. Михеев Д.А., Саввин В.Л., Казарян Г.М., Коннов А.В. 3D – анализ влияния магнитной экранировки катода на внутреннюю структуру электронного пучка // Труды школы – семинара «Волны 2012». Секция 6. МГУ, 2012. - с.19-22.
4. Азов Г.А., Ефремова М.В. Численное моделирование и экспериментальное исследование электронно-оптической системы мощной спиральной ЛБВ импульсного действия // Материалы 10 Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2012)». Саратов, 2012. – с. 9-13.



## ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ФИЗИОТЕРАПИИ НА ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

<sup>1</sup>Пчельников Ю.Н., <sup>2</sup>Елизаров А.А., <sup>2</sup>Нестерова Д.А., <sup>2</sup>Шаймарданов Р.В.  
<sup>1</sup>*SloWaves, Inc., Cary, NC, USA.* <sup>2</sup>*Московский институт электроники и математики  
НИУ ВШЭ*

Проанализированы перспективы создания новых конструкций микроволновых электродов и излучателей для трансуретральной микроволновой термотерапии (ТУМТ) на замедляющих системах. Предложены и разработаны технические решения для создания таких резонансных структур на основе замедляющей системы типа «коаксиальный ребристый стержень».

**Prospects of new microwave electrodes and radiators for physiotherapy on slow wave systems creation. Pchelnikov Yu.N., Yelizarov A.A., Nesterova D.A., Shaymardanov R.V.**

Analyzed the prospects of new structures microwave electrodes and radiators for transurethral microwave thermotherapy (TUMT) on slow wave systems creation. Offered and technical solutions have been developed for the creation of such resonant structures on the basis of slow wave system of type «coaxial ribbed bar».

Разработка современных электродов и излучателей для микроволновой физиотерапии основана на использовании резонансных СВЧ структур с заданным распределением электромагнитного поля вблизи их поверхности, отличающихся простотой конструкции, возможностью изменения в широких пределах их волнового сопротивления и малыми габаритными размерами по сравнению с рабочей длиной волны. Указанные свойства позволяют применять для создания таких электродов и излучателей резонансные отрезки замедляющих систем [1, 2].

Практическая реализация отмеченных физических и конструктивных особенностей замедляющих систем позволила научной группе под руководством профессора Пчельникова Ю.Н. разработать и создать целый ряд внутрисполостных и наружных излучателей и электродов на спиральных структурах для радиочастотной и микроволновой физиотерапии (рис.1) [3-5].

Несмотря на очевидные преимущества таких электродов и излучателей, они имеют и отдельные недостатки. Так равномерное распределение излучения по поперечному сечению электрода не позволяет оказывать локальное воздействие на определенный орган (например, на предстательную железу). Другим недостатком является малая эффективность излучения, вызванная наличием воздушного зазора между внешним проводником излучателя и поверхностью облучаемого участка тела пациента.

В настоящее время для термотерапии урологических заболеваний широко используется аппарат «Ко Терм» шведской компании «Просталунд Оперейшн АБ», состоящий из микроволнового генератора, блока управления, системы циркуляции, температурных датчиков и излучающего спирального электрода, встроенного в специальный катетер (рис.2). При использовании в медицинской практике такой спиральный широкополосный излучатель имеет ряд недостатков, наиболее значимым из которых является затрудненный отвод тепла, ограничивающий выходную мощность прибора, и приводящий к возможным ожогам тонких эпитаксиальных тканей внутренних органов.

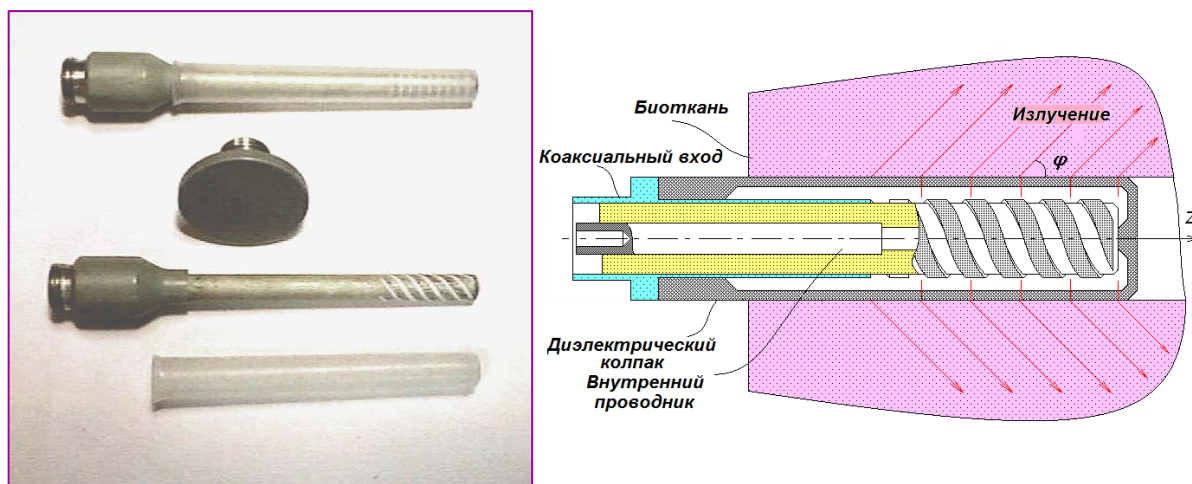


Рис.1. Спиральные электроды для внутрисполостной и наружной физиотерапии.

Микроволновая термотерапия основана на использовании электромагнитного излучения с частотами 300–2450 МГц. Электромагнитное излучение, превышающее 300 МГц, воздействуя на ткани, вызывает осцилляции свободных заряженных частиц, поляризованных молекул и диполей, что является причиной повышения температуры. Глубина проникновения микроволнового излучения уменьшается с увеличением частоты (рис.3).



Рис.2. Внешний вид излучателя «Котерм».

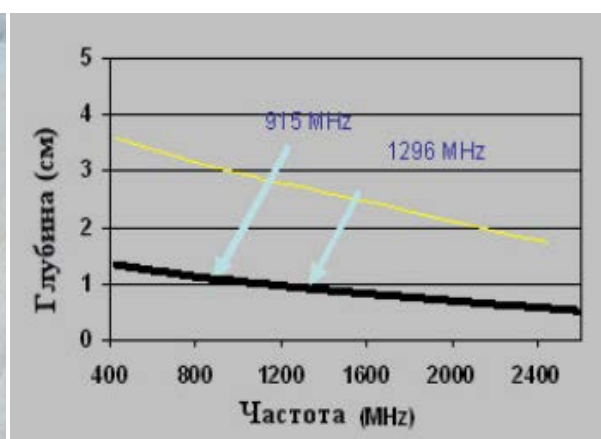


Рис.3. Глубина проникновения микроволнового излучения в зависимости от частоты.

Когда поглощение электромагнитной волны происходит далеко от излучателя, глубина проникновения максимальна, но на практике этот случай не применим. Обычно нагрев тканей происходит в области, прилегающей к микроволновому излучателю, где электромагнитное поле далеко от идеального, поэтому глубина проникновения будет значительно меньше теоретической.

Проведенные авторами теоретические и экспериментальные исследования [6, 7] показали перспективы использования для трансуретральной микроволновой термотерапии (ТУМТ-терапии) электродов и излучателей на основе замедляющих систем типа «коаксиальный ребристый стержень» с анизотропными экранами. Подобные излучатели имеют ряд следующих положительных особенностей:

- обеспечивают точную локализацию электромагнитной энергии в облучаемом участке тела;
- изменяют локальную зону нагрева внутрисполостного излучателя, как по длине, так и по азимуту;
- изменяют площадь зоны облучения.

На рис.4 показано два варианта выполнения такого излучателя, отличающиеся конструкцией внешнего экрана. Первая конструкция экрана выполнена в виде секторного цилиндра с продольными щелями, симметрично расположенными по образующим, а вторая – в виде цилиндра с продольным щелевым разрезом, угол раскрытия которого равномерно увеличивается от нуля со стороны коаксиального ввода до угла 180-3600 на рабочем конце излучателя.

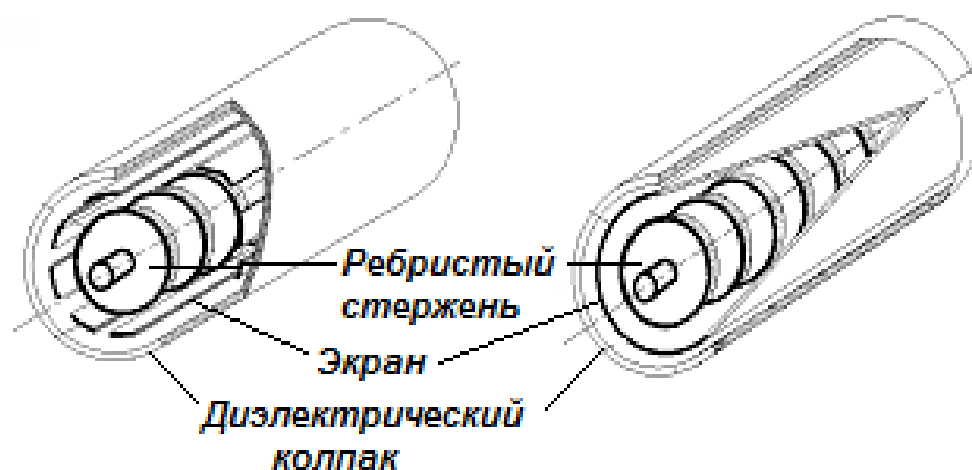


Рис.4. Варианты внутрисполостного излучателя для урологии.

Наличие продольных щелей или щелевого разреза у внешнего проводника приводит к росту волнового сопротивления излучателя с увеличением углового размера щели. При этом равномерное увеличение угла раскрытия позволяет обеспечить плавное изменение волнового сопротивления излучателя, что с учетом поглощения волны в тканях тела обеспечивает его хорошее согласование с генератором. Поскольку внешний проводник оказывает экранирующее действие, интенсивность излучения неравномерна по окружности и длине излучателя. Вне зависимости от величины углового размера продольной щели, интенсивность излучения максимальна в плоскости симметрии, проходящей через ее середину. Это позволяет, выбирая закон изменения размера щели, получать требуемое распределение интенсивности электромагнитного поля, как по окружности, так и по длине излучателя.

Практическая реализация описанного выше эффекта излучения возможна благодаря относительно большой диэлектрической проницаемости тела пациента (около 80) при замедлениях электромагнитной волны в резонаторной замедляющей системе излучателя порядка 3...6. Геометрическая длина электрода выбрана равной 30 мм (рабочая частота 2450 МГц), диаметр электрода - 12 мм. Количество ребер, укладываемых на данной длине, при равенстве ширины ребра и расстояния между ними, выбрано равным восьми (рис.5). Эти геометрические параметры прибора приемлемы для проведения урологических процедур ТУМТ – терапии [8].

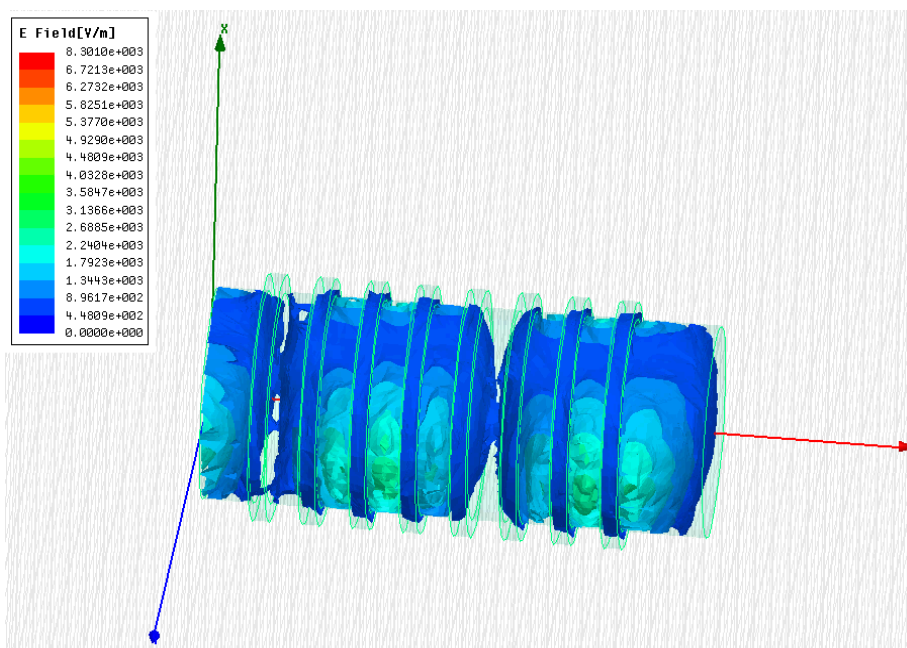


Рис.5. Модель электрода в программе Ansoft HFSS v.12.

Наличие зазора между внешним проводником резонатора и поверхностью облучаемого участка тела пациента может приводить к существенному уменьшению интенсивности излучения, вызванному как резким спадом амплитуды поля электромагнитной волны от поверхности внешнего проводника, так и экранирующим действием поверхности тела. При заполнении внутреннего пространства излучателя многослойной диэлектрической средой с линейно уменьшающимся от поверхности ребристого стержня до поверхности секторного цилиндра волновым сопротивлением, достигается его согласование с телом пациента, что увеличивает эффективность облучения.

Моделирование исследуемого электрода выполнено в пользовательской программе Ansoft HFSS v.12. В результате моделирования получено распределение магнитной и электрической составляющих поля вблизи поверхности электрода (рис.6а,б). Картины поля имеют периодическую структуру. Волна распространяется от порта, где осуществляется подача энергии СВЧ, к противоположному порту без затухания. Полученные зависимости наглядно демонстрируют снижение излучения в азимутальном направлении, что обеспечивает возможность эффективного локального облучения определенного участка тела пациента.

Кроме урологических процедур ТУМТ – терапии, предложенный электрод может быть использован также как источник излучения для микроволнового томографа при исследовании крупных кровеносных сосудов или пищевода. Кроме того, возможно его применение в качестве миниатюрной приемной антенны при радиометрии и термографии.

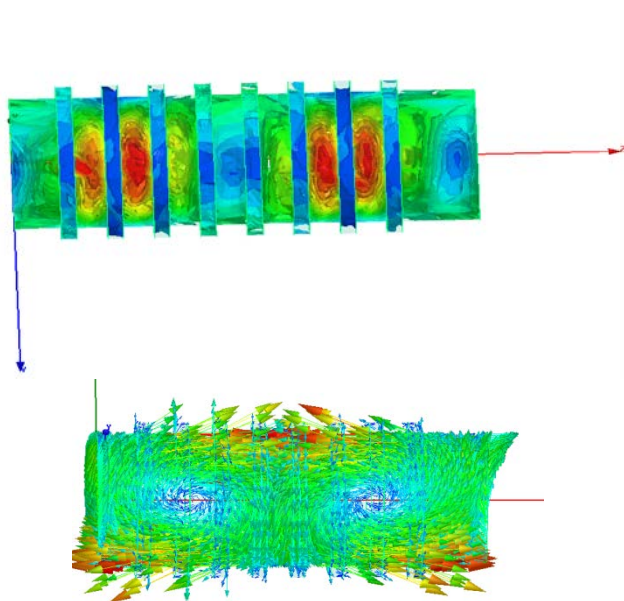


Рис.6а. Распределение магнитного поля вблизи поверхности электрода.

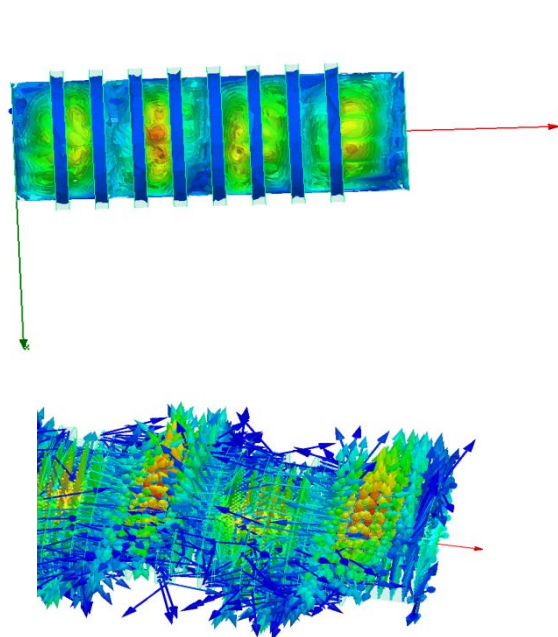


Рис.6б. Распределение электрического поля вблизи поверхности электрода.

Таким образом, рассмотрены и проанализированы перспективы создания новых конструкций микроволновых излучателей и электродов для физиотерапии на замедляющих системах, в частности, на основе замедляющей системы типа «коаксиальный ребристый стержень». Технологии на базе замедляющих систем обеспечивают новые функциональные возможности биомедицинских устройств, они просты, недороги и позволяют работать на относительно низких частотах. Возможность концентрации энергии вблизи поверхности замедляющей системы, а также возможность преимущественного сосредоточения энергии электрического или магнитного поля в заданной области позволяют обеспечить более высокую эффективность воздействия требуемым излучением, чем биомедицинские устройства на отрезках волноводных или коаксиальных линий.

В данной научной работе использованы результаты, полученные в ходе выполнения проекта «Исследование распространения замедленных электромагнитных волн в многослойных диэлектриках и разработка СВЧ устройств на их основе», выполненного в рамках Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2013 году, грант №13-05-0017.

### Литература

1. Елизаров А.А., Пчельников Ю.Н. Радиоволновые элементы технологических приборов и устройств с использованием электродинамических замедляющих систем. М.: Радио и связь, 2002. 200 с.
2. Елизаров А.А. Технологические процессы и устройства на замедленных электромагнитных волнах: современное состояние и тенденции развития / Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 1998. Т.1. №1. С.41-49.
3. Medical application of slow-wave structures / Yu.N. Pchelnikov // 40<sup>th</sup> Annual Microwave Symposium Proceedings. August 9-11, 2006. P.1-5.
4. Medical application of slow electromagnetic waves / Yu.N. Pchelnikov, А.А. Yelizarov // Proceedings International University Conference "Electronics and Radiophysics of Ultra-High Frequencies (UHF-99)". St.Petersburg, May 24-28, 1999. P.464-467.

5. Елизаров А.А., Шаймарданов Р.В. Особенности применения замедленных электромагнитных волн в биологии и медицине // Материалы 10-й юбилейной Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения «АПЭП-2012». Саратов, 2012. С.219-227.

6. Елизаров А.А., Шаймарданов Р.В. Исследование электрода для трансуретральной микроволновой термотерапии на основе замедляющей системы типа коаксиальный ребристый стержень // Труды LXVII Научной сессии, посвященной Дню радио. Москва, 2012. С.369-372.

7. Елизаров А.А., Шаймарданов Р.В., Нестерова Д.А. Исследование электрода на основе коаксиальной ребристой линии для лечения доброкачественной гиперплазии простаты // Медицинская физика и инновации в медицине: материалы V Троицкой конф. ТКМФ-5. Троицк, 2012. Т.2. С.294-296.

8. Окавитов В.В. Практика ТУР операций. М.: «Мирмед», 2005.

## **АЛГОРИТМЫ ВЫВОДА ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ ВЕТВЯЩЕГОСЯ ВРЕМЕНИ**

Еремеев А.П., Куриленко И.Е.  
*Москва, НИУ «МЭИ»*

Рассматриваются методы организации временных (темпоральных) рассуждений (методы темпорального вывода) в интеллектуальных системах на примере систем поддержки принятия решений. Основное внимание уделяется метрической точечной темпоральной логике ветвящегося времени и ее использованию в системах реального времени.

### **ALGORITHMS OF REASONING FOR POINT TEMPORAL LOGIC OF BRANCHING TIME. Eremeev Alexander Pavlovich, Kurilenko Ivan Evgenjevich**

Some methods of temporal reasoning in intelligent systems on the example of decision support systems are considered. The focus is on the metric dot temporal logic of branching time and on the reasoning algorithms applicable for real-time systems.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты №№ 11-01-00140, 12-07-31239

#### **1. ВВЕДЕНИЕ**

Во многих работах, в которых рассматривается вопрос моделирования времени и временных (темпоральных) зависимостей в интеллектуальных системах (ИС), как правило, основное внимание уделяется моделям (темпоральным логикам) с линейной структурой времени. Для таких логик существует полностью определенное отношение предшествования для темпоральных примитивов (моментов или интервалов) или, иначе говоря, единственное будущее и единственное прошлое [1,2]. Однако, говоря о топологии времени, необходимо учитывать и возможность ветвящейся (branching) и параллельной структуры времени [3,4].

Ветвящаяся структура времени (ветвящееся время) в отличие от линейной допускает множественность будущего и/или прошлого. Такое время соответствует концепции «возможных миров» Крипке (Kripke) и позволяет моделировать различные пути развития ситуаций (различные параллельные миры) [4]. Модели (логики) ветвящегося времени целесообразно использовать в ИС поддержки принятия решений

реального времени (ИСППР РВ) при прогнозировании последствий принимаемых решений или развития некоторой ситуации в условиях дефицита времени.

## 2. ТЕМПОРАЛЬНЫЕ ЛОГИКИ ВЕТВЯЩЕГОСЯ ВРЕМЕНИ

В работе [4] рассмотрены различные виды логики ветвящегося времени в плане их использования для поиска решений в ИСППР РВ. В частности, анализируются возможности достаточно выразительной *пропозициональной темпоральной логики ветвящегося времени* (BPTL - Branching-Time Propositional Temporal logic). BPTL является расширением *модальной пропозициональной темпоральной логики* (PTL), построенной на основе классической логики добавлением модальных операторов для дискретного линейного времени [5]. В логике PTL моделью времени является упорядоченная последовательность натуральных чисел, т.е. каждое состояние имеет одного и только одного преемника. В BPTL для каждого состояния не обязательно наличие единственного преемника и может быть множество возможных путей (последовательностей состояний) из любого данного состояния и, следовательно, возможно несколько различных «будущих». Моделью времени в BPTL является инфинитное дерево, каждая вершина которого имеет финитное, ненулевое число преемников. Вершина дерева может рассматриваться как возможное состояние, а ветвь или путь – как история возможного мира. Допускается существование лишь одного прошлого, но будущему разрешается быть открытым. Чтобы специфицировать состояния дерева, для которых правильно построенная формула (ППФ) является истинной, необходимо идентифицировать путь, содержащий это состояние, и позицию состояния на этом пути. Таким образом, делается различие между *формулой пути* (*path formulae*) и *формулой состояния* (*state formulae*). Формула пути является формулой PTL, а формула состояния указывает тот путь, на котором следует интерпретировать формулу пути, т.е. эта формула интерпретируется на данном состоянии пути. Например, если  $p$  есть утверждение и  $s$  есть состояние, то формула  $\exists \square p$  будет истинной в интерпретации «если существует путь, порождаемый в  $s$  и на котором все состояния удовлетворяют  $p$ ». Обобщенно, если  $p$  есть формула пути, то  $\forall p$  и  $\exists p$  – формулы состояния. В состоянии  $s$  формула  $\forall p$  интерпретируется как истинная, если формула  $p$  истинна для всех путей, ветвящихся (исходящих) из  $s$ , а формула  $\exists p$  интерпретируется как истинная, если  $p$  истинна хотя бы на одном пути, исходящим из  $s$ .

ППФ является *выполнимой* (*consistent*), если она истинна в некотором состоянии при некоторой интерпретации, и *общезначимой* (*valid*), если она истинна в каждом состоянии при каждой интерпретации. Отрицанием общезначимой ппф является *невыполнимая* (*inconsistent*) ппф.

## 3. ТОЧЕЧНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ ЛОГИКИ

С точки зрения практической реализуемости выделяются темпоральные логики, построенные с использованием парадигмы согласования ограничений. Среди них наиболее простой и приемлемой по вычислительной сложности для применения в составе современных ИС типа ИСППР РВ является точечная темпоральная логика [6,7]. Реализация алгоритмов вывода в такой логике основывается на переходе к *задаче согласования темпоральных ограничений* (ЗСТО), определяемой как  $Z = (V, D, BTR, C)$  [7,8], где:

- $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$  – конечное множество темпоральных переменных (моментов времени);
- $D$  – область значений темпоральных переменных (множество целых чисел);
- $BTR = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  – конечное множество взаимноисключающих бинарных базовых темпоральных ограничений, полное объединение которых является универсальным

ограничением  $U$  (не накладывающим каких-либо ограничений);

▪  $C = \{C_{ij} / C_{ij} = \{r_1, \dots, r_k\}; k > 0; r_1, \dots, r_k \in BTR; i, j \leq m\}$ , конечное множество ограничений, где  $C_{ij}$  – ограничение над темпоральными переменными  $V_i$  и  $V_j$ , интерпретируемое как  $(V_i, r_1, V_j) \vee \dots \vee (V_i, r_k, V_j)$ . Если  $C_{ij}$  состоит только из одного дизъюнкта, то оно называется *точным*.

Ограничения между темпоральными примитивами представлены в виде качественных бинарных ограничений, т.к. с их помощью можно представить любые ограничения более высокого порядка.

Для решения задачи выполнимости необходимо найти множество не противоречащих друг другу ограничений  $C^* = \{C_{ij}^* / C_{ij}^* = \{r_i\}, r_i \in C_{ij}\}$ . Если такого множества построить нельзя, то ЗСТО является *несогласованной*. Если задачи выполнимости имеет по крайней мере одно решение, то ЗСТО называется *согласованной*.

Основными операциями над темпоральными ограничениями являются: отрицание ( $\neg$ ):  $\neg L_{ij} = U \setminus L_{ij}$ ; инвертирование ( $\sim$ ):  $\sim(r_1, \dots, r_k) = (\sim r_1, \dots, \sim r_k)$ ; пересечение ( $\cap$ ):  $S \cap T = \{r / r \in S, r \in T\}$ ; композиция ( $\bullet$ ):  $T \bullet S = \{t_1, \dots, t_k\} \bullet \{s_1, \dots, s_q\} = \{t_1 \bullet s_1, t_1 \bullet s_2, \dots, t_k \bullet s_q\}$ . Известно, что множество всех возможных типов темпоральных ограничений для двух темпоральных примитивов, состоящее из  $2^{|BTR|}$  типов ограничений, замкнуто относительно операций  $\neg, \sim, \cap, \bullet$  и образует *алгебру временных ограничений* [8,9].

ЗСТО называют *единичной* (ЕЗСТО), тогда и только тогда, когда в множество  $C$  входят только точные ограничения. При этом исходная ЗСТО сводится к проверке непротиворечивости (согласованности) ограничений из множества  $C$ . Ограничение  $C_{ij}$  выполнимо для переменных  $V_i$  и  $V_j$  тогда и только тогда, когда существует хотя бы одно решение ЗСТО, в котором  $C_{ij}$  является ограничением для этих переменных. Минимальным ограничением  $C_{ij}^{min}$  называется множество, состоящее только из выполнимых ограничений для  $V_i$  и  $V_j$ . ЗСТО называют *минимальной*, если все ее ограничения минимальны. Известно, что для любой ЗСТО всегда можно найти эквивалентную минимальную или показать несогласованность ограничений.

Вариация типов ограничений, используемых в множестве ВТР, позволяет получать темпоральные логики различной выразительности. Например, можно построить качественную точечную темпоральную логику, используя множество ограничений  $BTR = \{=, <, \leq, \neq, \geq, >\}$ , или метрическую точечную темпоральную логику, используя в качестве базового ограничения  $V_j - V_i \in [a, b]$ , где  $a, b \in \mathbb{R}$ . Метрическая логика позволяет представлять не только информацию о расположении темпоральных примитивов, но и задавать длину темпоральных интервалов. В общем случае, в метрических точечных ЗСТО (МЗСТО) ограничения представляют собой набор попарно непересекающихся интервалов:  $C_{ij} \equiv \{I_1, \dots, I_k\} = \{[a_1, b_1], \dots, [a_k, b_k]\}$ . Бинарное ограничение  $C_{ij}$  интерпретируется как  $(a_1 \leq V_i - V_j \leq b_1) \cup \dots \cup (a_k \leq V_i - V_j \leq b_k)$  и ограничивает разрешенную дистанцию между моментами времени  $X_i$  и  $X_j$ .

Рассмотрим основные операции над метрическими ограничениями. Инверсия ограничения  $C_{ij} \equiv \{[a_1, b_1], \dots, [a_k, b_k]\}$  определяется как  $\sim C_{ij} = \{[-a_1, -b_1], \dots, [-a_k, -b_k]\}$ . Пересечение  $T \cap S$  ограничений  $T$  и  $S$  содержит такие значения, которые одновременно присутствуют в обоих ограничениях. Композиция  $T \bullet S$  ограничений  $T$  и  $S$  определяется как  $T \bullet S = \{r / \exists t \in T, s \in S: r = t + s\}$ . Рассмотрим пример. Пусть  $C_1 = \{[1, 4], (6, 8)\}$  и  $C_2 = \{(0, 1), (3, 5), [6, 7]\}$ . Тогда  $C_1 \cap C_2 = \{[1], (3, 4), (6, 7)\}$ . Пусть  $C_3 = \{[1, 2], (6, 8)\}$  и  $C_4 = \{[0, 3], (12, 15)\}$ . Тогда  $C_3 \bullet C_4 = \{[1, 5], (6, 11), (13, 17), (18, 23)\}$ .

Известно, что качественные точечные ограничения могут быть преобразованы в метрические, метрические ограничения также могут быть преобразованы в качественные, но с частичной потерей информации.



Точечные темпоральные логики являются удобными для практической реализации, так как они достаточно выразительны и для них разработаны алгоритмы вывода с полиномиальной оценкой сложности [6].

#### 4. РЕАЛИЗАЦИЯ ВЕТВЯЩИХСЯ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЛОГИК

На основании точечных темпоральных логик можно построить логики ветвящегося времени, менее выразительные чем ВРТЛ, но более применимые на практике с точки зрения сложности алгоритмов вывода [4]. Построим на основе определения ЕЗСТО ветвящуюся ЗСТО (ВЗСТО). Сначала определим на базе ЕЗСТО сценарий как  $S_i=(V_i,C_i,S_j)$ , где  $S_0=(V_0,D,BTR,C_0)$  – ЕЗСТО, интерпретируемая как начальный сценарий;  $S_i$  – наследуемый сценарий, который расширяет множество переменных  $V_j$  и множество единичных ограничений  $C_j$  сценария  $S_j$ ,  $j<i$ , множествами  $V_i$  и  $C_i$  соответственно;  $D$  – область определения переменных (множество целых чисел),  $BTR$  – множество базовых временных ограничений. Сценарий является композитной ЕЗСТО, которую можно построить по иерархии наследования, задаваемой в определении сценария. Для каждого сценария, исходя из определения ЕЗСТО, можно поставить задачи перехода к минимальной ЗСТО и проверки согласованности, т.е. можно говорить о согласованном или несогласованном сценарии и сценарии в минимальном представлении. Будем называть *текущими сценариями* такие сценарии, для которых не существует наследуемых сценариев [4].

ВЗСТО определяется как множество альтернативных сценариев, унаследованных от одного начального сценария  $S_0$ ,  $VZ=\{S : S \text{ – сценарий}\}$ . Для ВЗСТО ставятся следующие подзадачи:

- проверка согласованности – проверка существования как минимум одного текущего согласованного сценария  $S_i \in VZ$ ;
- проверка истинности каких-либо утверждений для конкретного текущего сценария;
- преобразование всех ЕЗСТО, соответствующих согласованным сценариям, к минимальному виду;
- проверка истинности каких-либо утверждений для всех текущих сценариев или хотя бы для одного текущего сценария.

Исходя из практических соображений, следует допускать наследование только согласованных сценариев. Таким образом, каждый сценарий соответствует возможному варианту развития событий (задаваемому соответствующим множеством ограничений). Известны различные стратегии формирования сценариев в ВЗСТО. Источником ветвления на каждом шаге являются дизъюнктивные утверждения. Недизъюнктивные утверждения добавляются к каждому текущему сценарию и не приводят к ветвлению. В случае же дизъюнктивных утверждений к каждому сценарию добавляется ряд наследников. Например, при добавлении в ВЗСТО ограничения типа  $C_{ij} \vee C_{xy}$  для каждого текущего сценария должны быть добавлены три сценария: а) в котором обязательно наличие ограничения  $C_{ij}$ ; б) в котором обязательно наличие  $C_{xy}$ ; в) в котором обязательно наличие как  $C_{ij}$  так и  $C_{xy}$ . Естественно, что при такой постановке ветвление является существенной проблемой, т.к. ведет к сильному росту числа возможных сценариев. Однако существует приемы, которые могут быть использованы для ограничения ветвления. На практике может быть использован вариант внесения ограничений, связанных исключаящим *или* (т.е. нет необходимости порождения сценария, в котором обязательно наличие комбинации  $C_{ij}$  и  $C_{xy}$ ). Другой возможной стратегией является независимая достройка сценариев, когда каждый сценарий достраивается и разветвляется так, как это необходимо, исходя из решаемой задачи, и

внесение дизъюнктивного ограничения приводит к разветвлению конкретного сценария и может не затронуть все оставшиеся сценарии.

В работе [4] рассматривается вопрос построения ВЗСТО на основе качественной точечной темпоральной логики. В данной работе акцент делается на построении ВЗСТО на базе метрической темпоральной логики. С учетом определения метрического ограничения как непересекающегося набора интервалов, получаем возможность построения значительного числа сценариев путем генерации серии сценариев с уникальными комбинациями единичных ограничений для каждой пары временных переменных, получаемых на основе заданных дизъюнктивных ограничений (рис. 1). В работе [10] отмечается, что задача поиска всех согласованных сценариев для МЗСТО является NP-полной и отмечается, что для ее решения может быть применен алгоритм поиска с возвратами. Например, для МЗСТО, приведенной на рис. 2, существует 48 сценариев, из которых только 9 являются согласованными. В процессе генерации сценариев такой алгоритм осуществляет последовательное решение ЕЗСТО. В работе [10] отмечается, что наличие производительных алгоритмов решения МЗСТО в подклассе STP, позволит значительно улучшить процесс поиска всех возможных согласованных сценариев.



Рис. 1. Процесс порождения сценариев

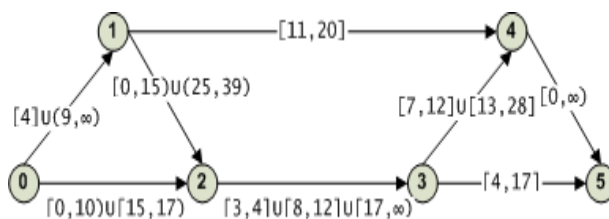


Рис. 2. Пример МЗСТО

## 5. РЕШЕНИЕ МЕТРИЧЕСКИХ ЗСТО

Решением МЗСТО является множество интервалов, полученное путем выбора одного интервала для каждого ограничения  $C_{ij}$  так, чтобы они не противоречат друг другу. Доказано [11], что эта задача является NP-полной. Для решения МЗСТО используется алгоритм согласования по путям (алг. 1). Ограничение  $C_{ij}$  согласовано по путям тогда и только тогда, когда  $C_{ij} \subseteq \bigcap_k (C_{ik} \bullet C_{kj})$ . Множество ограничений согласовано по путям тогда и только тогда, когда все входящие в него ограничения согласованы по путям. С помощью алг. 1 можно решить МЗСТО за время  $O(n^3 \delta^3)$ , где  $n$  – число переменных, а  $\delta$  – диапазон ограничений (разница между наибольшим и наименьшим значениями времени, которые использованы в качестве ограничений) [11]. Следует отметить, что при больших значениях  $\delta$  обеспечение согласованности становится проблематичным.

**Алгоритм 1.** Согласование по путям для МЗСТО.

**Входные данные:**  $(V, C)$  – МЗСТО.

**Выходные данные:**  $(V, C)$  – согласованная по путям МЗСТО.

01:  $Q \leftarrow \{(i, k, j) \mid (i < j) \text{ и } k \neq i, j\}$

02: **while**  $(Q \neq \emptyset)$  // Выбираем и удаляем путь  $(i, k, j)$  из множества  $Q$

03: **if**  $(C_{ij} \neq C_{ik} \bullet C_{kj})$  {

04:  $C_{ij} \leftarrow C_{ij} \cap (C_{ik} \bullet C_{kj})$

05: **if**  $(C_{ij} = \emptyset)$  **return inconsistent**

06:  $Q \leftarrow Q \cup \{(i, j, k), (k, i, j) \mid 1 \leq k \leq n, i \neq k \neq j\}$

07: }

08: **return**  $(V, C)$

Второй проблемой, возникающей при решении МЗСТО, является фрагментация. Верхняя оценка числа интервалов в композиции временных ограничений  $C_{ik} \bullet C_{kj}$

равняется  $|C_{ik}| \cdot |C_{kj}|$ , где  $|C_{ik}|$  и  $|C_{kj}|$  - число интервалов в  $C_{ik}$  и  $C_{kj}$  соответственно. В результате общее число интервалов в согласованной по путям ЗСТО становится настолько велико, что обеспечение согласованности по путям выполняется за неприемлемое для реальных приложений время. Однако существует подкласс МЗСТО, для которых такая проблема не возникает. Этот подкласс известен как подкласс простых задач (Simple Temporal Problems, STP). В нем допустимы ограничения, содержащие только один интервал. МЗСТО преобразуется в так называемый *граф расстояний*, в котором для каждого ограничения  $C_{ik}=[a,b]$  создается две направленные связи  $(V_i, b, V_k)$  и  $(V_k, -a, V_i)$ . МЗСТО является согласованной, если в графе расстояний отсутствуют циклы с отрицательным весом. Минимальное решение ЗСТО соответствует минимальным расстояниям в графе, которые вычисляются с помощью алгоритма Флойда. В работе [11] предлагается интересный подход к решению проблемы фрагментации. Он основывается на факте, что МЗСТО в подклассе STP разрешимы за полиномиальное время. Алгоритм преобразует каждое ограничение  $C_{ij}=\{[a_1, b_1], \dots, [a_k, b_k]\}$  в ограничение  $C_{ij}'=\{[\min(a_i), \max(b_i)]\}$ . В результате получается МЗСТО в подклассе STP, которая решается с помощью рассмотренного ранее алг. 1. Ограничения  $C_{ij}'$  преобразуются в минимальные ограничения  $C_{ij}''$ . На последнем этапе осуществляется пересечение ограничений  $C_{ij}$  и  $C_{ij}''$ , что позволяет сократить размерность исходной задачи. Данная техника называется *верхне-нижним сжатием* [11]. Вычислительная сложность алгоритма верхне-нижнего сжатия составляет  $O(n^3 e^k + e^2 k^2)$ , где  $k$  – максимальное число интервалов в одном ограничении;  $n$  – число моментов времени;  $e$  – число ограничений. Более подробное описание этого и других методов решения проблемы фрагментации приведено в работе [11].

Перспективным выглядит алгоритм свободной согласованности по путям, решающий проблему фрагментации путем определения на множестве темпоральных ограничений новой операции – *свободного пересечения* ( $\nabla$ ). Для двух ограничений  $C_{ij}=\{I_1, \dots, I_k\}$  и  $C_{mn}=\{J_1, \dots, J_s\}$  свободное пересечение определяется как  $C_{ij} \nabla C_{mn} = \{I_1', \dots, I_k'\}$ , где  $\forall i, I_i'=[L_i, U_i]$  и  $L_i, U_i$  являются верхней и нижней границей ограничения, являющегося пересечением  $I_i$  и  $C_{mn}$ . Пусть  $C_1=\{[1,4), (6,8)\}$  и  $C_2=\{(0,1), (3,5), [6,7]\}$ . Тогда  $C_1 \nabla C_2=\{[1,4), (6,7)\}$ , тогда как  $C_1 \cap C_2=\{[1], (3,4), (6,7)\}$ . Доказано, что алгоритм свободного согласования по путям (алг. 2), завершается за время  $O(n^3 k^3 e)$ , где  $n$  – число переменных,  $e$  – число ограничений и  $k$  – максимальное число интервалов среди всех ограничений. На рис. 3 приведен пример результата алг.2 на МЗСТО, представленной на рис. 2. Видно, что количество интервалов в ограничениях уменьшилось, а не увеличилось.

---

**Алгоритм 2.** Свободное согласование по путям для МЗСТО.

---

**Входные данные:**  $(V, C)$  - МЗСТО.

**Выходные данные:**  $(V, C)$  – согласованная по путям МЗСТО.

01:  $Q \leftarrow \{(i, k, j) \mid (i < j) \text{ и } k \neq i, j\}$

02: **while**  $(Q \neq \emptyset)$  // Выбираем и удаляем путь  $(i, k, j)$  из множества  $Q$

03: **if**  $(C_{ij} \neq C_{ik} \bullet C_{kj})$  {

04:  $C_{ij} \leftarrow C_{ij} \nabla (C_{ik} \bullet C_{kj})$

05: **if**  $(C_{ij} = \emptyset)$  **return inconsistent**

06:  $Q \leftarrow Q \cup \{(i, j, k), (k, i, j) \mid 1 \leq k \leq n, i \neq k \neq j\}$

07: }

08: **return**  $(V, C)$

---

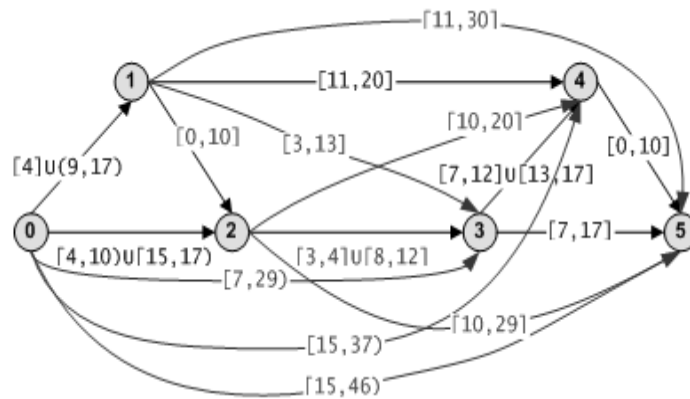


Рис. 3. Изменение МЗСТО после свободного согласования по путям

### 6. ГЕНЕРАЦИЯ СЦЕНАРИЕВ В ВЕТВЯЩЕЙСЯ МЗСТО

Алгоритм свободной согласованности по путям может быть применен в качестве шага предварительной обработки при решении задачи поиска всех согласованных сценариев в МЗСТО (LPC-1). Его применение оказывает положительное влияние, значительно уменьшая число возможных сценариев путем отсечения несогласованных сценариев (рис. 4). Предлагаются использовать улучшенную версию алгоритма поиска согласованных сценариев МЗСТО (LPC-2) (алг. 3).

**Алгоритм 3.** Алгоритм поиска всех согласованных сценариев МЗСТО.

**Входные данные:**  $(V, C)$  - МЗСТО.

**Выходные данные:**  $S = \{(V_k, C_k)\}$  – согласованные сценарии.

01:  $S' \leftarrow \{(V, C)\}, S \leftarrow \emptyset$

02: **do** {

03:  $S \leftarrow S', S' \leftarrow \emptyset$

04: **foreach** ( $S_i = (V_i, C_i) \in S$ ) {

05: **if** ( $S_i = \text{Алгоритм 2}(S_i)$  согласована)

06: **if** ( $S_i = (V_i, C_i)$  содержит дизъюнктивное ограничение  $C_{lm}$ ) {

07: **foreach** ( $[a_k, b_k] \in C_{lm}$ )  $S' \leftarrow S' \cup \{(V_i, C_i \cup \{C_{lm} = \{[a_k, b_k]\})\}$  }

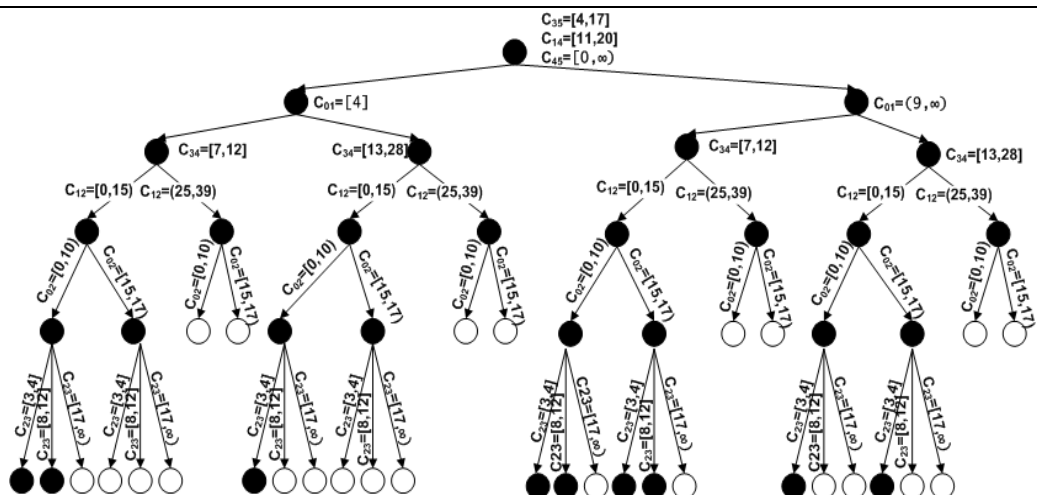
08: }

09: **else**  $S' \leftarrow S' \cup \{S_i\}$

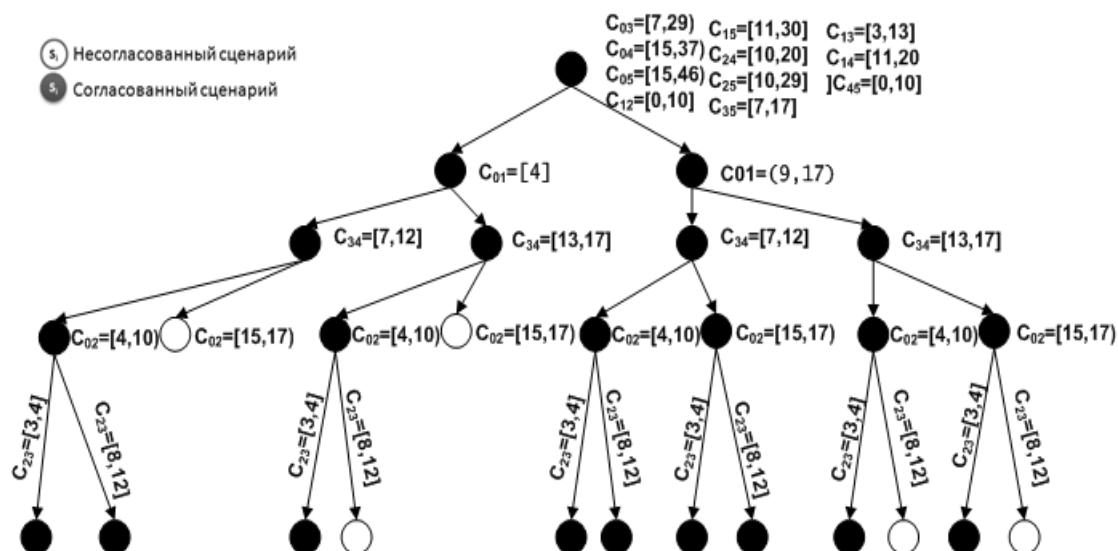
10: }

11: } **while** ( $S' \neq S$ )

12: **return**  $S'$



а) дерево поиска решений для простой стратегии поиска всех согласованных сценариев



б) дерево поиска решений для LPC-1 стратегии поиска всех согласованных сценариев

Рис. 4. Сравнение стратегий поиска всех согласованных сценариев

Алг. 3 выполняет сжатие МЗСТО с помощью свободного согласования по путям на каждом шаге ветвления, что позволяет отсечь несогласованные сценарии и уменьшить число ветвлений. В табл.1 приведено сравнение алгоритмов поиска всех согласованных сценариев для рассмотренного ранее примера на рис. 3. Как видно, алгоритм LPC-2 позволяет значительно уменьшить число ветвлений по сравнению с простым алгоритмом поиска с возвратами.

Таблица 1. Сравнение алгоритмов генерации согласованных сценариев

	Простой	LPC-1	LPC-2
<b>Вычислено композиций:</b>	7261	3688	2542
<b>Ветвлений:</b>	62	26	16
<b>Согласованных сценариев:</b>	9	9	9
<b>Согласований по путям (алг.1):</b>	86	38	9
<b>Согласований по путям (алг. 2):</b>	0	1	23

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главной проблемой при компьютерной реализации темпоральных логик ветвящегося времени является нахождение полиномиальных подклассов алгоритмов вывода, в общем случае характеризующихся NP- или экспоненциальной сложностью. Предложена новая итеративная схема отсека несогласованных сценариев, позволяющая находить их с меньшими вычислительными затратами и за меньшее время, что полезно для реализации средств вывода на базе ветвящихся временных логик в ИСППР РВ.

## Литература

1. Еремеев А.П. Логика ветвящегося времени и ее применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Сб. тр. 10 нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. уч. КИИ-2006. В 3-х т. Т.3. М.: Физматлит, 2006, с. 746-754.
2. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Реализация механизма временных рассуждений в современных интеллектуальных системах // Изв. РАН. Теория и системы управления, 2007, № 2, с. 120-136.

3. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Средства темпорального вывода для интеллектуальных систем реального времени / Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Выпуск 4. / Под. Ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2010, 300 с., с. 222-252.
4. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Темпоральные модели на основе логики ветвящегося времени в интеллектуальных системах // Искусственный интеллект и принятие решений, 2011, № 1, с. 14-26.
5. Torsun I.S. Foundations of Intelligent Knowledge-Based Systems // ACADEMIC PRESS, London, 1998.
6. Еремеев А.П., Троицкий В.В. Модели представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Изв. РАН. Теория и системы управления, 2003, №5, с. 75-88.
7. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Моделирование временных рассуждений в интеллектуальных системах реального времени // Вестник МЭИ, 2008, № 1, с. 114-123.
8. Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Компонента временных рассуждений для интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени//Искусственный интеллект и принятие решений 2009, №1, с.32-45.
9. Gereviny A. and Schubert L. Efficient Algorithms for Qualitative Reasoning about Time. // Technical report 496, Department of Computer Science, University of Rochester, Rochester, NY, 1993.
10. Schwalb E. M. Temporal reasoning with constraints // Ph. D. dissertation, University of California, Irvine, 1998.
11. Yang Shi, Anagh Lal, Berthe Y. Choueiry, Evaluating Consistency Algorithms for Temporal Metric Constraints // AAAI '04 Proceedings, AAAI 04 L. Pages 970-971. Copyright 2004, AAAI.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ

Иванов С.А.

*ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет»*

Проанализированы активные и пассивные методики. Рассмотрены основные группы пассивных методов – методы на основе силуэтов и по согласованию цветов, выявлены положительные и отрицательные стороны.

### **Research methods of creation of models real objects for reconstruction. Ivanov S.A.**

Analyzed active and passive methods. Considered are the main groups of passive methods – methods on the basis of shapes and color matching, identified the positive and negative sides.

Разработка систем создания виртуальной реальности является на сегодняшний день одной из самых бурно развивающихся областей информатики. Помимо новейших разработок по 3D-печати и анимации виртуальных объектов в число наиболее важных входит задача создания виртуальной реальности, геометрия которой повторяет геометрию реальной трёхмерной среды. К сожалению, на данный момент на рынке

программной продукции очень мало систем, позволяющих решать данную задачу в полной мере и наиболее эффективно.

Можно выделить три основных подхода, которые используются при создании виртуальных моделей реальных объектов современными системами:

1. Ручной метод, используя системы моделирования, такие как 3D Max, Maya и т.д.
2. Автоматизированный метод, используя шаблоны и «оттачивая» их имеющимися физическими свойствами реального объекта.
3. Метод восстановления объекта по имеющимся изображениям и другой информации.

Первые два метода используются с каждым днём всё реже – они трудоёмки, крайне затратны по времени и в настоящий момент применяются только для простейших объектов. Поэтому для современных систем моделирования особенно интересен третий способ.

Все методы можно разделить на два типа: активные и пассивные. Активные методы используют устройства, напрямую взаимодействующие с объектами. К подобным устройствам можно отнести лазерные сканеры, которые благодаря своей точности вычисления расстояния от луча до объекта могут качественно воспроизводить геометрическую форму сканируемого объекта. Но активные методы имеют существенные ограничения – прежде всего это высокая стоимость оборудования, используемое для сканирования, и, разумеется, невозможность работать с динамическими сценами – объект должен быть статичным.

Пассивные методы используют исключительно фотографии и последовательности изображений, полученных при естественном освещении или приближенном к естественному, например, при свете обычных ламп. На сегодняшний день пассивные методы наиболее интересны для изучения, т.к. дают неизмеримо больше возможностей по сравнению с активными, например возможность моделирование динамических сцен, в том числе и с участием людей.

Среди пассивных методов наибольшее распространение получили две группы методов – на основе силуэтов и по согласованию цветов. Очевидный минус методов на основе силуэтов – построение лишь видимых поверхностей объекта (что было доказано в 1991г. Лаурентини), в то время как основная погрешность метода, использующего согласование цветов – большие погрешности при резком переходе цвета и углов объекта. При создании моделей реальных объектов слабая сторона известных методов согласования цветов ярко выраженная – большинство исследуемых объектов, будь то предметы быта, промышленные объекты или исторические артефакты имеют угловатые поверхности, многие из них декорированы и раскрашены различными цветами, что даёт большую погрешность при создании моделей.

Но при детальном рассмотрении методов на основе силуэта можно сделать вывод, что они меньше подходят для создания моделей вышечисленных объектов. Основным достоинством этих методов является независимость от диффузных поверхностей – объекты могут иметь зеркальную, отражающую поверхность. Но в то же время главным недостатком является невозможность точного определения формы объекта: может строиться только видимая поверхность, форма которой в подавляющем большинстве случаев отличается от формы объекта. К этому существенному минусу добавляется невозможность передачи текстуры, тем самым данные методы позволяют нам получить только геометрические проекции.

Из всего вышесказанного следует сделать вывод, что при разработке моделей реальных объектов для их возможной реконструкции больше подходят методы на основе силуэтов. Разработав дополнительные алгоритмы, помогающие избежать

проблемы резкого перехода цветов и углов между гранями на объектах, можно получить как геометрическую проекцию в трёх измерениях, так и текстуру, цветовую гамму реального объекта на создаваемой модели. Также следует отметить, что используя методики связанных воксельных пространств можно воссоздавать модели динамических сцен, получая и геометрическую проекцию с текстурой объекта, и движение его во времени.

### Литература

1. Жеребятьев Д.И., Кончаков Р.Б. Применение методики трёхмерного пространственного анализа для изучения формирования городской застройки и восстановления культурного наследия на примере реконструкции городской застройки г. Тамбова кон. 18 – нач. 19 вв./ Международный молодёжный научный форум "Ломоносов–2009": Материалы докладов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Ломоносов" / Отв. ред. И.А. Алешковский, П.Н. Костылев, А.И. Андреев. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2009, – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM), ISBN: 978-5-317-02774-2 (тезисы доклада).
2. Ковальченко И.Д. Методы исторического исследования. – М., 1987. – С. 281 – 357.
3. Bishop C. Fuchs H. et al. Research Directions in Virtual Environments. Computer Graphics, v.26 (3), Аид. 1992, p.153-177.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАНОНИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА МАСЛОВА В ЗАДАЧАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Ипатов Е.Б., Лукин Д.С., \*Палкин Е.А., Ипатов Д.Е.  
*Долгопрудный, МФТИ (ГУ); \*Москва, Рос НОУ*

Представлены численные алгоритмы для расчёта структуры волновых полей в областях каустической фокусировки в регулярно неоднородной ионосфере Земли. Алгоритмы разработаны на основе метода канонического оператора Маслова.

### **Application of maslov canonical operator method in the problems of propagation of electromagnetic pulses. Ipatov E., Lukin D., Palkin E., Ipatov D.**

The numerical algorithms are presented for the modelling of wave fields structure in the regions of caustic focusing for the regular inhomogeneous ionosphere of the Earth. The algorithms are constructed on the base of Maslov's canonical operator method.

Знания о структуре земной ионосферы и характерных особенностях распространения в ней электромагнитных волн используются для создания высокоэффективных систем связи, радиолокации и навигации. Сведения о состоянии плазмы в ионосфере, соприкасающейся с нейтральной атмосферой, дают перспективные возможности для мониторинга и прогнозирования процессов в нейтральной атмосфере и сейсмических процессов в земной коре. Чувствительность ионосферной плазмы к земным геофизическим процессам может быть использована для выявления новых физических закономерностей, что повлечет за собой решение ряда прикладных задач, связанных с хозяйственной деятельностью человека и безопасностью его существования.

Электромагнитный импульс, прошедший через ионосферу, несет информацию, как о регулярной структуре ионосферы, так и о неоднородностях ионосферной плазмы.



Однако сложность выделения этой информации из основных характеристик сигнала: его формы и спектра – чрезвычайно велика, поскольку мы всегда имеем дело с интегральными эффектами, формируемыми в протяженной, пространственно неоднородной среде. Практически единственным методом, позволяющим выделить эффекты различного плана, остается прямое численное моделирование распространения электромагнитных сигналов, максимально учитывающее возможные радиофизические эффекты на трассе распространения. Поэтому методы и алгоритмы такого математического моделирования должны обладать высокой эффективностью, универсальностью и контролируемой достоверностью получаемых результатов. Разработке комплекса таких алгоритмов и посвящена данная работа.

Электромагнитное поле в ионосферной плазме без учета влияния магнитного поля Земли удовлетворяет уравнению Клейна-Гордона [1,2]:

$$\Delta \tilde{U} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \tilde{U}}{\partial t^2} = \frac{\omega_p^2(\vec{r})}{c^2} \tilde{U} , \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света;  $\omega_p = \omega_p(\vec{r})$  – круговая плазменная частота;  $t$  – время;  $\vec{r}$  – радиус-вектор текущей точки в декартовой системе координат;  $\tilde{U}$  – амплитуда поля, выбираемая нами в виде произведения  $\tilde{U}(\vec{r}, t) = A(\vec{r})S(t)$ . Далее мы будем предполагать, что плазменная частота от времени не зависит. Это предположение вполне оправдано, так как время распространения электромагнитного сигнала существенно меньше временных масштабов процессов, происходящих в ионосфере. В этом случае можно от функции  $\tilde{U}(\vec{r}, t)$  перейти к ее Фурье-компоненте  $U(\vec{r}, \omega)$  по формуле

$$U(\vec{r}, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{U}(\vec{r}, t) \exp(-i\omega t) dt . \quad (2)$$

Применяя преобразование (2) к уравнению (1) получим для Фурье-компоненты уравнение Гельмгольца [1-7]:

$$[\Delta + k^2 n^2(\vec{r}, \omega)] U(\vec{r}, \omega) = 0 , \quad (3)$$

с начальными условиями

$$U|_{\Omega} = A(\alpha, \beta, \omega) \exp(ik_0(\vec{e}, \vec{r})) F(\omega) . \quad (4)$$

Здесь  $k_0 = \omega / c$ ;  $n(\vec{r}, \omega)$  – показатель преломления, зависящий от пространственных координат  $\vec{r}$  и частоты волны  $\omega$ ;  $\vec{e}$  – единичная нормаль к поверхности  $\Omega$ . Значение  $R_0$  выбрано таким, чтобы  $U|_{\Omega}$  представляла бы собой амплитуду монохроматического волнового поля в дальней зоне источника для всего спектра функции  $S(t)$ ;  $F(\omega)$  – Фурье-образ исходного сигнала  $S(t)$ .

Будем считать, что, поверхность  $\Omega$ , на которой задаются начальные условия, имеет вид:

$$(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2} = R_0 \quad (5)$$

$$\alpha_n \leq \alpha \leq \alpha_v, \beta_n \leq \beta \leq \beta_v \quad (6)$$

где  $A(\alpha, \beta)$  – коэффициент, характеризующий амплитуду и диаграмму направленности излучения источника;  $\alpha, \beta$  – это угловые координаты на окружности радиуса  $R_0$  (в расчетах можно считать, что  $R_0=1\text{км}$ ), окружающей источник излучения;  $\alpha$  – угол между радиус-вектором  $\vec{r}$  и плоскостью  $y=0$ , совпадающей с плоскостью местной горизонтали в точке расположения передатчика на поверхности Земли;  $\beta$  – угол между вектором  $\vec{r}$  и плоскостью  $z=0$ .

В рамках метода канонического оператора Маслова (КОМ) [8-11,2-7] для асимптотического решения (3) с начальными условиями (4) следует построить решение гамильтоновой системы обыкновенных дифференциальных уравнений для координат  $(x, y, z)$  и  $(k_x, k_y, k_z)$ :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = k_x, & \frac{dk_x}{dt} = \frac{0.5\partial n^2(x, y, z)}{\partial x} \\ \frac{dy}{dt} = k_y, & \frac{dk_y}{dt} = \frac{0.5\partial n^2(x, y, z)}{\partial y} \\ \frac{dz}{dt} = k_z, & \frac{dk_z}{dt} = \frac{0.5\partial n^2(x, y, z)}{\partial z} \end{cases} \quad (7)$$

с начальными условиями Коши

$$\begin{cases} x_{t=0} = 0, & k_x|_{t=0} = \cos \alpha \cos \beta, \\ y_{t=0} = 0, & k_y|_{t=0} = \sin \alpha \cos \beta, \\ z_{t=0} = 0, & k_z|_{t=0} = \sin \beta. \end{cases} \quad (8)$$

Следует отметить, что параметр  $t$  в (7) совпадает с интегральным путем (вдоль лучевых траекторий) распространения квазимонохроматического сигнала в ионосфере и имеет размерность длины.

Численный алгоритм нахождения решения в исследуемой области (на поверхности Земли) состоит в следующем: в интервалах изменения углов выхода лучей (6), задаваемых диаграммой направленности передающей антенны, выполняем следующие действия.

1. Формируем сетку из  $N_\alpha \times N_\beta$  точек с равномерными шагами

$$\Delta_\alpha = \frac{\alpha_v - \alpha_n}{N_\alpha - 1}, \Delta_\beta = \frac{\beta_v - \beta_n}{N_\beta - 1} \quad (9)$$

по углам  $\alpha$  и  $\beta$ .

2. Проводим численное интегрирование системы дифференциальных уравнений (7) для каждого из  $N_\alpha \times N_\beta$  лучей с углами выхода, определяемыми согласно (9); численное интегрирование выполняется до тех пор, пока лучевая траектория не пересечет поверхность  $D_{\text{макс}} = \text{const}$ , где  $D_{\text{макс}}$  – дальность точки, заведомо превышающая дальность точек, в которых рассчитывается форма импульса, или поверхность  $H = H_{\text{макс}}$ ,  $H_{\text{макс}}$  – максимум слоя  $F_2$ .
3. Определяем точки пересечения каждой лучевой траектории

$$x = x(t, \alpha, \beta), y = y(t, \alpha, \beta) \quad (10)$$

с поверхностью  $X = X_C$ , где  $X_C$  - координата точки по оси  $X$ , для которой рассчитывается форма импульса.

4. Вычисляем в этих точках пересечения следующие величины:

- ✓  $T(\alpha, \beta)$  - значение независимой переменной  $t$ ;
- ✓  $Z(\alpha, \beta) = Z(T(\alpha, \beta), \alpha, \beta)$  – координату точки пересечения по оси  $z$ ;
- ✓  $Y(\alpha, \beta) = Y(T(\alpha, \beta), \alpha, \beta)$  – координату точки пересечения по оси  $y$ ;
- ✓  $k_z(\alpha, \beta) = k_z(T(\alpha, \beta), \alpha, \beta)$  – проекция волнового вектора на ось  $z$ ;
- ✓  $k_y(\alpha, \beta) = k_y(T(\alpha, \beta), \alpha, \beta)$  – проекция волнового вектора на ось  $y$ ;
- ✓ набег фазы  $\Phi(\alpha, \beta)$  как интеграл вдоль лучевых траекторий (10):

$$\Phi(\alpha, \beta) = \int_0^{T(\alpha, \beta)} n^2(x(t, \alpha, \beta), y(t, \alpha, \beta), z(t, \alpha, \beta)) dt; \quad (11)$$

- ✓ интегральное поглощение  $G(\alpha, \beta)$  вдоль траектории (10) [12];

- ✓ якобианы  $\mathbf{J}$  и  $\tilde{\mathbf{J}}$ , определяются по следующим формулам:

$$\mathbf{J} = \begin{vmatrix} x'_\alpha & x'_\beta & u_x \\ y'_\alpha & y'_\beta & u_y \\ z'_\alpha & z'_\beta & u_z \end{vmatrix}, \quad (12)$$

$$\tilde{\mathbf{J}} = \begin{vmatrix} x'_\alpha & x'_\beta & k_x \\ y'_\alpha & y'_\beta & k_y \\ (k_z)'_\alpha & (k_z)'_\beta & \frac{1}{2} \frac{\partial n^2}{\partial z} \end{vmatrix}. \quad (13)$$

Для вычисления якобианов необходимо значение производных  $x'_\alpha, y'_\alpha, z'_\alpha, x'_\beta, y'_\beta, z'_\beta, (k_y)'_\alpha, (k_y)'_\beta$ . Для определения этих производных вместе с лучевой траекторией с углом выхода  $\alpha$  мы интегрируем две соседние траектории с углом выхода  $(\alpha - \Delta\alpha, \beta)$  и  $(\alpha + \Delta\alpha, \beta)$ . Тогда для каждого  $t$  мы можем вычислить интересующие нас производные с помощью разностного соотношения:

$$\begin{cases} X'_\alpha = [X(t, \alpha + \Delta\alpha, \beta) - X(t, \alpha - \Delta\alpha, \beta)] / (2\Delta\alpha), \\ Y'_\beta = [Y(t, \alpha, \beta + \Delta\beta) - Y(t, \alpha, \beta - \Delta\beta)] / (2\Delta\beta). \end{cases} \quad (14)$$

В геометрическом приближении волновое поле можно определить по формуле:

$$U^{geom} = C^{geom} \sum_{k=1}^{N_{x,y}} A(\alpha_k, \beta_k) \left| \frac{\cos(\alpha_k)}{\mathbf{J}(\alpha_k, \beta_k)} \right|^{1/2} \times \exp \left\{ -G(\alpha_k, \beta_k) + i \left[ \Lambda \Phi(\alpha_k, \beta_k) - M^k \frac{\pi}{2} \right] \right\}, \quad (15)$$

где  $N_{x,y}$  – число лучей приходящих в точку с координатами  $(x, y)$ ;  $\alpha_k, \beta_k$  – угловые координаты луча с номером  $k$ ;  $M_k$  – число каустических точек вдоль лучевой траектории с номером  $k$ ;  $C^{geom} = 10^3$ ;  $\Lambda = 20\pi f / 3$ ;  $f$  – частота в мегагерцах.

Расчет поля по формуле (15) возможен всюду за исключением областей, где якобиан (12) близок к нулю. Поверхность, на которой якобиан равен нулю, является огибающей семейства лучевых траекторий в пространстве  $(x, y)$  и называется *каустикой*. В этих областях метод характеристик неприменим.

Для расчета волнового поля в окрестности каустик, а также в областях каустической тени можно использовать метод КОМ. Исходную диаграмму направленности, характеризуемую коэффициентом  $A(\alpha, \beta)$ , для данной задачи удается разбить на  $M$

поддиаграмм с коэффициентами  $A_k(\alpha, \beta)$  такими, что  $A(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^M A_k(\alpha, \beta)$  и для каждой из которых будет выполнено условие

$$\mathbf{J}(\alpha, \beta) \neq 0 \quad (16)$$

либо

$$\tilde{\mathbf{J}}(\alpha, \beta) \neq 0. \quad (17)$$

Как правило, одновременное невыполнение условий (4.16) и (4.17) для неоднородностей земной ионосферы возможно только в области антипода, которая нами не рассматривается. Варианты алгоритма расчета, учитывающие возможность такой особенности, представлены в работах [3,4].

Суммарное поле будет равно сумме полей от каждой из поддиаграмм, так как нелинейные эффекты при распространении электромагнитного сигнала нами не учитываются. Если для  $k$  – ой поддиаграммы в сечении  $X = const$  выполняется условие (17), то создаваемое согласно этой поддиаграмме поле на приемной антенне может быть вычислено по формуле (15).

Предположим, что в сечении  $X = const$  для каждой из поддиаграмм  $A_k(\alpha, \beta)$  справедливо соотношение (16). В этом случае асимптотическое решение задачи (3),(4) дается следующим выражением в форме интеграла от быстро осциллирующих функций:

$$U_k^{KOM}(X = const, \bar{Y}, \bar{Z}) = C^{KOM} \int_{\alpha_n}^{\alpha_v} A_k(\alpha, \tilde{\beta}(\alpha)) \exp(-G(\alpha, \tilde{\beta}(\alpha))) + \\ + i \frac{\omega}{c} \Phi(\alpha, \tilde{\beta}(\alpha)) \left| \frac{\mathbf{J}_0(\alpha, \tilde{\beta}(\alpha)) \tilde{\mathbf{J}}_y(\alpha, \tilde{\beta}(\alpha))}{u_x(\alpha, \tilde{\beta}(\alpha))} \right| d\alpha, \quad (18)$$

где  $C^{KOM} = (-ik_0 / 2\pi)^{1/2} \exp(i\sigma)$ ;  $\sigma$  – индекс инерции матрицы  $\tilde{\mathbf{J}}_y$ , умноженный на  $-\frac{\pi}{2}$ ;  $\bar{Y}, \bar{Z}$  – декартовы координаты точки, для которой рассчитывают поле в сечении  $X = const$  по осям  $y$  и  $z$ , соответственно. Функцию  $\tilde{\beta}(\alpha)$  строят следующим образом. В диапазоне изменения углов  $\alpha$  находим значение угла выхода  $\beta$ , который попадает в точку  $\{x = const, y = \bar{Y}, z = \bar{Z}\}$ . Интеграл (18), являясь главным членом

асимптотического решения, для условий исследуемой задачи практически полностью определяет функцию  $U(\vec{r})$ .

Если окажется, что условия (16) и (17) выполнены одновременно для всех поддиаграмм, то численное значение поля, вычисляемого по формулам (18) и (15) будут различаться не более чем на один процент.

Для построения континуума лучевых траекторий в пространстве  $(\vec{r} \times \vec{k})$  был разработан на языке C# комплекс программ ВЕАМН. При создании программы, выполняющей численное интегрирование системы обыкновенных дифференциальных уравнений (7–8), использовался модифицированный метод Кутты – Мерсона. Полное время расчёта всех фазовых траекторий на ПЭВМ с процессором Intel Core I5 не превышало

5 секунд (тактовая частота процессора – 2.6 ГГц; дальность трассы 3 тысячи километров) [13-14]. Разработка программного комплекса ВЕАМН была выполнена в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio 2010. Пользовательский интерфейс данного программного комплекса выполнен на основе новейшей технологии Windows Presentation Foundation. Опыт использования данного комплекса программ показал, что основной проблемой является уже не улучшение качества расчетных данных (соответствие точным решениям, привлечение поправок в асимптотических формулах и т.п.), а получение качественной и адекватной условиям экспериментов модели среды распространения.

### Литература

1. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. – М.: Наука. – 1967.
2. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: Наука. – 1990.
3. Ипатов Е.Б., Лукин Д.С., Палкин Е.А. Численная реализация метода канонического оператора Маслова в задачах распространения коротких радиоволн в ионосфере Земли // Изв. ВУЗов Радиофизика. Т. 33. – 1990. – № 5. – С. 562-573.
4. Ipatov E.B., Lukin D.S. and Palkin E.A. Maslov canonic operator in problems of numerical simulation of diffraction and propagation waves in inhomogeneous media // Sov. J. of Numer. Anal. and Math. Mod. – 1990. – V. 5. – No. 6. – P. 465-488.
5. Ипатов Е.Б., Глушнев С.Ф., Чивилёв В.И., Палкин Е.А. Моделирование дисперсионных эффектов радиосигналов в неоднородной ионосфере Земли // Радиотехника и электроника. Т. 48. – 2003. – № 12. – С. 1436-1442.
6. Ipatov E.B., Lukin D.S., Palkin E.A. and Shkolnicov V.A. Maslov canonical operator in problems of diffraction and EM Waves propagation in inhomogeneous media. // Papers of technical meeting on electromagnetic theory, EMT-90-163 171.173 OFSET '90, Fukuoka, Japan, Oct.14,1990 /Japan,Inst. of electrical ingeneers of Japan, 1990, P.39-48.
7. Ипатов Е.Б., Палкин Е.А., Лукин Д.С., Ипатов Д.Е. Численное моделирование структуры электромагнитных полей в зонах каустической фокусировки для регулярно неоднородной модели ионосферы // Нелинейный мир, 2012, Т. 10, № 4. С. 222-229.
8. Маслов В.П. Теория возмущений и асимптотические методы. – М.: МГУ, 1965.
9. Маслов В.П., Федорюк М.В. Квазиклассическое приближение для уравнений квантовой механики. – М.: Наука, 1976.
10. Лукин Д.С., Палкин Е.А. Применение канонического оператора Маслова

для численного решения задач дифракции и распространения волн в неоднородных средах // Теоретическое и экспериментальное исследование распространения дециметровых радиоволн / М.: ИЗМИР АН СССР, 1976. С. 149 - 167.

11. Лукин Д.С., Палкин Е.А. Численный канонический метод в задачах дифракции и распространения электромагнитных волн в неоднородных средах. – М.: МФТИ, 1982.

12. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973.

13. Ипатов Е.Б., Палкин Е.А., Чивилёв В.И., Ипатов Д.Е. Численное моделирование характеристик радиосигналов в локально возмущенной неоднородной анизотропной ионосфере Земли // Труды МФТИ, 2012, Т. 4, № 2. С. 47-53.

14. Ипатов Е.Б., Палкин Е.А., Чивилёв В.И., Ипатов Д.Е. Моделирование характеристик радиосигналов на ионосферных трассах // Нелинейный мир, 2013, Т. 11, № 1. С. 3-15.

## **СХОДИМОСТЬ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ БАРОКЛИННОЙ МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ**

Ипатова В.М.

*Долгопрудный, МФТИ (ГУ)*

Предполагается, что натурные измерения скорости воздуха используются для отыскания неизвестного начального состояния в двухслойной квазигеострофической модели атмосферы. Система уравнений модели аппроксимируется явной проекционно-разностной схемой. Доказывается теорема о сходимости численных решений задачи усвоения данных к ее точным решениям.

### **Convergence of numerical solutions to the data assimilation problem for the baroclinic atmospheric general circulation model. Ipatova V.**

It is assumed that the field measurements of air velocity are used to find the unknown initial state in a two-layer quasigeostrophic atmospheric model. The system of equations is approximated by an explicit projection-difference scheme. A theorem is proved that the numerical solutions of the data assimilation problem converge to its exact solutions.

В развитии современных методов анализа и управления природными объектами сложной структуры заметную роль играют обратные задачи идентификации и усвоения данных для систем, поведение которых моделируется уравнениями гидродинамики [1-12]. Одним из ключевых моментов теории является обоснование алгоритмов численного решения оптимизационных задач для рассматриваемых моделей. Вопросы сходимости численных решений сложны в их применении к нелинейным моделям гидродинамики. Обобщенные постановки исходных начально-краевых задач требуют тщательного анализа и согласования функциональных пространств при оценке невязок, исследовании численных методов и алгоритмов [13-18]. В настоящей работе рассматривается бароклиная двухслойная квазигеострофическая модель общей циркуляции атмосферы. Основными переменными модели являются баротропная и бароклиная составляющие функции тока, однако функция тока не относится к числу величин, для которых в метеорологии ведутся натурные наблюдения. По этой причине предполагается, что известны натурные измерения вектора скорости воздуха. Данные наблюдений используются для отыскания неизвестного начального состояния модели,

поскольку задача инициализации является одной из наиболее известных и часто решаемых на практике. Расхождение между наблюдаемыми величинами и результатами моделирования измеряется целевым функционалом стоимости. Доказывается разрешимость оптимизационной задачи при положительных значениях параметра регуляризации. Система уравнений модели аппроксимируется явной проекционно-разностной схемой, по отношению к которой рассматривается дискретная задача усвоения данных. Получена теорема об условиях и характере сходимости численных решений задачи усвоения данных к ее точным решениям.

Пусть  $S$  - двумерная сфера радиуса  $R$ , в  $\theta \in [0, 2\pi)$  - долгота,  $\varphi \in [-\pi/2; \pi/2]$  - широта,  $\Omega$  - угловая скорость вращения Земли,  $g$  - ускорение свободного падения,  $l = 2\Omega \sin \varphi$  - параметр Кориолиса,

$$\Delta = \frac{1}{R^2 \cos^2 \varphi} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{1}{R^2 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} \right) - \text{оператор Лапласа-Бельтрами,}$$

$$J(u, v) = \frac{1}{R^2 \cos \varphi} \left( \frac{\partial u}{\partial \theta} \frac{\partial v}{\partial \varphi} - \frac{\partial v}{\partial \theta} \frac{\partial u}{\partial \varphi} \right) - \text{якобиан.}$$

Атмосфера разбивается по высоте на два слоя, первому слою соответствуют значения давления от 0 до 500 мб, а второму - от 500 до 1000 мб,  $\psi_1 = \psi_1(\theta, \varphi, t)$ ,  $\psi_2 = \psi_2(\theta, \varphi, t)$  - функция тока внутри первого и второго слоя,  $x_1 = (\psi_1 + \psi_2)/2$ ,  $x_2 = (\psi_2 - \psi_1)/2$  - ее баротропная и бароклинная составляющие,  $x = (x_1, x_2)$ . Модель общей циркуляции атмосферы имеет вид [2, 19]

$$(1) \quad \frac{\partial \Delta x_1}{\partial t} + J(x_1, \Delta x_1 + l) + J(x_2, \Delta x_2) = \mu \Delta^2 x_1 - \sigma \Delta(x_1 + x_2) + f_1,$$

$$(2) \quad \begin{aligned} & \frac{\partial (\Delta - \alpha) x_2}{\partial t} + J(x_2, \Delta x_1 + l) + J(x_1, \Delta x_2) = \\ & = \mu \Delta^2 x_2 - \sigma \Delta(x_1 + x_2) + \alpha J(x_1, x_2) - \mu_1 \Delta x_2 + \sigma_1 x_2 + f_2, \\ & x|_{t=0} = x_0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $\sigma, \mu, \sigma_1, \mu_1, \alpha$  - положительные постоянные,  $f_1, f_2$  - заданные функции.

Обозначим через  $L_2^0 = \left\{ u(\theta, \varphi) \in L_2(S), \int_S u dS = 0 \right\}$  действительное гильбертово пространство со скалярным произведением  $(u, v) = \int_S uv dS$  и нормой  $\|u\| = (u, u)^{1/2}$ . С оператором  $(-\Delta)$  свяжем шкалу гильбертовых пространств  $H^p = H^p(S)$ ,  $p \in \mathbf{R}$ , полагая

$$H^p = \left\{ u(\theta, \varphi) \in L_2^0, \|(-\Delta)^{p/2} u\| < +\infty \right\}$$

Для вектор-функций  $x = (x_1, x_2)$  высоты два введем пространства  $V_p = V_p(S) = H^p \times H^p$ , с нормой  $PxP_p = (Px_1P_p^2 + Px_2P_p^2)^{1/2}$ , где  $V_0 = L_2^0 \times L_2^0$ ,  $PxP_0 \equiv PxP$ .

Пусть  $0 < T < +\infty$  - некоторый конечный момент времени, обозначим  $G = S \times (0, T)$ ,  $(\cdot, \cdot)_G$  и  $P \cdot P_G$  - скалярное произведение и норма в  $L_2(G)$ . Введем действительные пространства

$$X = L_2(0, T; V_3), \quad Y = L_2(0, T; V_2), \quad Y_1 = L_2(0, T; V_1), \\ Z = L_2(0, T; V_{-1}), \quad W = \left\{ x \in X, \frac{\partial x}{\partial t} \in Y_1 \right\}.$$

Будем далее обозначать через  $c$  различные положительные постоянные. Нам потребуются следующие утверждения.

**Лемма 1** [19, 20]. Имеют место неравенства

$$|b_2(u, v, w)| \leq c P u P_2 P v P_2 P w P_2 \quad \forall u, v, w \in V_2, \\ P \nabla u P_{L_4(S)} \leq 2^{1/4} P u P_1^{1/2} P u P_2^2 \quad \forall u \in H^2,$$

$$|(J(w, u), \Delta v) + (J(w, v), \Delta u)| \leq c P \nabla u P_{L_4(S)} P \nabla v P_{L_4(S)} P w P_2 \quad \forall u, v, w \in H^2.$$

**Лемма 2** [21]. Пусть  $B_0, B_1, B_2$  - три банаховых пространства, причем  $B_0 \subset B_1 \subset B_2$ ,  $B_0$ , пространства  $B_0$  и  $B_2$  рефлексивны,  $B_0$  компактно вложено в  $B_1$ , а  $B_1$  непрерывно вложено в  $B_2$ , и пусть  $W = \left\{ x \in L_{p_0}(0, T; B_0), \frac{\partial x}{\partial t} \in L_{p_1}(0, T; B_2) \right\}$ , где  $T$  конечно и  $1 < p_k < \infty, k = 0, 1$ . Тогда вложение  $W$  в  $L_{p_0}(0, T; B_1)$  компактно.

**Теорема 1** [2]. При всех  $x_0 \in V_2$  и  $f \in Z$  задача (1)-(3) имеет единственное решение  $x \in W$ , причем верны оценки  $\max_{0 \leq t \leq T} Px(t)P_1 + PxP_Y \leq c(Px_0P_1 + PfP_Z)$ ,  $\max_{0 \leq t \leq T} Px(t)P_2 + PxP_X \leq c(Px_0P_2 + PfP_Z)$ ,  $\|\partial x / \partial t\|_{Y_1} \leq c_1$ , где  $f = (f_1, f_2)$ ,  $c_1$  зависит от  $Px_0P_2$  и  $PfP_Z$ .

Задачу (1)-(3) кратко запишем в виде  $\Phi(x) = (f; x_0)$ . Из теоремы 1 вытекает, что существует ограниченный обратный оператор  $\Phi^{-1}: Z \times V_2 \rightarrow W$ , определенный на всем  $Z \times V_2$ .

**Лемма 3.** Пусть  $f \in Z$ ,  $x_n = \Phi^{-1}(f; y_n)$ ,  $x = \Phi^{-1}(f; x_0)$  и  $y_n \rightarrow x_0$  слабо в  $V_2$ . Тогда  $x_n \rightarrow x$  слабо в  $W$ .

**Доказательство.** Последовательность ограничена в . По теореме 1



последовательность является ограниченной в  $W$ . Выделим из нее сходящуюся под последовательность  $x_n \rightarrow z$  слабо в  $W$ . В силу леммы 2 тогда  $x_n \rightarrow z$  сильно в  $Y$ . В [22] показано, что  $C([0, T]; V_2)$  непрерывно вложено в  $W$ , поэтому  $y_n \rightarrow z(\theta, \varphi, 0)$  слабо в  $V_2$ . Используя оценки леммы 1, убеждаемся, что  $b_2(x_n, x_n, y) \rightarrow b_2(z, z, y)$  слабо в  $L_2(0, T)$  при  $y \in V_2$ . Переходя к пределу при  $n \rightarrow \infty$ , находим, что  $z$  является решением задачи (1)-(3), то есть  $z = x$ . Лемма доказана.

Пусть на измеримом множестве  $G_0 \subset G$  известны наблюдения за вектором скорости воздуха на первом и втором уровнях, которые задаются функциями  $u_k^0, v_k^0$ ,  $k = 1, 2$ . Обозначим через  $\chi$  характеристическую функцию  $G_0$  и продолжим  $u_k^0, v_k^0$  нулем на множество  $G \setminus G_0$ . Каждому решению задачи (1)-(3) сопоставим функции  $\psi_1(x) = x_1 - x_2$ ,  $\psi_2(x) = x_1 + x_2$ ,  $u_k(x) = \frac{1}{R} \frac{\partial \psi_k(x)}{\partial \varphi}$ ,  $v_k(x) = -\frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial \psi_k(x)}{\partial \theta}$ ,  $k = 1, 2$ .

Определим на  $W$  функционал стоимости

$$I(x) = m_1 \left\| \chi u_1(x) - u_1^0 \right\|_G^2 + m_2 \left\| \chi v_1(x) - v_1^0 \right\|_G^2 + m_3 \left\| \chi u_2(x) - u_2^0 \right\|_G^2 + m_4 \left\| \chi v_2(x) - v_2^0 \right\|_G^2,$$

где  $m_1, m_2, m_3, m_4$  - неотрицательные весовые множители.

Будем считать, что данные наблюдений используются для отыскания неизвестного начального состояния  $x_0$ , в то время как правая часть  $f$  в модели (1)-(2) известна и фиксирована. Определим на  $V_2$  функционал

$$J_\lambda(x_0) = \lambda \left\| x_0 - x_0^a \right\|_2^2 + I(\Phi^{-1}(f; x_0)), \quad (4)$$

где  $\lambda \geq 0$  - параметр регуляризации,  $x_0^a \in V_2$  - некоторое априорно известное приближенное значение  $x_0$ .

Рассмотрим следующую задачу усвоения данных: при заданном  $f \in Z$  найти функцию  $x_0 \in V_2$  такую, что

$$J_\lambda(x_0) = \inf \{ J_\lambda(y) \mid y \in V_2 \}. \quad (5)$$

Достаточные условия ее разрешимости дает

**Теорема 2.** Если  $\lambda > 0$  и функции  $u_k^0, v_k^0$ ,  $k = 1, 2$ , принадлежат  $L_2(G)$ , то задача (5) имеет решение.

**Доказательство.** Обозначим через  $m = \inf \{ J_\lambda(y) \mid y \in V_2 \}$  и рассмотрим минимизирующую  $J_\lambda$  последовательность  $\{y_n\}$ , то есть  $\lim_{n \rightarrow \infty} J_\lambda(y_n) = m$ . Если  $\lambda > 0$ , то последовательность  $\{y_n\}$  ограничена в  $V_2$ . Выделим из нее сходящуюся подпоследовательность  $y_n \rightarrow x_0$  слабо в  $V_2$ . Обозначим  $z_n = \Phi^{-1}(f; y_n)$ ,

$x = \Phi^{-1}(f; x_0)$ . По лемме 3 имеет место сходимость  $z_n \rightarrow x$  слабо в  $W$ . Из леммы 2 вытекает, что  $z_n \rightarrow x$  сильно в  $Y$ . Тогда  $u_k(z_n) \rightarrow u_k(x)$ ,  $v_k(z_n) \rightarrow v_k(x)$ ,  $k = 1, 2$ , сильно в  $L_2(G)$ . Таким образом  $\lim_{n \rightarrow \infty} I(z_n) = I(x)$ . По свойству слабой полунепрерывности снизу нормы имеем  $\|x_0 - x_0^a\|_2 \leq \limsup_{n \rightarrow \infty} \|y_n - x_0^a\|_2$  следовательно,  $J_\lambda(x_0) \leq m$ . Учитывая определение  $m$ , приходим к выводу, что  $x_0$  решением задачи (5). Поскольку  $J_\lambda(x_0) = m$ , то  $\mathbf{P}y_n \mathbf{P}_2 \rightarrow \mathbf{P}x_0 \mathbf{P}_2$ , значит  $y_n \rightarrow x_0$  сильно в  $V_2$ . Теорема доказана.

Перейдем к рассмотрению дискретного метода для отыскания приближенных решений задачи (5). Пусть  $\mathbf{H}_n$  - собственное подпространство оператора Лапласа-Бельтрами, соответствующее собственному значению  $\Lambda_n = n(n+1)$ . Обозначим через  $\mathbf{H}^N = \cup_{n=1}^N \mathbf{H}_n$ ,  $\Xi^N = \mathbf{H}^N \times \mathbf{H}^N$  и через  $P_N$  оператор ортогонального проектирования на  $\mathbf{H}^N$ . Пусть  $\tau = T/K$  - шаг сетки по времени,  $t_k = k\tau$ ,  $k = \overline{0, K}$ ,  $x^k$  - значение приближенного решения на слое  $t = t_k$ . Далее нам потребуется предположение о том, что при изменении  $\tau$  и  $N$  выполняется неравенство

$$\tau \Lambda_N = \tau N(N+1) \leq (\mu - \nu) \mu^{-2} \quad (6)$$

с некоторой константой  $\nu \in (0, \mu)$ .

Аппроксимируем задачу (1)-(3) явной проекционно-разностной схемой

$$\begin{aligned}
 & \Delta D_1^k / \tau + P_N J(x_1^k, \Delta x_1^k + l) + P_N J(x_2^k, \Delta x_2^k) \\
 & \quad + \sigma \Delta(x_1^k + x_2^k) - \mu \Delta^2 x_1^k = q_1^k \in \mathbf{H}^N, \\
 & (\Delta - \alpha) D_2^k / \tau + P_N J(x_2^k, \Delta x_1^k + l) + P_N J(x_1^k, \Delta x_2^k) \\
 & - \alpha P_N J(x_1^k, x_2^k) + \sigma \Delta(x_1^k + x_2^k) - \mu \Delta^2 x_2^k + \mu_1 \Delta x_2^k - \sigma_1 x_2^k = q_2^k \in \mathbf{H}^N, \\
 & \quad x^k \in \Xi^N, \quad k = \overline{0, K}, \quad x^0 = \rho \in \Xi^N,
 \end{aligned} \quad (7)$$

в которой  $D_j^k = x_j^{k+1} - x_j^k$ ,  $j = 1, 2$ . Задачу (7) будем записывать в виде  $F(x) = (q; \rho)$ , где оператор  $F$  зависит от  $\tau$  и  $N$ , но для краткости мы эту зависимость опускаем. Уравнения (7) представляют собой линейную относительно коэффициентов  $x^{k+1}$  систему с невырожденной матрицей, поэтому оператор  $F$  однозначно обратим на всем  $(\Xi^N)^K \times \Xi^N$ .

Зададим способ восполнения сеточных функций  $x = \{x^k\}_{k=0}^K$  на весь отрезок  $[0, T]$  при помощи равенства

$$A(x)(\theta, \varphi, t) = \frac{t_{k+1} - t}{\tau} x^k(\theta, \varphi) + \frac{t - t_k}{\tau} x^{k+1}(\theta, \varphi) \quad \text{при } t \in [t_k, t_{k+1}].$$

Определим на  $\Xi^N$  функционал, аналогичный функционалу стоимости (4), полагая

$$S_\lambda(\rho) = \lambda \|\rho - x_0^a\|_2^2 + I(A(F^{-1}(q; \rho))),$$

где внешнее воздействие  $q \in (\Xi^N)^K$  считается известным и фиксированным.

Рассмотрим следующую дискретную задачу усвоения данных: при заданном  $q \in (\Xi^N)^K$  найти функцию  $\rho \in \Xi^N$  такую, что

$$S_\lambda(\rho) = \inf \{S_\lambda(y) \mid y \in \Xi^N\}. \quad (8)$$

Заметим, что эта задача является приближенным конечномерным аналогом оптимизационной задачи (5).

Для зависящих от времени функций зададим оператор проектирования на сетку  $P_h$ , действующий по формуле  $P_h f^k = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} P_N f(t) dt$ . Обозначим через

$$P_x P_{x_h} = \left( \tau \sum_{k=1}^K P x^k P_2^2 \right)^{1/2}, \quad P_q P_{z_h} = \left( \tau \sum_{k=0}^{K-1} P q^k P_{-2}^2 \right)^{1/2}, \quad [x]_h = \max_{0 \leq k \leq K} P x^k P_1,$$

$$P_x P_{w_h} = [x]_h + P_x P_{x_h}.$$

Далее нам потребуется теорема об устойчивости схемы (7).

**Теорема 3** [17, 23]. Пусть верно (6),  $x$  является решением уравнения  $F(x) = (q; \rho)$ , а  $y$  есть решение уравнения  $F(y) = (q + dq; \rho + d\rho)$ . Тогда для любого  $\varepsilon > 0$  найдется  $\delta > 0$ , зависящее только от  $\varepsilon$  и  $P_x P_{w_h}$ , такое, что

$$P_x - y P_{w_h} \leq \varepsilon \text{ при } \left( P d \rho P_1^2 + P d q P_{z_h}^2 \right)^{1/2} \leq \delta.$$

Покажем теперь, что справедлива следующая теорема о сходимости численных решений задачи усвоения данных

**Теорема 4.** Пусть  $f \in Z$ , данные  $u_j^0, v_j^0, j = 1, 2$ , принадлежат  $L_2(G)$  и последовательность функций  $\rho_n$  такова, что:

1)  $\rho_n$  является решением задачи ассимиляции данных (8) с шагом по времени  $\tau_n$ , максимальным номером собственного подпространства  $N_n$ , правой частью  $q = P_h f$  и параметром регуляризации  $\lambda_n \geq 0$ ;

2)  $\tau_n \rightarrow 0, N_n \rightarrow \infty, \lambda_n \rightarrow \lambda_0 > 0$  при  $n \rightarrow \infty$  и выполняется (6).

Тогда  $\rho_n$  содержит подпоследовательность, сильно в  $V_2$  сходящуюся к решению задачи (5) с теми же данными и  $\lambda = \lambda_0$ .

**Доказательство.** Пусть для некоторого  $x_0 \in V_2$  функция  $x \in W$  является решением задачи (1)-(3) и  $w^k = P_N x(t_k), k = \overline{0, K}$ , а сеточная функция  $y$  есть решение уравнения  $F(y) = (P_h f; P_N x_0)$ . Покажем, что имеет место сходимость

$P_y - w P_{W_h} \rightarrow 0$ ,  $I(A(y)) \rightarrow I(x)$  при  $\tau \rightarrow 0$ ,  $N \rightarrow \infty$ . Применяя оператор  $P_h$  обеим частям (1) и (2), получаем уравнение  $F(w) = (P_h f + dq; P_N x_0)$ . Обозначим  $z = P_N x$ ,  $z_t = \frac{\partial z}{\partial t}$ ,  $x_t = \frac{\partial x}{\partial t}$ ,  $[x] = \max_{0 \leq t \leq T} P x(t) P_2$  и оценим характерные члены, входящие в невязку  $dq$ .

$$d^k = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (\Delta^2 z(t) - \Delta^2 w^k) dt = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (t_{k+1} - t) \Delta^2 z_t dt,$$

$$P d^k P_{-2} = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (t_{k+1} - t) P z_t P_2 dt \leq \frac{\sqrt{\Lambda_N}}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (t_{k+1} - t) P z_t P_1 dt \leq \sqrt{\frac{\tau \Lambda_N}{3}} \left( \int_{t_k}^{t_{k+1}} P x_t P_1^2 dt \right)^{1/2},$$

поэтому  $P d P_{Z_h} \leq c \sqrt{\tau} P x_t P_{Y_1}$ . Далее,

$$\delta^k = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} P_N (J(w^k, \Delta w^k) - J(x, \Delta x)) dt = \beta^k + \eta^k,$$

$$\beta^k = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} P_N (J(z, \Delta z) - J(x, \Delta x)) dt = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} P_N (J(z - x, \Delta x) + J(z, \Delta z - \Delta x)) dt,$$

$$P \beta^k P_{-2} \leq \frac{c}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} P x P_2 P x - z P_2 dt \leq \frac{c}{\sqrt{\tau}} \left( \int_{t_k}^{t_{k+1}} P x P_2^2 P x - z P_2^2 dt \right)^{1/2},$$

$$P \beta P_{Z_h} \leq c P x - P_N x P_Y [x] \leq \frac{c}{\sqrt{\Lambda_{N+1}}} P x P_X [x].$$

Для второго слагаемого, входящего в  $\delta^k$ , имеем

$$\eta^k = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} P_N (J(w^k, \Delta w^k) - J(z, \Delta z)) dt = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (t - t_{k+1}) P_N \frac{\partial J(z, \Delta z)}{\partial t} dt,$$

$$P \eta^k P_{-2} \leq \frac{c}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (t_{k+1} - t) P z P_2 P z_t P_2 dt \leq \frac{c \sqrt{\Lambda_N}}{\tau} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (t_{k+1} - t) P x P_2 P z_t P_1 dt$$

$$\leq \sqrt{c \tau \Lambda_N} \left( \int_{t_k}^{t_{k+1}} P x P_2^2 P x_t P_1^2 dt \right)^{1/2}, \quad P \eta P_{Z_h} \leq c \sqrt{\tau} P x_t P_{Y_1} [x].$$

Применяя подобные рассуждения, убеждаемся, что  $P dq P_{Z_h} \rightarrow 0$  при  $\tau \rightarrow 0$ ,  $N \rightarrow \infty$ . Нетрудно заметить, что  $P w P_{W_h} \leq c P x P_W$ . В силу теоремы 3 имеет место сходимость  $P_y - w P_{W_h} \rightarrow 0$  при  $\tau \rightarrow 0$ ,  $N \rightarrow \infty$ . Оценим

$$\begin{aligned}
 & PA(y) - x P_{Y_1} \leq PA(y) - A(w) P_{Y_1} + PA(w) - z P_{Y_1} + Pz - x P_{Y_1}, \\
 & \text{где } PA(y) - A(w) P_{Y_1} \leq c P y - w P_{W_h}, \\
 & A(w) - z = \frac{t_{k+1} - t}{\tau} (z(t_k) - z(t)) + \frac{t - t_k}{\tau} (z(t_{k+1}) - z(t)) \quad \text{при } t \in [t_{k-1}, t_k], \\
 & \int_{t_k}^{t_{k+1}} PA(w) - z P_{Y_1}^2 dt \leq c \int_{t_k}^{t_{k+1}} \frac{(t_{k+1} - t)^2}{\tau^2} \left\| \int_{t_k}^t z_t dt' \right\|_1^2 dt \leq c \tau^2 \int_{t_k}^{t_{k+1}} P z_t P_{Y_1}^2 dt, \\
 & PA(w) - z P_{Y_1} \leq c \tau \sqrt{\tau} P x_t P_{Y_1}, \quad Pz - x P_{Y_1} \leq \Lambda_{N+1}^{-1} P x P_X.
 \end{aligned}$$

Поскольку  $A(y) \rightarrow x$  сильно в  $Y_1$ , то  $I(A(y)) \rightarrow I(x)$  при  $\tau \rightarrow 0$ ,  $N \rightarrow \infty$ .

Рассмотрим теперь оптимальные значения целевых функционалов стоимости  $J_\lambda(y)$ ,  $y \in V_2$ , и  $S_\lambda(y)$ ,  $y \in \Xi^N$ , которые могут быть достигнуты при решении точной задачи усвоения данных (5) и при решении дискретной задачи усвоения данных (8), которая является некоторым приближенным аналогом задачи (5). Обозначим через

$$m_\lambda = \inf \{ J_\lambda(y) | y \in V_2 \}, \quad s_\lambda = \inf \{ S_\lambda(y) | y \in \Xi^N \}.$$

Покажем, что при стремлении шага сетки по времени  $\tau$  к нулю и при стремлении максимального номера собственного подпространства  $N$  к бесконечности для любого значения параметра регуляризации  $\lambda_0 \geq 0$  верно неравенство

$$\limsup_{\tau \rightarrow 0, N \rightarrow \infty, \lambda \rightarrow \lambda_0} s_\lambda \leq m_{\lambda_0}. \quad (12)$$

Действительно, по определению точной нижней грани функционала  $J_{\lambda_0}$  для любого числа  $\varepsilon > 0$  найдется вектор-функция  $y = y_\varepsilon \in V_2$  такая, что  $J_{\lambda_0}(y) \leq m_{\lambda_0} + \varepsilon/2$ . Существуют шаги сетки  $\tau^0 > 0$ , номер  $N^0 \in \mathbb{N}$  и константа  $d > 0$  такие, что  $S_\lambda(P_N y) \leq J_{\lambda_0}(y) + \varepsilon/2 \leq m_{\lambda_0} + \varepsilon$  при всех  $\tau \leq \tau^0$ ,  $N \geq N^0$  и  $|\lambda - \lambda_0| \leq d$ , тогда  $s_\lambda \leq S_\lambda(P_N y) \leq m_{\lambda_0} + \varepsilon$ , что и дает (12).

При всех  $\lambda_0 > 0$  последовательность  $\rho_n$  ограничена в  $V_2$ , выделим из нее подпоследовательность  $\rho_n \rightarrow x_0$  слабо в  $V_2$  и сильно в  $V_1$ . Обозначим

$$x = \Phi^{-1}(f; x_0), \quad y_n = F^{-1}(P_h f; P_{N_n} x_0), \quad z_n = F^{-1}(P_h f; \rho_n).$$

На основании доказанного выше имеем

$$I(A(y_n)) \rightarrow I(x) \quad \text{при } n \rightarrow \infty \quad (13)$$

и  $\|y_n\|_{W_h} \leq c \|x\|_W$  при всех достаточно больших  $n$ . Так как  $\|P_{N_n} x_0 - \rho_n\|_1 \rightarrow 0$ , то по теореме 3 имеет место сходимость  $\|y_n - z_n\|_{W_h} \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ . Следовательно,  $A(y_n) - A(z_n) \rightarrow 0$  сильно в  $L_2(0, T; V_1)$ , тогда и  $I(A(y_n)) - I(A(z_n)) \rightarrow 0$ . Учитывая (13), заключаем, что

$$S_0(\rho_n) \rightarrow J_0(x_0) \quad \text{при } n \rightarrow \infty. \quad (14)$$

Из слабой сходимости  $\rho_n$  к  $x_0$  в  $V_2$  вытекает, что  $\liminf_{n \rightarrow \infty} \|\rho_n - x_0^a\|_2 \geq \|x_0 - x_0^a\|_2$ . Принимая во внимание (14) и сходимость  $\lambda_n \rightarrow \lambda_0$ , приходим к неравенству

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} S_{\lambda_n}(\rho_n) \geq J_{\lambda_0}(x_0). \quad (15)$$

Но  $\rho_n$  являются решениями задачи (8), поэтому  $S_{\lambda_n}(\rho_n) = s_{\lambda_n}$ . Из (12) имеем  $\limsup_{n \rightarrow \infty} S_{\lambda_n}(\rho_n) \leq m_{\lambda_0} \leq J_{\lambda_0}(x_0)$ . Сравнивая (15) и последнее неравенство, убеждаемся, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_{\lambda_n}(\rho_n) = J_{\lambda_0}(x_0) = m_{\lambda_0}, \quad (16)$$

то есть  $x_0$  является решением задачи усвоения данных (5). Кроме того, из (14) и (16) находим, что  $\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_n \mathbf{P}\rho_n - x_0^a \mathbf{P}_2^a = \lambda_0 \mathbf{P}x_0 - x_0^a \mathbf{P}_2^a$ , тогда

$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbf{P}\rho_n - x_0^a \mathbf{P}_2^a = \mathbf{P}x_0 - x_0^a \mathbf{P}_2^a$ , поэтому  $\rho_n \rightarrow x_0$  сильно в  $V_2$ .

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.А18.21.1901) и поддержана РФФИ (проект № 12-01-00322-а).

### Литература

1. Агошков В.И., Ипатова В.М. Разрешимость задачи усвоения данных наблюдений в трехмерной модели динамики океана // Дифференциальные уравнения. 2007. Т. 43. № 8. С. 1064-1075.
2. Ипатова В.М. Задача инициализации для модели общей циркуляции атмосферы // Труды МФТИ. 2012. Т. 4. № 2. С. 121-130.
3. Ипатова В.М., Ипатов Д.Е. Решение задач об определении коэффициентов для трехмерной модели гидротермодинамики океана // Альманах современной науки и образования. 2011. № 9. С. 25-29.
4. Ипатова В.М., Ипатов Д.Е. Решение задачи ассимиляции данных для модели поперечного обтекания бесконечного цилиндра // Альманах современной науки и образования. 2012. № 4. С. 111-113.
5. Марчук Г.И., Агошков В.И., Ипатова В.М. Теория разрешимости начально-краевых задач и задач ассимиляции данных для основных уравнений океана // Труды МФТИ. 2011. Т. 3. № 1. С. 93-101.
6. Agoshkov V.I., Ipatova V.M. Solvability of the altimeter data assimilation problem in the quasi-geostrophic multilayer model of ocean circulation // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 1997. Т. 37. № 3. С. 355-366.
7. Agoshkov V.I., Ipatova V.M. Solvability of a certain variational data assimilation problem // Доклады Академии наук. 1998. Т. 360. № 4. С. 439-441.
8. Agoshkov V.I., Ipatova V.M. Study of variational data assimilation problem for a model of tide dynamic in adjacent seas // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2006. V. 21. N. 2. P. 111-138.
9. Agoshkov V.I., Ipatova V.M., Zalesnyi V.B., Parmuzin E.I., Shutyaev V.P. Problems of Variational Assimilation of Observational Data into Ocean General Circulation

Models and Methods for Their Solution // *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2010. V. 46, N. 6. P. 677-712.

10. Gejadze I.Y., Le Dimet F.-X., Copeland G.J.M., Shutyaev V.P. Computation of the analysis error covariance in variational data assimilation problems with nonlinear dynamics // *Journal of Computational Physics*. 2011. V. 230. N. 22. P. 7923-7949.

11. Ipatova V.M., Agoshkov V.I., Kobelkov G.M., Zalesny V.B. Theory of solvability of boundary value problems and data assimilation problems for ocean dynamics equations // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. 2010. V. 25. N. 6. P. 511–534.

12. Parmuzin E.I., Shutyaev V.P., Diansky N.A. Numerical solution of a variational data assimilation problem for a 3D ocean thermohydrodynamics model with a nonlinear vertical heat exchange // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. 2007. V. 22. N. 2. P. 177-198.

13. Ипатова В.М. Сходимость численных решений задачи вариационного усвоения данных альтиметрии в квазигеострофической модели общей циркуляции океана // *Дифференциальные уравнения*. 1998. Т. 34. № 3. С. 411-418.

14. Ipatova V.M. Convergence of numerical solutions to the initialization problem for the vortex equation on a rotating sphere // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. 2009. V. 24. N. 2. P. 115-122.

15. Agoshkov V.I., Ipatova V.M. Convergence of solutions to the problem of data assimilation for a multilayer quasigeostrophic model of ocean dynamics // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. 2010. V. 25. N. 2. P. 105-115.

16. Gejadze I.Yu., Shutyaev V. On computation of the design function gradient for the sensor-location problem in variational data assimilation // *SIAM Journal on Scientific Computing*. 2012. V. 34. N. 2. P. B127-B147.

17. Ipatova V.M. Convergence of numerical solutions of the data assimilation problem for the atmospheric general circulation model // *Research Journal of Recent Sciences*. 2012. V. 1. N. 6. P. 16-21.

18. Shutyaev V., Gejadze I., Copeland G.J.M., Le Dimet F.-X. Optimal solution error covariance in highly nonlinear problems of variational data assimilation // *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2012. V. 19. N. 2. P. 177-184.

19. Дымников В.П., Филатов А.Н. Основы математической теории климата. – М.: ВИНТИ, 1994.

20. П'ин А.А. Navier-Stokes equations on the rotating sphere. A simple proof of the attractor dimension estimate // *Nonlinearity*. 1994. V. 7. P. 31-39.

21. Лионс Ж.-Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач. – М.: Мир, 1972.

22. Лионс Ж.-Л., Мадженес Э. Неоднородные граничные задачи и их приложения. – М.: Мир, 1971.

23. Ипатова В.М. Сходимость явной схемы для бароклинной модели общей циркуляции атмосферы // *Альманах современной науки и образования*. 2012. № 11. С. 76-80.

## **МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ БРЭА КА ЗА СЧЕТ ВЫДЕЛЕНИЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ЗОН**

Кокин Н.Н.\*Воловиков В.В.

*Москва, НИУ ВШЭ МИЭМ; \* Москва, НИУ ВШЭ МИЭМ*

Применение математического моделирования при проектировании бортовой аппаратуры космических аппаратов за прошедшее десятилетие показало свою практическую пользу, а моделирование тепловых процессов стало одним из важных этапов проверки бортовой радиоэлектронной аппаратуры на соответствие предъявляемым к ней техническим требованиям. Первичные математические модели зачастую не способны обеспечивать достаточно точную информацию, отражающую протекающие процессы в исследуемом объекте. Выделение отдельных изотермических зон в математических моделях может стать источником измерительной информации, соответствующей исследуемому объекту

**Isothermal zones separating verification algorithm for heat transfer simulation in spacecraft's radio-electronic onboard equipment. Kokin N., Volovikov V.**

Application of heat transfer processes mathematical simulation approved its practical value and become one of the most important stage in radio-electronic onboard equipment design. Mathematical model in the first iteration unable to produce data, common to real physical processes with high precision level. Isothermal zones separation could be the source of measurement information highly common to real heat processes developed in studied objects.

Создание математической модели тепловых процессов обычно начинается с моделирования блока БРЭА КА в целом, без учета конструктивных особенностей печатных узлов. Первичная модель представляет набор изотермически однородных поверхностей, связанных ветвями теплопередачи: в случае с БРЭА КА это кондукция (передача тепла через контактный теплообмен) и лучистый теплообмен (перенос тепла за счет излучения энергии с поверхности тел). Этот подход позволяет получить параметры для более детализованной модели БРЭА КА. Однако он так же связан и с большой методической неточностью созданной модели за счет отсутствия учета некоторых параметров или частей, присутствующих в полной модели. Одним из способов повысить методическое соответствие между моделями является анализ и создание такой математической модели, которая будет учитывать конструктивные особенности, сочетая в себе уменьшение методической составляющей погрешности получаемых данных.

В случае с платами, входящими в состав БРЭА КА, параметрами оптимизации и верификации могут выступать:

- рассмотрение лучистого теплообмена с платы как комплексной ветви в математической модели
- на основе теплопроводности платы выделять изотермические зоны вокруг мест прямого контакта тепловыделяющих элементов с поверхностью печатной платы.
- анализ возможных упрощений в математической модели за счет упрощения конструкции элементов и объединения их в массивы при определенных условиях взаимного расположения.

Для примера была выбрана плата с неравномерно распределенными элементами, входящая в состав блока из 3х параллельно расположенных плат. Углубленный анализ математической модели происходил для центральной платы. Первой итерацией выбрано выделение изотермических зон вокруг ножек нагретых элементов, в зависимости от теплопроводности платы, на которой они установлены. В случае высокой теплопроводности перепад температуры в математической модели будет незначителен, что позволит с определенной долей погрешности использовать изотермическую зону в качестве узла модели (а следовательно и единый коэффициент облученности). Вторым этапом становится объединение близкорасположенных



изотермичных зон, для снижения емкости математической модели, поскольку при большом количестве тепловыделяющих элементов, математическая модель тепловых процессов станет перенагруженной, и в ней значительно повысится вероятность ошибки эксперта, её составлявшего. После распределение тепловых мощностей по выбранным изотермическим зонам производится перерасчет коэффициента облученности между каждой выделенной зоной и окружающими элементами модели, которые находятся на пути лучистого теплообмена.

Вычислительные эксперименты по сравнению измерительной информации, полученной с помощью различных программных комплексов, показали, что верифицированная модель позволит оценить с большей точностью распределение тепловых потоков и температуры на печатных узлах, без создания математической модели нижнего уровня иерархии. В случае необходимости модели нижнего уровня иерархии, позволят использовать уточненные данные о граничных условиях из математической модели БРЭА КА.

В рамках данной работы планируется создание программного обеспечения, облегчающего процесс анализа блока БРЭА КА с автоматическим созданием верифицированных математических моделей, при условии внесения оператором исходных данных о расположении и компоновки печатных узлов и электронных компонентов в блоке. Автоматизирован так же будет перерасчет коэффициента облученности.

## **ПЛАТФОРМА ВИРТУАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НАУЧНЫХ ДАННЫХ**

\*Поляков А.Н., \*Пойда А.А., \*\*Сорокин А.А., \*\*Королёв С.П., \*\*Снигур К.С.  
\*Москва, НИЦ «Курчатовский институт»; \*\*Хабаровск, Вычислительный центр ДВО  
РАН

Доклад посвящен вопросам разработки технологий виртуальной интеграции распределенных источников данных с различной семантикой и обзору созданной на их основе программной платформы.

**Software for virtual integration of distributed science data. Polyakov A., Poyda A., Sorokin A., Korolev S., Snigur K.**

Report is devoted to developing technologies of virtual integration of distributed data sources with different semantics and software developed on their basis.

Работа выполнена в рамках ГК № 07.514.11.4129 по ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы”.

В настоящее время в различных областях науки наблюдается экспоненциальный рост объема получаемых экспериментальных данных. Например, в астрономии текущий и ожидаемый темп роста данных от наземных и космических телескопов удваивается в течение периода от шести месяцев до одного года. Сложность использования таких данных увеличивается еще и вследствие их естественной разнородности. Разнообразие (информационная несогласованность) получаемой информации вызывается, в частности, не только большим числом организаций, производящих наблюдения, и их независимостью, но и разнообразием объектов

наблюдения, непрерывным и быстрым совершенствованием техники наблюдений, вызывающим адекватные изменения структуры и содержания накапливаемой информации [1]. Это приводит к необходимости использования неоднородной, распределенной информации, накопленной в течение значительного периода наблюдений технологически различными инструментами.

Современные мировые тенденции состоят в движении от разрозненных информационных ресурсов к интегрированным системам, взаимодействующим на основе совместимых стандартов метаданных и других средств информационного взаимодействия. Всё возрастающая потребность в получении обобщенного взгляда на информационные ресурсы различных систем привела к формированию механизмов интеграции данных, которые ориентируются на эффективную организацию доступа к внешним, гетерогенным источникам данных посредством единого интерфейса в рамках единой модели данных. При этом предоставляемый уровень абстракции должен быть настолько прозрачным для конечного пользователя, чтобы в его глазах процесс получения информации ничем не отличался от обращений к единому хранилищу данных [2].

Исследования в области интеграции баз данных были начаты в начале 1980-х годов. Первые попытки создания систем, интегрирующих источники данных с различной семантикой, датируются началом 90-х годов. Разработкой методов интеграции данных занимаются крупные информационные компании, такие как Microsoft, IBM, Informatica, SAP/BusinessObjects, Oracle и др. Существует также ряд исследовательских платформ для приложений, работающих с распределенными данными (K2/Kleisli, Garlic, TSIMMIS, DISCO) [3].

Несмотря на то, что проблемы интеграции информационных ресурсов теоретически изучены достаточно полно, практическая реализация теоретических выводов не получила широкого развития. Классические методы интеграции позволяют создавать прикладные системы с небольшим и стабильным составом информационных источников, так что область применения средств интеграции остаётся ограниченной рамками отдельных, возможно распределённых, предприятий [4,5]. Задача построения целостной интеграционной платформы требует проведения научных исследований и разработки новых алгоритмов, моделей, интерфейсов, сервисов и технологий обработки данных и остается актуальной.

Коллективом авторов НИЦ «Курчатовский институт» и ВЦ ДВО РАН проведено исследование способов интеграции распределённых источников данных, алгоритмов создания и функционирования широкомасштабных информационных инфраструктур на основе подхода виртуальной интеграции баз данных, методов и технологий GRID. По результатам проведенного исследования разработана единая среда метаданных и инструментальная платформы (далее – платформа массовой интеграции) для управления распределенными и неоднородными информационными ресурсами, поиска данных и доступа к информационным ресурсам, которые относятся к приоритетным направлениям прикладных научных исследований. Наборы данных включают архивы Единой системы информации о Мировом океане [6] (массивы гидрометеорологических и гидрофизических данных, сведения о биоресурсных и углеводородных запасах и их добыче и др.), архивы инструментальных данных сети сейсмологических наблюдений ДВО РАН на базе АИС «Сигнал-С» [7] и др.

Одной из основных проблем, решаемой при эффективной интеграции распределенных источников данных, является интеграция разнородных моделей данных этих источников. В данной работе было решено разбить источники данных на группы и внутри каждой группы (в соответствии с рис. 1) динамически отображать реляционные модели данных на реляционную модель данных данной группы.



Рис. 1. Группировка источников данных по моделям данных.

Основаниями для объединения источников данных в группы послужили:

1) Семантическая схожесть источников данных. например, системы сбора и обработки сейсмических данных хранят одну и ту же информацию, но часто в различных форматах.

2) Функциональная однородность источников данных. к примеру, все источники сейсмических данных предоставляют на выходе информацию о координатах землетрясений в том или ином формате. наличие этой информации позволяют подключить источники данных о человеческой активности в данных регионах, например появление видеороликов в youtube или сообщений в twitter.

Данное разделение влияет на поток обработки данных, который показан на рис. 2.



Рис. 2. Поток обработки данных.

Для доступа к различным поставщикам данных был использован открытый программный продукт Open Grid Service Architecture Data Access Interface (OGSA-DAI) [8], предназначенный для организации совместного использования распределенных ресурсов данных. Он позволяет организовать доступ к различным ресурсам (например, реляционным или XML базам данных, файлам или веб-сервисам) через веб-сервисы внутри Grid, облака или всемирной паутины. С помощью этих веб-сервисов данные можно запрашивать, обновлять, преобразовывать и комбинировать различными способами.

На основе описанного подхода создан прототип архитектуры платформы массовой интеграции баз данных (рис. 3). В качестве системы управления общим хранилищем использована система MySQL, подключенная к промежуточному программному обеспечению OGSA-DQP, обеспечивающему выполнение пользовательских запросов через SOAP-протокол. Для декларации представления использована система управления метаданными, обеспечивающая выполнение фильтрующего запроса к метаданным при помощи RESTful запросов. На сервере установлена серверная часть системы метаданных, предоставляющая информацию о пространствах имен и собирающая метаданные об интегрированных источниках в единый каталог. Клиент может получить доступ как к источнику данных напрямую с последующей обработкой результатов, так и через сервер.

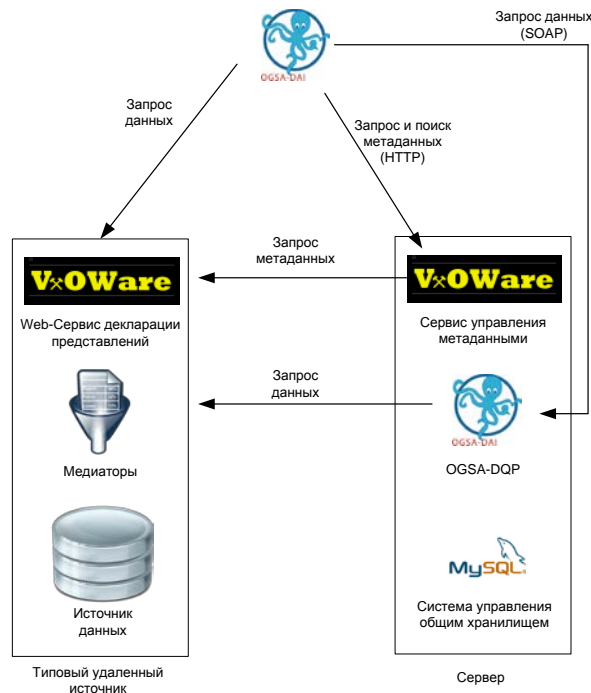


Рис. 3. Архитектура платформы массовой интеграции баз данных.

В основе разработанного экспериментального стенда заложена клиент-серверная архитектура. Серверная часть приложения массовой интеграции оформлена в виде веб-сервиса, системы авторизации и хранения метаданных, а также СУБД MySQL отвечающей за хранение промежуточных результатов поиска при выполнении асинхронных запросов. Клиентом приложения является web-браузер через который пользователь формирует запросы к распределенным источникам данных (рис 4.).

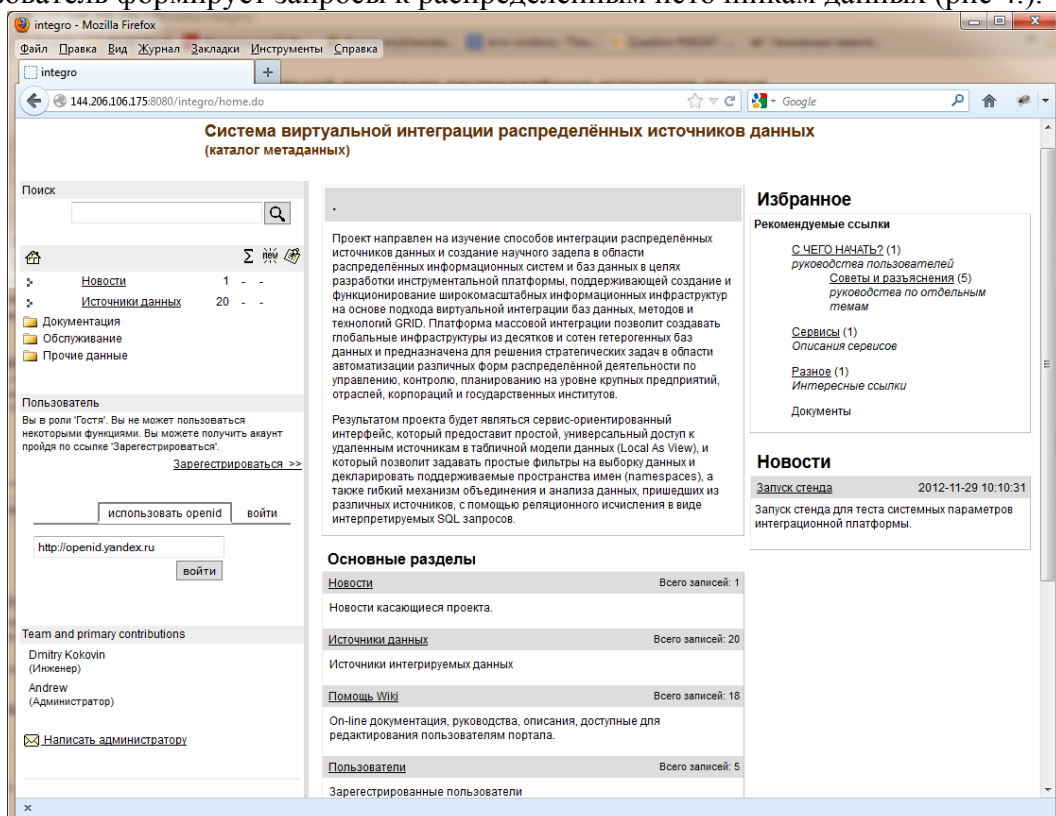


Рис. 4. Web-интерфейс макета системы виртуальной

интеграции баз данных.

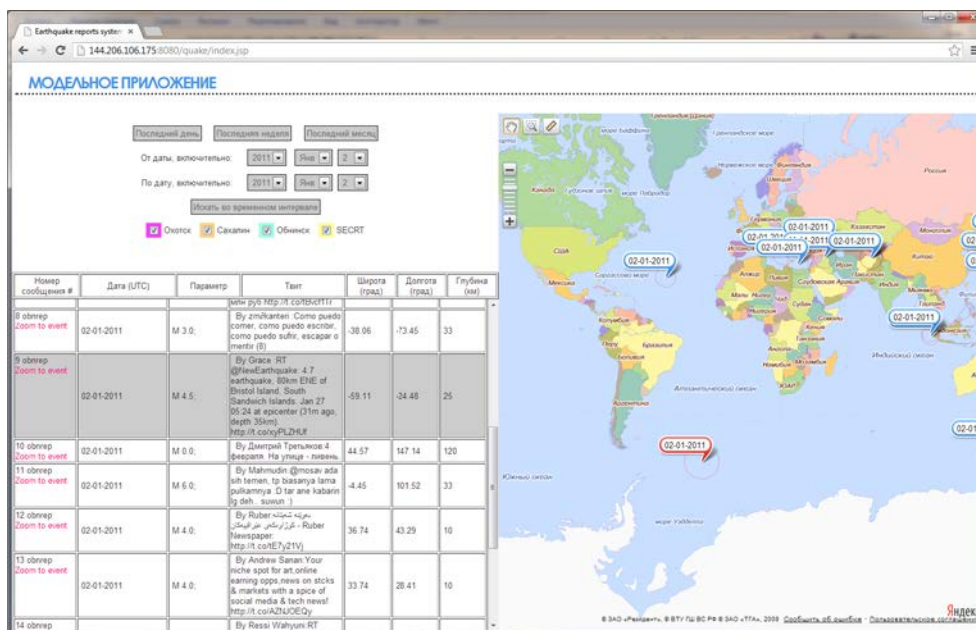


Рис. 5. Web-интерфейс модельного приложения.

Для демонстрации возможности платформы был создан специализированный информационный ресурс. В качестве системы опроса удаленных источников выступает платформа массовой интеграции. С её использованием формируется поисковое задание, рассылаемое в виде массовых запросов к удаленным источникам, интегрированным в платформу и отобранным пользователем, объединяющее промежуточные результаты и возвращающее результат web-интерфейсу, который выводит его в виде таблицы, содержащей список найденных событий с возможностью визуализации на карте с использованием специализированного сервиса компании Yandex (рис. 5).

Предложенная архитектура платформа массовой интеграции данных, а также созданные прототипы интерфейсов пользователя, могут быть использованы научно-исследовательскими организациями и фирмами-производителями наукоемкой продукции, разработчиками облачных платформ и сервисов. Она позволит создавать глобальные инфраструктуры из десятков и сотен гетерогенных баз данных и предназначена для решения стратегических задач в области автоматизации различных форм распределённой деятельности по управлению, контролю, планированию на уровне крупных предприятий, отраслей, корпораций и государственных институтов.

## Литература

1. Вовченко А.Е. Рассредоточенная реализация приложений в среде предметных посредников : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.11 / А.Е. Вовченко. - Москва, 2012. – 25 с
2. Белов С.В. Разработка методов и средств интеграции распределенных и разнородных информационных ресурсов в области изучения, освоения и использования мирового океана : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.11 / С.В. Белов. - Обнинск, 2008
3. Коваленко В.Н., Коваленко Е.И., Куликов А.Ю. Распределенные вычисления и Грид-технологии в науке и образовании // Труды 4-й международной конференции.- Дубна: ОИЯИ, 2010 г., стр. 389-394. ISBN 978-5-9530-0269-1

4. Торшин Д.В. Организация единого интегрированного пространства на основе универсального формата обмена данными // «Научно-технические ведомости СПбГПУ», Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». – 2009. - №2 (71). С. 26-32
5. Торшин Д.В., Юсупова Н.И. Программное обеспечение для задачи интеграции разрозненных компьютерных систем // «Вестник УГАТУ», Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». – 2009. - № 1 (30). – Т.12. – С. 127-132
6. Вязилов Е.Д., Михайлов Н.Н., Чепурнов В.М. Web-портал Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО): методы построения и реализации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2002. Вып.170. Информационные технологии Государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды. Гидрометеоиздат, Обнинск. ВНИИГМИ-МЦД. С. 123-144
7. А.И. Ханчук, А.В. Коновалов, А.А. Сорокин, С.П. Королёв, А.В. Гаврилов, В.А. Бормотов, М.А. Серов. Инструментальное и информационно-технологическое обеспечение сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России // Вестник ДВО РАН, 3(157), 2011, с 127 — 137.
8. V. Dobrzelecki, B., Krause, A., Hume, A., Grant, A., Antonioletti, M., Alemu, T., Atkinson, M., Jackson, M. and Theocharopoulos, E. Integrating distributed data sources with OGSA-DAI DQP and Views. Phil. Trans. R. Soc. A 13 September 2010 vol. 368 no. 1926 4133-4145 DOI: 10.1098/rsta.2010.0166.

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МОДУЛЕЙ**

Кравец А.Д.

*Волгоградский государственный технический университет*

В данной статье рассматривается процесс разработки генератора интеллектуальных мультиагентных систем. Необходимость разработки такого генератора обусловлена потребностью в создании инструментария, позволяющего оптимизировать и унифицировать процесс создания и модифицирования интеллектуальных мультиагентных систем. Генератор позволяет использовать широкий спектр интеллектуальных методов для создания агентов мультиагентных систем.

**Development of intellectual multi-agent modules generation system.** Kravets A.  
Volgograd State Technical University

The following article reviews a development process of generator of intellectual multi-agent systems. Topicality of the generator development issues from necessity of tool which allows optimization and unification of creation and modification processes for intellectual multi-agent systems. Generator allows usage of a wide list of intellectual methods in order to create agents for multi-agent systems.

Изначально разработанная для представления процессов взаимодействия набора объектов схожей структуры модель мультиагентной системы на сегодняшний день успешно применяется во множестве научных отраслей. Использование этой модели в сферах робототехники и интеллектуального анализа данных привело к выработке

концепта агента, как объекта, наделенного правами пользователя и способного к совершению схожего спектра задач. Таким образом, агент является сложной системой, которая может быть основана на интеллектуальных методах, внутри системы мультиагентного взаимодействия. В то же время нарастающая сложность как самих агентов, так и мультиагентных систем требует разработки методики ускорения и оптимизации разработки мультиагентных систем.

При решении задачи создания генератора мультиагентных систем была поставлена и решена подзадача проведения анализа существующих на данный момент инструментов создания мультиагентных систем, а также процесса их использования. В число проанализированных инструментов вошли самые известные библиотеки и системы создания мультиагентных систем, среди них библиотека JADE, системы CogniTAO, SemanticAgent и AgentTool [7, 10]. Несмотря на существенные различия между проанализированными системами, анализ позволил выявить ряд недостатков, касающихся процессов разработки и модифицирования мультиагентных систем и свойственных большинству инструментов:

– Потребность системы в наличии квалифицированного разработчика. На данный момент процесс разработки проекта мультиагентной системы требует безостановочного взаимодействия разработчика и эксперта, хотя некоторые жизненно важные для всего проекта шаги могут выполняться без привлечения эксперта. Примером такого шага может являться шаг выбора средства разработки, который критически влияет на структуру будущей системы и на процесс проектирования в целом. К тому же, многие мультиагентные системы избегают использования сложной структуры агентов, использующей интеллектуальные методы и поведенческие алгоритмы, так как вопрос их использования решается разработчиком.

– Неспособность ряда систем к внедрению интеллектуальных методов. Несмотря на то, что некоторые системы преуспели в разработке поведенческих алгоритмов на своей платформе, ни одна из проанализированных систем не способна к реализации интеллектуальных методов, не связанных с управлением, таких как анализ данных, прогнозирование, распознавание образов.

Результатом выполнения анализа текущего состояния предметной области явился концепт генератора мультиагентных систем, включающий в себя следующие пункты [4, 5]:

1. Предоставить эксперту возможность выбора структуры агентов и системы их взаимодействия согласно его представлению о предметной области;
2. Обеспечить возможность разработки агентов, основанных на интеллектуальных методах, что позволит системе адаптироваться к изменяющимся условиям функционирования;
3. Выполнять генерацию агентов на основе подготовленного набора интеллектуальных методов при непосредственном участии эксперта.

Использование интеллектуальных методов позволит не только сделать систему более гибкой, но также наиболее полно отразит основную идею мультиагентного подхода – идею передачи прав [8, 9], что сделает систему генерации универсальной.

Руководствуясь выработанным концептом, была разработана модель системы генерации мультиагентных модулей. Согласно модели система состоит из двух основных блоков, необходимых для создания мультиагентной системы: банка интеллектуальных методов и генератора кода агентов.

Банк интеллектуальных агентов состоит из предварительно разработанных интеллектуальных методов, которые могут применяться в структуре агентов. Банк включает в себя методы различных направлений, таких как поведенческие алгоритмы, распознавание образов, интеллектуальный анализ информации и другие.

В распоряжении генератора агентов находится ряд структур агентов и систем их взаимодействия. Основываясь на выбранных интеллектуальных методах, а также ключевых выборках и настройках, отражающих представление эксперта о поведении МАС в среде, генератор создает код системы, реализуя поставленные перед системой задачи.

В соответствии с разработанными моделями функционирования системы был разработан прототип автоматизированной системы генерации интеллектуальных мультиагентных систем. Данный прототип был использован для создания мультиагентных модулей в ряде систем поиска информации. В качестве примера для апробации прототипа платформы была создана система сбора данных о перспективных технологиях. Система поиска информации о перспективных технологиях осуществляет сбор и анализ информации[6], содержащей сведения о работе наиболее современных технологических процессов, с сайтов или литературных источников. Основными функциями данной системы являются:

- сбор информации о технологических процессах;
- анализ представленные собранных данных в унифицированном виде;
- организация хранения собранной информации в базе данных нанотехнологий.

Применительно к этой задаче, сгенерированный многоагентный модуль сбора и интеллектуального анализа данных[1,2] включает в себя следующих агентов (Рисунок 1):

- SiteAgent {1..N} – агент-сборщик, настроенный на определенный сайт или источник информации. При помощи методов интеллектуального анализа информации отбирает из источников только те разделы и адреса, которые содержат информацию о технологических процессах изготовления продукта или оказания услуги.
- UnificationAgent {1..N} – агент, настроенный на взаимодействие с определенным агентом-сборщиком, занимающийся получением из отобранных текстов данных и приведением их к унифицированному виду.
- GatheringAgent – составляет сводную таблицу собранных агентами данных.
- InterfaceAgent – организует взаимодействие пользовательских и внутрисистемных данных.
- PickupAgent – позволяет пользователю задавать и редактировать наборы ключей и шаблонов, используемых для поиска информации.



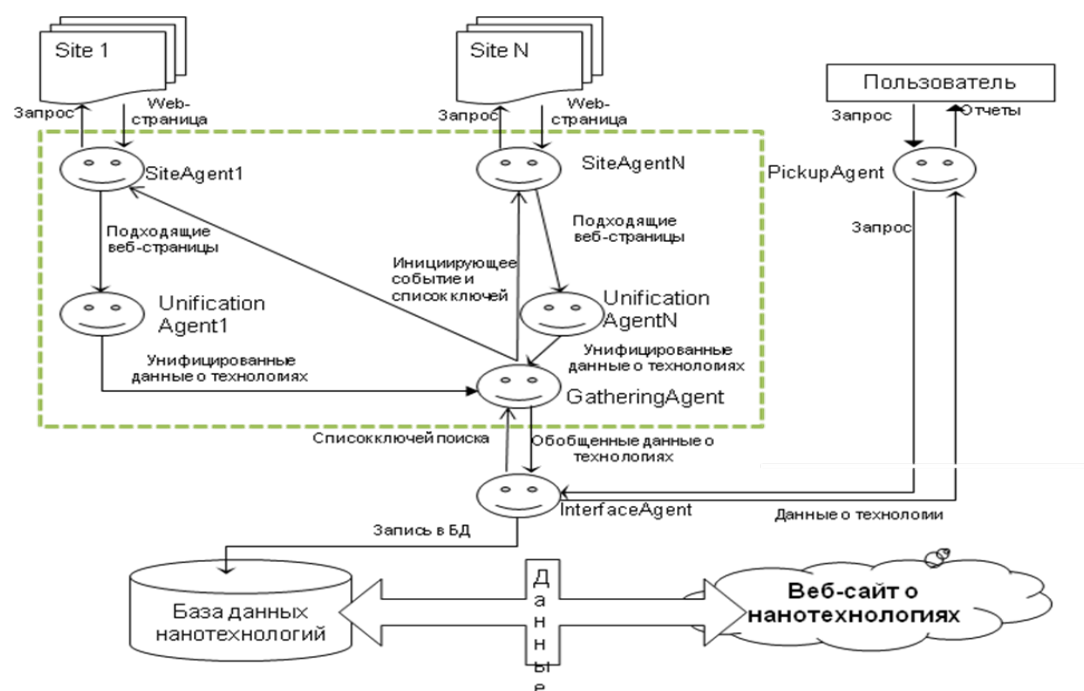


Рисунок 1 – Архитектура системы сбора данных о перспективных технологиях

### Литература:

1. Кравец А.Д. Генератор агентов мультиагентной системы сбора данных о перспективных технологиях / А.Г. Кравец, С.В. Шевченко, А.Д. Кравец // Вестник ХПИ. – 2012. – №29. – С. 92–97.
2. Кравец А.Д. Разработка модели генерации интеллектуальных агентов / А.Д. Кравец, С.А. Фоменков, А.Г. Кравец // Сборник научных трудов SWORLD. – 2012. – т.5 №3. – С. 59–61.
3. Антоненко А.С., Кравец А.Г., Заворотнов Е.А. Мультиагентный модуль сбора вакансий с порталов региональных кадровых агентств в рамках интеллектуальной среды "Кадровый резерв". - Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. № 2. С. 38-42.
4. Яровенко В.А., Фоменков С.А. Freeagent-платформа для разработки мультиагентных систем. - Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. Т. 4. № 13. С. 164-166.
5. Яровенко В.А., Фоменков С.А. Особенности применения мультиагентного подхода при разработке системы обработки структурированных физических знаний. - Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 8. С. 132-134.
6. Нгуен Д.Х., Камаев В.А., Кизим А.В., Быков Д.В. Организация системы документооборота на основе мультиагента //Безопасность информационных технологий. – 2012. – № 1. – С. 130-132.
7. CogniTeam [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.cogniteam.com/cognitao.html>
8. Ding, L.; Finin, T. Characterizing the Semantic Web on the Web. – Proceedings of the Fifth International Semantic Web Conference (ISWC06) Athens, GA November 5-9. – 2006.
9. Long Tran-Thanh, Alex Rogers, Nicholas R. Jennings: Long-term information collection with energy harvesting wireless sensors: a multi-armed bandit based approach. – Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 25(2). – pp. 352-394. – 2012.

10. MagentaToolkit [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.magenta-technology.ru/ru/technology/overview/toolkit/>

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БЛОКЕ РЭА С ПЕРФОРИРОВАННЫМИ СТЕНКАМИ

Кравцов П.А., Воловиков В.В.  
Москва, МИЭМ

Приведены методика и результаты экспериментальных исследований зависимости температуры воздуха внутри макета электронного устройства от параметров перфорации стенок и рассеиваемой мощности. Данные исследования являются частью работы по созданию математической модели тепловых процессов в электронном устройстве с перфорированным корпусом.

### **Experimental investigation of heat transfer into a model of electronic appliance with perforated walls. Kravtsov P., Volovikov V.**

There are a method and the results of experimental investigation of how air temperature into the box of the electronic appliance depends on the parameters of perforated walls and power dissipation. This investigation is a part of research to create a mathematical model of heat transfer into the electronic appliances with perforated walls.

Так как в данном исследовании проводится изучение исключительно конвективной составляющей теплообмена, то макет (рис.1) сконструирован так, чтобы была возможность не учитывать теплообмен излучением и кондукцией. Он выполнен в виде 5-слойного короба без торцевых стенок. Ниже описаны слои и их назначение (начиная с внутреннего):

- термобумага (только на стороне платы с ЭРЭ, предотвращает замыкание проводников, дополнительное кондуктивное сопротивление);
- фольга (уменьшение лучистой составляющей теплообмена);
- гофрированный картон (теплоизоляция стенок);
- пенопласт (теплоизоляция стенок);
- слой полиэтилена (обеспечение жесткости конструкции и защита от механических повреждений).



Рис.1. Фотография макета блока ЭРУ

Эксперименты проводятся при следующих условиях и значениях параметров:

- варианты ориентации блока: вертикальная и горизонтальные - 2 варианта (рис.2);
- наличие торцевых перфорированных стенок блока:
  - без решеток;
  - только сверху (или только с левой стороны);
  - сверху и снизу (или с обеих сторон);
  - только снизу (или только с правой стороны);
- процент перфорации торцевых стенок блока: 20%; 15%; 10%; 5%;
- распределение мощности тепловыделения по поверхности платы (рис.3а):
  - равномерно по всей поверхности платы;
  - тепловыделение в одной из трех зон (3 варианта);
  - тепловыделение в двух из трех зон (3 варианта);

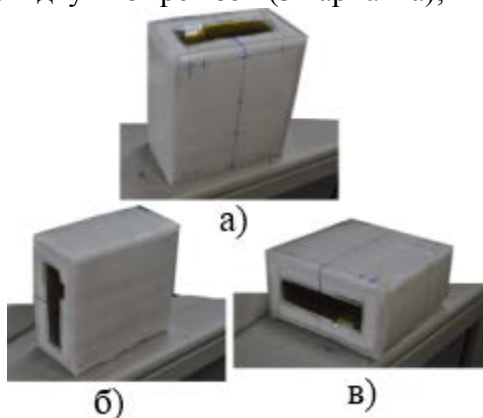


Рис.2. Варианты ориентации блока: а – вертикальная; б, в – горизонтальные

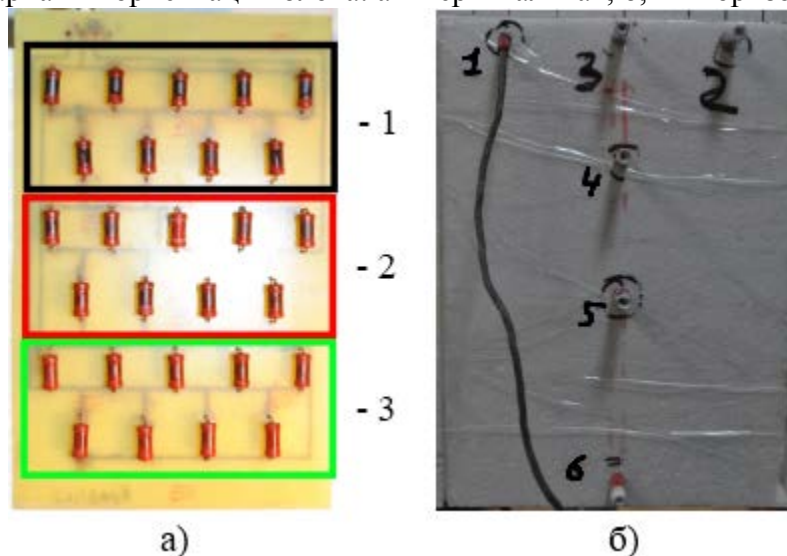


Рис.3. Составляющие исследуемого объекта: а – плата с разделением элементов на 3 зоны; б - Корпус макета с расположением контрольных точек и погруженным датчиком температуры

На рис.3б указана схема расположения контрольных точек (КТ), в которых измерялась температура воздуха внутри блока.

Первые результаты, выглядят следующим образом:

- ориентация вертикальная, торцевые решетки отсутствуют, мощность равномерна по плате (рис.4а);

- ориентация вертикальная, торцевая решетка только сверху, перфорация 20%, мощность равномерна по плате (рис.4б);

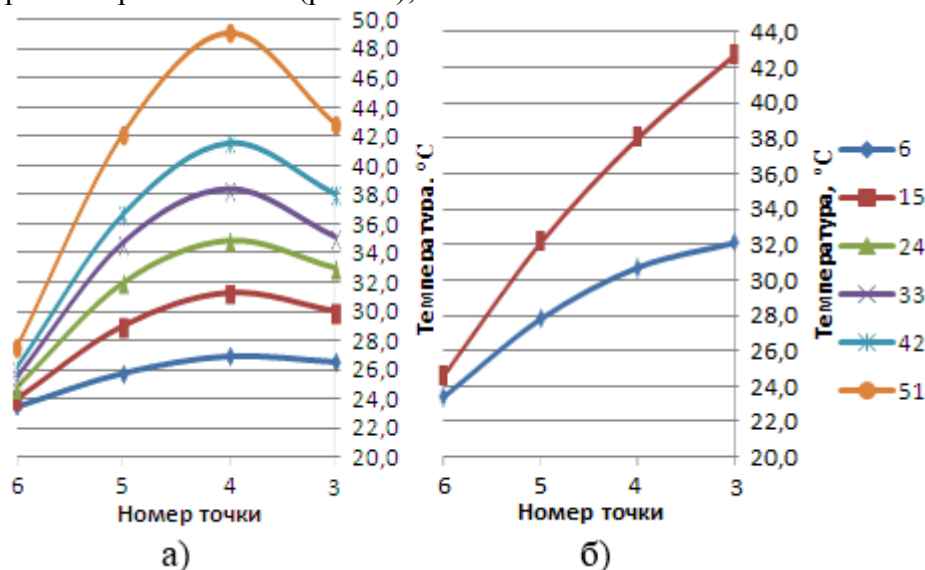


Рис.4. Графики зависимости температуры от положения датчика при различных мощностях: а – без решеток; б – решетка 20% сверху

Из данных графиков видно, что при наличии перфорированной решетки температура в КТ 3 значительно выше, чем при ее отсутствии, а также она выше температуры в КТ 4. Следовательно, присутствует эффект «проваливания» холодного воздуха, что сказывается на температуре в верхней КТ 3 при отсутствии решетки.

На данный момент измерения в КТ происходят последовательно, что приводит к дополнительным погрешностям измерений вследствие колебаний температуры окружающего воздуха. Для решения этой проблемы создается средство измерений, базирующееся на датчиках DS18B20.

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ НЕСТАБИЛЬНОСТЕЙ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В УСКОРИТЕЛЯХ

Кравченко Н.П., \*Ромашин Н.Л.

Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ, \*Москва, ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова

Разработан новый подход к описанию полей, приводящих к возникновению неустойчивостей электронных пучков в ускорителях. Проанализированы также области применимости известных методов расчета электромагнитных полей для таких систем.

**The new approach to study an instability of charged particles beams in accelerators (collider). Kravchenko N.P., Romashin N.L.**

This work is intended to show how the new approach allows to study the beam instability in accelerators. It's shown as well the sphere of application well known methods of electromagnetic field calculation for these systems.

Обеспечение стабильности релятивистских пучков заряженных частиц в ускорителях является одной из ключевых задач. Это особенно важно для протяженных

структур, например, в коллайдере, где даже малые инкременты неустойчивости могут привести к разрушению пучка.

В данной работе рассматриваются неустойчивости релятивистского пучка, обусловленные его взаимодействием с электромагнитным полем.

Существуют разные механизмы такого взаимодействия. Так, например, взаимодействие типа мазера на циклотронном резонансе, или взаимодействие О типа, реализуемое в вакуумных СВЧ приборах с продольной группировкой частиц.

Кроме того, эти базовые механизмы могут проявляться в условиях комбинационного (многочастотного) взаимодействия. Наибольший интерес в настоящее время представляет случай, когда поля, взаимодействующие с пучком, возникают в результате неидеальности канала ускорителя. Эта неидеальность, например, может быть обусловлена конечной и неоднородной в продольном направлении проводимостью стенок канала и неидеальностью фокусирующей системы.

Конечная проводимость стенок канала приводит к возможности возникновения неустойчивости О-типа с продольной группировкой частиц. Следствием неоднородности свойств канала могут явиться различные неустойчивости комбинационного типа.

В настоящее время для оценки устойчивости к продольным возмущениям обычно применяются приближенные граничные условия Леонтовича для вычисления электромагнитного поля, обусловленного конечной проводимостью стенок, с последующим сравнением энергии этого поля с энергией пучка, его возбуждающего [1].

Такой подход обладает рядом недостатков. Во-первых, рассматривается не самосогласованная задача, которая, по определению, связана с возбуждением заданным током. Во-вторых, поле, вычисляемое с помощью граничных условий Леонтовича, терпит разрыв на стенке канала и весьма приближенно описывает истинное поле в канале (тем точнее, чем больше продольность и чем ближе к центру канала).

В ряде других работ рассматривается развитие неустойчивостей в заданном поле канала, что также не является решением самосогласованной задачи [2].

В данной работе предлагается развить методы описания поля, которые заменят граничные условия Леонтовича и позволят найти более точное решение задачи о возбуждении полей во всем объеме структуры, независимо от величины проводимости стенок [3]. Кроме того, с помощью этого метода возможен учет возникающих комбинационных эффектов.

Новый метод позволяет решать самосогласованную задачу взаимодействия частиц с полем неидеальной структуры и более точно предсказывать поведение потока заряженных частиц в ускорителе. Кроме того, достоинством такого подхода является возможность синтезировать структуру (канал), минимизирующую или подавляющую развитие неустойчивостей.

### Литература

1. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М. : Сов. радио, 1988.
2. Bontoiu C., Graievich P. Resistive wall wakefields of the FERMI undulator vacuum chambers. FERMI@elettra, october 2006.
3. Ромашин Н.Л., Йошихару Омура. Временная теория возбуждения и ее применение в компьютерном моделировании // Радиотехника и электроника. 2002. Т. 47. № 10. С. 1157–1168.

## АГРЕГИРОВАННОЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СОСТОЯНИЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ИЕРАРХИИ

Краснов А.Е., Красников С.А., Николаева С.В., Чернов Е.А.  
*Москва, МГУТУ им. К.Г. Разумовского*

Предлагается параметрический подход к агрегированному описанию сложных систем, основанный на введении некоторых параметров или индикаторов состояний их декомпозированных подсистем, начиная с самого нижнего уровня, и описании взаимодействия подсистем на всех уровнях иерархии с помощью специальной алгебры данных индикаторов. Подход во многом опирается на методологию нейронных сетей и рекомендаций международного стандарта IDFM.

### **The aggregate parametric description of states of complex systems at different levels of hierarchy. Krasnov A., Krasnikov S., Nikolaeva S., Chernov E.**

It is proposed the parametric approach to the aggregate description of complex systems, based on the introduction of some parameters or indicators of states of their disaggregated subsystems, starting with the lower level, and the description of the subsystems interaction at all levels of the hierarchy with the help of a special algebra of this indicators. The approach is largely based on the methodology of neural networks and the recommendations of the international standard IDFM.

**Введение.** Системы, моделирование которых затруднительно вследствие их размерности, называют большими [1]. Сложной называть систему, в модели которой не хватает информации для эффективного управления. По И. Пригожину, специфической особенностью сложных систем является то, что наше знание о них ограничено, и неопределенность со временем возрастает [2]. По Л. Растригину, строгое определение сложной системы ещё не найдено, но к некоторым чертам сложной системы (как объекта управления) относятся: отсутствие математического описания или алгоритма, «зашумлённость», выражающаяся в затруднении наблюдения и управления; большим числом второстепенных (для целей управления) процессов; «нетерпимость» к управлению; нестационарность, выражающаяся в дрейфе характеристик, изменении параметров, эволюции во времени [3]. Также термин «сложная система» подразумевает многозвенную структуру большого порядка с нелинейной обратной связью [4].

Мощнейшими методами анализа больших и сложных систем для целей управления и мониторинга являются методы их декомпозиции и агрегирования [5]. Один из методов перевода больших систем в разряд малых связан с декомпозицией многомерной задачи на совокупность связанных задач меньшей размерности (если природа системы это позволяет) [1]. В общем случае формальные методы декомпозиции отсутствуют, а эффективность декомпозиции связана с опытом (знаниями основ функционирования декомпозируемой системы) и использованием рекомендаций международного стандарта IDFM (Integrated Definition Function Modeling) [6].

При агрегировании широко используют методы линейных и нелинейных преобразований фазовых векторов систем, а также аппарат теории непрерывных групп, позволяющие снизить размерность описания как статических систем, например, в задачах кластеризации и распознавания образов [7], так и динамических систем, например, в задачах управления и идентификации [8, 9]. Такие методы, связанные, как правило, с решением целого ряда дополнительных задач, будем называть непараметрическими.

В настоящей работе предлагается параметрический подход к агрегированному описанию сложных систем, основанный на введении некоторых параметров или индикаторов состояний их декомпозированных подсистем, начиная с самого нижнего уровня, и описании взаимодействия подсистем на всех уровнях иерархии с помощью специальной алгебры данных индикаторов. Ограничением на использование разработанного подхода является предположение о том, что декомпозиция сложной системы на всех уровнях иерархии уже произведена. Подход во многом опирается на методологию нейронных сетей и рекомендаций международного стандарта IDFM [10].

### 1. Фазовый вектор состояния системы и динамика ее состояний

Группу  $N$  независимых характеристик или показателей состояния системы  $\sum$  обозначим транспонированным фазовым вектором  $\mathbf{S}^T = (S_1, S_2, \dots, S_N)$  состояния, где  $S_n$  – численное значение (в физической системе единиц, \$, баллах, %)  $n$ -го показателя.

Будем считать, что  $\sum$  имеет счетное число, например  $M$ , режимов функционирования, соответствующих, например, различным целям. При этом для каждого  $m$ -го режима введем критериальные значения показателей или критериальные фазовые векторы  $\mathbf{S}_m^T = (S_{1m}, S_{2m}, \dots, S_{Nm})$ , где  $m = 1, 2, \dots, M$ .

Формализация описания изменения состояний системы в  $m$ -ом режиме связана с ее дискретной динамической моделью:

$$\mathbf{S}_m^T(t) = \mathbf{F}[\mathbf{S}_m^T(t-1), \mathbf{S}_m^T(t-2), \dots; \mathbf{U}(t); \mathbf{P} | \mathbf{H}_m^T(t)], \quad (1.1)$$

$$\mathbf{X}(t) = \mathbf{S}_m^T(t) + \mathbf{H}_m^T(t), \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (1.2)$$

где  $\mathbf{F}[\ ]$  – детерминированная векторная функция;  $\mathbf{U}$  – вектор управления;  $\mathbf{P}$  – вектор параметров системы;  $\mathbf{X}$  – вектор наблюдения состояния системы;  $\mathbf{H}$  – вектор нормальных помех с нулевыми средними ( $\langle H_n \rangle = 0$ ) и неизвестными мощностями ( $\sigma_n^2$ ), а соответствующие помехи различных показателей ( $n \neq k$ ) некоррелированные, т.е.  $\langle H_n H_k \rangle = \sigma_n^2 \delta_{nk}$ , где  $\delta_{nk} = 0$  для  $n \neq k$  и  $\delta_{nn} = 1$ .

В соответствии с (1.1) считается, что значения фазового вектора  $\mathbf{S}(t)$  состояния системы определяется его предыдущими значениями  $\mathbf{S}(t-1)$ ,  $\mathbf{S}(t-2)$ , ..., а также текущим управлением  $\mathbf{U}(t)$  и помехой  $\mathbf{H}(t)$ .

В соответствии с (1.2) считается, что значения фазового вектора  $\mathbf{S}(t)$  состояния системы, непосредственно относящиеся к  $m$ -му режиму функционирования, близки к запланированным критериальным значениям  $\mathbf{S}_m^T(t)$ , но искажены помехой  $\mathbf{H}$ .

Мониторинг и оперативно-тактическое управление  $\mathbf{U}(t)$  будем строить так, чтобы минимизировать помеху  $\mathbf{H}$  и поддерживать состояние  $\mathbf{S}$  системы как можно ближе к критериальному  $\mathbf{S}_m$ .

### 2. Принципы декомпозиции и агрегирования системы

Принцип функциональной декомпозиции и ограничения сложности из рекомендаций IDFM реализуем разбиением  $N$ -мерного фазового вектора  $\mathbf{X}^T = (X_1, X_2, \dots, X_N)$  наблюдения состояния системы  $\sum$  на небольшое количество групповых векторов состояний:

$$\mathbf{X}_A^T = (X_{1A}, X_{2A}, \dots, X_{NA}); \quad \mathbf{X}_B^T = (X_{1B}, X_{2B}, \dots, X_{NB}); \quad \dots, \quad (2.1)$$

компоненты которых соответствуют функционально однородным группам показателей ( $N_A + N_B + \dots = N$ ) и описывают декомпозированные элементарные подсистемы **A**, **B**, **C**, ... первого иерархического уровня.

Аналогичным образом декомпозируем и критериальные фазовые векторы  $S_m$  ( $m = 1, 2, \dots, M$ ) на групповые критериальные векторы состояний  $S_A^m, S_B^m, S_C^m \dots$ .

Принцип пошагового управления и иерархического построения алгоритма от локальных целей к глобальной цели. На первом шаге сравним произвольные групповые векторы  $X_A, X_B, X_C \dots$  состояний элементарных подсистем **A**, **B**, **C**, ... с соответствующими групповыми критериальными векторами  $S_A^m, S_B^m, S_C^m \dots$  состояний данных подсистем, образуя разности:

$$\begin{aligned} & (X_{1A} - S_{1A}^m), (X_{2A} - S_{2A}^m), \dots, (X_{NA} - S_{NA}^m), \\ & (X_{1B} - S_{1B}^m), (X_{2B} - S_{2B}^m), \dots, (X_{NB} - S_{NB}^m), \quad m = 1, 2, \dots, M, \end{aligned} \quad (2.2)$$

Управление процессом сравнения на первом иерархическом уровне декомпозиции для всех элементарных подсистем **A**, **B**, **C**, ... будем производить с помощью весовых коэффициентов:

$$\begin{aligned} & \alpha_{1A}^m, \alpha_{2A}^m, \dots, \alpha_{NA}^m, \dots, \\ & \alpha_{1B}^m, \alpha_{2B}^m, \dots, \alpha_{NB}^m, \dots, \quad m = 1, 2, \dots, M, \end{aligned} \quad (2.3)$$

Данные весовые коэффициенты верифицируют индивидуальные значимости показателей элементарных подсистем **A**, **B**, **C**, ... . Обычно их значения удобно нормировать на единицу, т.е.:

$$\sum_{n=1}^{NA} \alpha_{nA}^m = 1, \sum_{n=1}^{NB} \alpha_{nB}^m = 1, \dots, \quad m = 1, 2, \dots, M. \quad (2.4)$$

В дальнейшем верифицированные монотонные положительно определенные функции  $f()$  разностей (2.2)

$$\begin{aligned} & \alpha_{1A}^m f(X_{1A} - S_{1A}^m), \alpha_{2A}^m f(X_{2A} - S_{2A}^m), \dots, \alpha_{NA}^m f(X_{NA} - S_{NA}^m), \\ & \alpha_{1B}^m f(X_{1B} - S_{1B}^m), \alpha_{2B}^m f(X_{2B} - S_{2B}^m), \dots, \alpha_{NB}^m f(X_{NB} - S_{NB}^m), \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$m = 1, 2, \dots, M.$$

будем использовать для вычисления оценок групповых или дифференциальных индикаторов  $I_A, I_B, \dots$ , состояний элементарных подсистем первого иерархического уровня декомпозиции.

На следующем шаге группе элементарных подсистем **A**, **B**, **C**, ... наряду с их групповыми индикаторами  $I_A, I_B, \dots$  состояний присвоим весовые коэффициенты  $\mu_A, \mu_B, \mu_C \dots$ , верифицирующие их групповые значимости для образования соответствующих агрегатов – подсистем второго уровня иерархии.

Так, например, если на втором иерархическом уровне из элементарных подсистем **A**, **B**, **C**, **D**, **E** строятся агрегаты **ABC** и **DE**, то значения весовых



коэффициентов  $\mu_A, \mu_B, \mu_C, \mu_D, \mu_E$ , должны удовлетворять условиям нормирования (2.4):  $\mu_A + \mu_B + \mu_C = 1, \mu_D + \mu_E = 1$ .

Агрегирование на последующих иерархических уровнях производится по аналогии с приведенной процедурой, например, как показано на ориентированном графе рисунка 1.2.

Таким образом, при параметрическом описании агрегированной системы, кроме знания о том какие ее подсистемы необходимо объединять, основная проблема заключается в построении индикаторов  $I_A, I_B, \dots; I_{ABC}, I_{DE}; I_{ABCDE}$  соответствующих агрегатов.

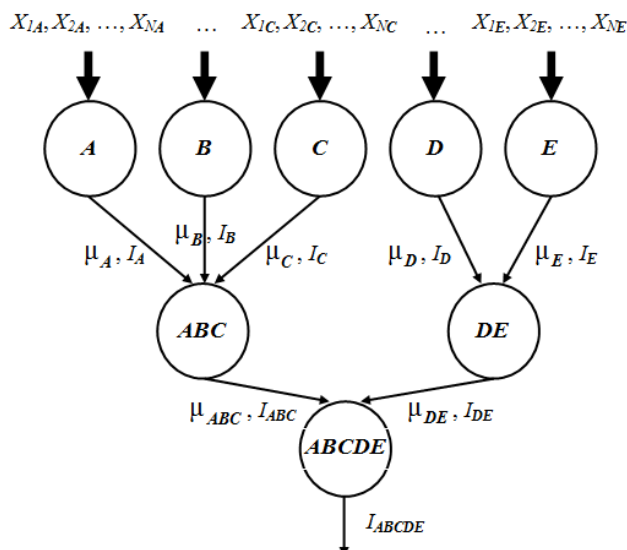


Рис. 1.2. Граф агрегирования.

Принцип оптимальности / рациональности. Для сложных систем интенсивности  $\sigma_n^2$  помех из рассмотренной выше модели наблюдений (1.2) неизвестны.

Тогда для оптимального/ рационального по достоверности сравнения наблюдаемых векторов  $X_A, X_B, X_C \dots$  состояний элементарных подсистем **A, B, C, ...** с соответствующими групповыми критериальными векторами  $S_A^m, S_B^m, S_C^m \dots$  будем использовать описанные в [10 ÷ 12] индикаторы в виде специфических мер сходства, полученных, в свою очередь, на основе метода максимального правдоподобия теории статистических решений [13]:

$$I^{**}(X, S^m) = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^K \frac{\alpha_k^m (X_k - S_{km}^{**})^2}{h_{km}^2}}, \quad 0 \leq I^{**} \leq 1, \quad (2.6)$$

$$I^*(X, S^m) = \frac{\sum_{k=1}^K \frac{\alpha_k^m (X_k - S_{km}^*)^2}{h_{km}^2}}{1 + \sum_{k=1}^K \frac{\alpha_k^m (X_k - S_{km}^*)^2}{h_{km}^2}}, \quad 0 \leq I^* \leq 1, \quad (2.7)$$

$$\sum_{k=1}^K \alpha_k^m = 1, \quad m = 1, 2, \dots, M,$$

где  $h_{km}^2$  – некоторые оценки неизвестных интенсивностей  $\sigma_n^2$  помех, а звездочки относятся к критериальным показателям верхнего (\*\*) и нижнего (\*) уровней. Так, индикаторы (2.6) и (2.7) монотонно растут до 1 при приближении всех значений  $X_k$  вектора наблюдения состояния элементарной подсистемы к критериальным значениям  $S_{km}^{**}$  или удалении от критериальных значений  $S_{km}^*$  (для любого  $m$ -го режима функционирования). Последний случай характерен, когда улучшение функционирования системы достигается за счет неограниченного роста ее показателей (энерговооруженность, капиталоемкость, интеллект, и т.п.)

В качестве оценок неизвестных интенсивностей  $\sigma_n^2$  помех возможно использовать оценки, получаемые из выражения:

$$h^2 = s^2 + d^2, \quad (2.8)$$

где  $s$  – стандартное отклонение, определяемое инструментальной погрешностью измерения показателя  $S$ ;  $d$  – разброс или диапазон возможных значений показателя  $S$ , определяемый его природой.

В общем случае значения  $h$  можно также подбирать, управляя чувствительностью вариации  $I$  к вариации значений  $S$ .

Нейроподобность модели агрегирования. Структура приведенной в виде ориентированного графа модели агрегирования (рис. 1.2) во многом соответствует описанию работы квазинейронной сети [14]. При этом наблюдаемые показатели  $X_n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) системы формируют входные сигналы сети. Агрегаты **A, B, C, D, E; ABC, DE; ABCDE** соответствуют нейронам. Все индикаторы  $I$  суть функции отклика нейронов. Однако, в отличие от нейронных сетей, в нейроподобной модели все связи устанавливаются жестко, путем описанной выше процедуры декомпозиции и иерархической группировки.

### 3. Алгебра индикаторов состояний подсистем

Учет парных взаимодействий подсистем. В качестве исходной примем алгебру индикаторов состояний подсистем, основанную на их парном взаимодействии.

Пусть система  $\Sigma = \mathbf{ABC}$  состоит из трех неравнозначных взаимодействующих элементарных подсистем  $\mathbf{A} = (\mu_A, I_A)$ ,  $\mathbf{B} = (\mu_B, I_B)$  и  $\mathbf{C} = (\mu_C, I_C)$ , где  $\mu_A + \mu_B + \mu_C = 1$ , а  $I_A, I_B, I_C \in (0 \div 1)$  из (2.6) и (2.7).

Определим индикатор состояния подсистемы **AB** как:

$$I_{AB} = \frac{\mu_A I_A + \mu_B I_B + \Psi(\mu_A, \mu_B, I_A, I_B)}{\mu_{AB}}, \quad (3.1)$$

$$\mu_{AB} = \mu_A + \mu_B + \Psi(\mu_A, \mu_B, 1, 1),$$

где  $\Psi()$  – нелинейная функция аргументов, учитывающая парное взаимодействие подсистем **A** и **B**, а  $\mu_{AB}$  – значимость агрегата **AB** в системе **ABC** в результате парного взаимодействия.

Как легко заметить из (3.1), в результате нормирования на  $\mu_{AB}$ ,  $I_{AB} = 1$ , если  $I_A = I_B = 1$ . В (3.1) условия:

$$\begin{aligned} \Psi(\mu_A, \mu_B, I_A, I_B) &= 0, \text{ для } \mu_A = 0, \text{ или } \mu_B = 0, \text{ или } I_A = 0, \text{ или } I_B = 0, \\ \Psi(\mu_A, \mu_B, 1, 1) &= \Psi(\mu_A, \mu_B), \text{ для } I_A = I_B = 1 \end{aligned} \quad (3.2)$$

удовлетворяется, если:

$$\Psi(\mu_A, \mu_B, I_A, I_B) = V \mu_A \mu_B I_A I_B, \quad (3.3)$$

где  $V$  – безразмерный коэффициент парного взаимодействия.

Тогда, из (3.1) следует:

$$I_{AB} = \frac{\mu_A I_A + \mu_B I_B + V \mu_A \mu_B I_A I_B}{\mu_{AB}}, \quad (3.4)$$

$$\mu_{AB} = \mu_A + \mu_B + V \mu_A \mu_B.$$

При отсутствии взаимодействия получим вполне естественный средневзвешенный результат без синергетического эффекта:

$$I_{AB} = \frac{\mu_A I_A + \mu_B I_B}{\mu_A + \mu_B}. \quad (3.5)$$

Из (3.4) следует, что  $I_{AB}$  будет монотонно возрастающей функцией переменных  $I_A$  и  $I_B$ , если  $V = -\varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – положительно определенная константа. Тогда, из (3.4) получим:

$$I_{AB} = \frac{\mu_A I_A + \mu_B I_B - \varepsilon \mu_A \mu_B I_A I_B}{\mu_A + \mu_B - \varepsilon \mu_A \mu_B}, \quad (3.6)$$

$$\mu_{AB} = \mu_A + \mu_B - \varepsilon \mu_A \mu_B.$$

Выражение (3.1), а следовательно и (3.6) построено по аналогии с расчетом значений различных физических величин для системы молекул двух сортов **A** и **B**, имеющих молярные доли  $\mu_A$ ,  $\mu_B$  и соответствующие физические величины  $PV_A$  и  $PV_B$  в приближении парного молекулярного взаимодействия [15]:

$$PV_{AB} = \mu_A PV_A + \mu_B PV_B + V_{AB} \mu_A \mu_B, \quad (3.7)$$

где  $V_{AB}$  – вириальный коэффициент парного взаимодействия молекул разных сортов, а физические величины  $PV$  не нормированы.

При учете тройных взаимодействий в системе молекул трех сортов выражение (2.13) примет вид [15]:

$$PV_{ABC} = \mu_A PV_A + \mu_B PV_B + \mu_C PV_C + V_{AB} \mu_A \mu_B + V_{AC} \mu_A \mu_C + V_{BC} \mu_B \mu_C + V_{ABC} \mu_A \mu_B \mu_C, \quad (3.8)$$

где  $V_{ABC}$  – вириальный коэффициент тройного взаимодействия молекул.

Вириальные коэффициенты наделяют молекулярную систему своеобразным синергизмом – свойство системы  $PV_{ABC}$  не сводится к свойствам  $PV_A$ ,  $PV_B$ ,  $PV_C$  ее подсистем.

В (3.6) роль вириального коэффициента  $V_{AB}$  играет величина « $-\varepsilon I_A I_B$ ».

Заметим, что в нечеткой логике система **AB**, состоящая из двух равнозначных взаимодействующих подсистем **A** и **B**, описывается как «нечеткое И», а не взаимодействующих подсистем **A** и **B** как «нечеткое ИЛИ» соответственно [16]:

$$I_{AB} = I_A I_B \text{ – «нечеткое И»,} \quad (3.9)$$

$$I_{AB} = I_A + I_B - I_A I_B \text{ – «нечеткое ИЛИ»,}$$

где  $I_A, I_B \subset (0 \div 1)$  – нечеткие функции принадлежности.

Заметим также, что впервые выражение (3.6) для  $\varepsilon = 1$  было получено при построении экспертной медицинской системы [17], а затем использовалось в системах контроля качества пищевых продуктов [18].

Учет взаимодействий высшего порядка. На основании алгебры парных взаимодействий с помощью (3.6) рекурсивно строится оценивание индикатора  $I_\Sigma$  для системы  $\Sigma$ , состоящей из любого количества подсистем. Рассмотрим следующие примеры.

Предположим, что к агрегированной подсистеме  $AB = (\mu_{AB}, I_{AB})$  добавляется элементарная подсистема  $C = (\mu_C, I_C)$ . При этом:

$$I_{AB} = \frac{\mu_A I_A + \mu_B I_B - \varepsilon \mu_A \mu_B I_A I_B}{\mu_A + \mu_B - \varepsilon \mu_A \mu_B}, \quad (3.10)$$

$$\mu_{AB} = \mu_A + \mu_B - \varepsilon \mu_A \mu_B, \quad \mu_A + \mu_B + \mu_C = 1.$$

Смеси. Назовем системы типа  $AB$  и  $ABC$  смесями элементов ( $A, B$  и  $A, B, C$  соответственно).

Тогда, для смеси  $ABC$  на основании (3.6) получим

$$I_{ABC} = \frac{\mu_{AB} I_{AB} + \mu_C I_C - \varepsilon \mu_{AB} \mu_C I_{AB} I_C}{\mu_{AB} + \mu_C - \varepsilon \mu_{AB} \mu_C} =$$

$$\frac{\mu_A I_A + \mu_B I_B + \mu_C I_C - \varepsilon \mu_A \mu_B I_A I_B - \varepsilon \mu_A \mu_C I_A I_C - \varepsilon \mu_B \mu_C I_B I_C +}{\mu_A + \mu_B + \mu_C - \varepsilon \mu_A \mu_B - \varepsilon \mu_A \mu_C - \varepsilon \mu_B \mu_C + \varepsilon^2 \mu_A \mu_B \mu_C} +$$

$$+ \frac{\varepsilon^2 \mu_A \mu_B \mu_C I_A I_B I_C}{\mu_A + \mu_B + \mu_C - \varepsilon \mu_A \mu_B - \varepsilon \mu_A \mu_C - \varepsilon \mu_B \mu_C + \varepsilon^2 \mu_A \mu_B \mu_C}. \quad (3.11)$$

Слагаемое  $\varepsilon^2 \mu_A \mu_B \mu_C I_A I_B I_C$  соответствует тройным взаимодействиям элементарных подсистем (см. 3.8).

Композиты. Предположим, что в систему объединяются две подсистемы – смеси  $AB = (\mu_{AB}, I_{AB})$  и  $CD = (\mu_{CD}, I_{CD})$ . При этом,  $\mu_A + \mu_B = 1$ ,  $\mu_C + \mu_D = 1$ , а  $\mu_{AB} + \mu_{CD} = 1$ . Тогда:

$$I_{AB} = \frac{\mu_A I_A + \mu_B I_B - \varepsilon \mu_A \mu_B I_A I_B}{1 - \varepsilon \mu_A \mu_B}, \quad I_{CD} = \frac{\mu_C I_C + \mu_D I_D - \varepsilon \mu_C \mu_D I_C I_D}{1 - \varepsilon \mu_C \mu_D},$$

$$I_{AB,CD} = \frac{\mu_{AB} I_{AB} + \mu_{CD} I_{CD} - \varepsilon \mu_{AB} \mu_{CD} I_{AB} I_{CD}}{1 - \varepsilon \mu_{AB} \mu_{CD}}. \quad (3.12)$$

Агрегированную систему  $AB, CD$  из (3.12) будем называть композитом.

Описание динамики агрегированных подсистем. Рассмотренное агрегированное параметрическое описание сложной системы  $\Sigma$  на основе редукции N-мерного фазового вектора ее состояния к набору индикаторов  $\{I\}_\Sigma$  на разных иерархических уровнях позволяет упростить рассмотрение динамики системы, сведя ее к наблюдению

во времени как самих индикаторов  $\{I(t)\}_\Sigma$ , так и скоростей их изменения  $\{\dot{I}(t)\}_\Sigma$  на разных уровнях иерархии системы.

### Литература

1. Лэсдон Л. С. Оптимизация больших систем. – М.: Наука, 1975.
2. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. – М.: Прогресс, 1986.
3. Растригин Л. А. Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1981.
4. Джей Форрестер. Динамика развития города. – М.: Прогресс, 1974.
5. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.Л. Введение в системный анализ. – М.: ВШ, 1989.
6. ГОСТ Р 50.1.028-2001 «Методология функционального моделирования IDEF/0».
7. Дж. Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978.
8. В.И. Цурков. Динамические задачи большой размерности. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988.
9. Павловский Ю.Н. Теория факторизации и декомпозиции управляемых динамических систем и ее приложения // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1984, № 6. – С. 45 – 47.
10. Краснов А.Е., Красников С.А. и др. Модели количественного оценивания качества объектов технологий, производства и бизнеса в стандарте IDFM. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006, № 3.
11. Краснов А.Е., Красников С.А. и др. Основы спектральной компьютерной квалиметрии жидких сред. / Под ред. А.Е. Краснова. – М.: ИД «Юриспруденция», 2006.
12. Феоктистова Н.А. Модели количественного оценивания качества продовольственных товаров: модели, численные методы и информационные технологии количественного оценивания качества. – Saarbrucken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012.
13. Малиновский Л.Г. Анализ статистических связей: Модельно-конструктивный подход. – М.: Наука, 2002.
14. Люгер Джордж Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание. Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003.
15. Келих С. Молекулярная нелинейная оптика: Пер. с польск. / Под ред. И.Л. Фабелинского. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981.
16. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
17. Краснов А.Е., Крюкова И.П., Лебедев В.Г., Панкова Л.А., Краснова Т.Н. Основы формализации синдромной диагностики для автоматизации ведения пациентов. // Медицинская техника, 1998, №3. – С. 20 – 26.
18. Краснов А.Е., Красуля О.Н., Большаков О.В., Шленская Т.В. Информационные технологии пищевых производств в условиях неопределенности: системный анализ, управление и прогнозирование с элементами компьютерного моделирования. / Под ред. А.Е. Краснова и О.Н. Красули. – М.: ВНИИМП, 2001.

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ДОННЫХ ВОЛН

Крат Ю.Г., \*Потапов И.И.

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
\*Вычислительный центр ДВО РАН*

В работе предложена русловая модель, позволяющая исследовать процесс развития донных волн с учетом стохастического возмущения потока. Исследовано влияние гидродинамических параметров потока на процесс образования и развития донных волн. Сравнение полученных результатов с натурными данными показало их хорошее качественное и количественное согласование.

### **Stochastic model of bed wave. Krat Y. G., Potapov I.I.**

In this paper we proposed a model of river bed, which allows to explore the development of bottom waves, taking into account the stochastic perturbation of the flow. To investigate the effect of hydrodynamic flow parameters on the process of education and development of bottom waves. Comparison of the results with the field data are in good qualitative and quantitative agreement.

### **Введение**

Изучение русловых процессов в реках с песчаным дном связано с необходимостью решения нелинейной зависимости между движением донных наносов и движением гидродинамического потока. Подвижность дна реки приводит к появлению неустойчивости донной поверхности и появлению множества донных форм, начиная от донной ряби с сантиметровыми масштабами до волн, имеющих масштаб ширины русла [1, 2]. Донные волны, в свою очередь, влияют на значение гидравлического сопротивления, которое необходимо определить для решения гидродинамической задачи.

Данная задача в общем виде на настоящий момент не имеет замкнутой формальной постановки [3 - 6]. Существующие теоретические работы по линейной устойчивости русла [3 - 6] позволяют определить параметры задачи, при которых начинают развиваться донные волны, определить их длину и скорость движения, но не могут ответить на вопросы о полном гидравлическом сопротивлении, характеризуемом реальными масштабами донных волн.

В данной работе предложена одномерная по пространству математическая модель, включающая в себя линеаризованные уравнения движения водного потока [5] в рамках приближения мелкой воды, уравнение баланса влекомых наносов, определяющее эволюцию донной поверхности и формулу движения влекомых наносов [6].

В рамках предложенной модели исследуется эволюция донных волн в зависимости от гидродинамических и стохастических свойств русловой системы и физико-механических и гранулометрических характеристик донного материала и выполняются их сравнения с натурными данными.

### **1. Математическая модель задачи.**

Рассматривается задача описания размыва песчаного дна реки. Для определения осредненного по глубине поля скорости жидкости принимаются уравнения гидродинамики в приближении мелкой воды [3], в которых массовые силы учитывают средний уклон русла и квадратичный закон сопротивления. Поскольку дно изменяется медленно, то используются стационарные уравнения движения. Рассматриваются одномерные по координате  $x$  уравнения. Ось  $x$  направлена по скорости потока  $V(x)$ ,

осредненной по глубине. Декартова координата  $z$  направлена перпендикулярно вверх (рис. 1).

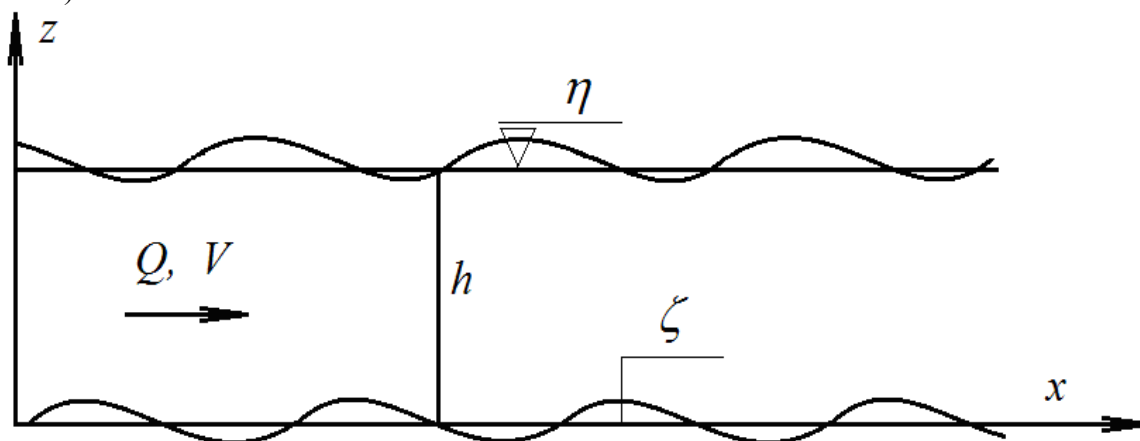


Рис. 1 Расчетная область

Пусть  $z = \zeta(t, x)$  - отметка дна,  $z = h + \zeta(t, x) = \eta(t, x)$  - отметка свободной поверхности,  $h$  - средняя глубина канала. Начало координат канала выбираем так, чтобы средние по координате  $x$  функции  $\zeta(x)$  и  $\eta(x)$  были равны нулю  $\langle \zeta(x) \rangle = 0$  и  $\langle \eta(x) \rangle = 0$ . Уравнение движения имеет вид

$$\frac{1}{2} \frac{\partial V^2}{\partial x} - gJ + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\lambda_g V^3}{Q} = 0 \quad (1)$$

и дополняется уравнением сохранения расхода  $Q$

$$Q = (h + \eta - \zeta)V \quad (2)$$

где  $J$  - средний уклон русла,  $\lambda_g$  - коэффициент гидравлического сопротивления,  $g$  - ускорение свободного падения. Для решения русловой задачи потребуется линеаризация этих уравнений. Для ровного дна  $\zeta = 0$  решением уравнений (1), (2) является однородный поток со скоростью  $U$  и ровной свободной поверхностью  $\eta = 0$ . Скорость  $U$  определяется из баланса сил сопротивления и умноженной на уклон дна силы тяжести

$$U = Q/h = \sqrt{ghJ/\lambda_g}.$$

Линеаризуем уравнения (1) и (2) по малым возмущениям  $u = V - U$ ,  $\eta$  и  $\zeta$ . Для разных степеней  $V$  имеем

$$V = \frac{Q}{h + \eta - \zeta} = \frac{Q}{h} + \frac{Q}{h^2}(\zeta - \eta),$$

$$V^2 = \frac{Q^2}{h^2} + 2\frac{Q^2}{h^3}(\zeta - \eta),$$

$$V^3 = \frac{Q^3}{h^3} + 3\frac{Q^3}{h^4}(\zeta - \eta).$$

Подставив эти выражения в уравнение (1), с помощью (2), получим

$$\frac{Fr - 1}{Fr} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{3\lambda_g}{h} (\eta - \zeta) = 0, \quad (3)$$

где  $Fr = \frac{U^2}{gh}$  - число Фруда. Учитывая, что  $\lambda_g \ll 1$ , с точностью до малых второго

порядка на интервалах порядка длины донной волны, полученное уравнение (3) можно упростить до вида

$$\frac{Fr - 1}{Fr} \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial \zeta}{\partial x} = 0. \quad (4)$$

Изменение отметки дна можно найти из уравнения сохранения песчаной массы [3]

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\rho_s(1 - \varepsilon)} \frac{\partial G}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

где  $\rho_s$  - плотность частиц песка,  $\varepsilon$  - коэффициент пористости песчаного дна,  $t$  - время.

Для замыкания системы уравнений находится зависимость вектора расхода наносов  $G$  от векторов напряжения жидкости на дне, локальных уклонов донной и свободной поверхностей

$$G = \begin{cases} C_0 T^{3/2} \left[ \operatorname{tg} \varphi (1 - \chi) - \left(1 - \frac{\chi}{2}\right) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1 - \chi}{s} \frac{\partial \eta}{\partial x} \right], & 1 - \chi > 0 \\ 0, & 1 - \chi \leq 0 \end{cases}, \quad (6)$$

$$C_0 = \frac{4}{3} \frac{\rho_s}{\kappa \sqrt{\rho_w} F_a \operatorname{tg} \varphi}, \quad T_0 = \frac{9}{8} \frac{\kappa^2 d F_a}{c_x}, \quad \chi = \sqrt{\frac{T_0}{T}},$$

$$s = f \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}, \quad F_a = \cos \gamma \operatorname{tg} \varphi (\rho_s - \rho_w) g,$$

где  $T_0$  - напряжение начала движения донных частиц;  $\rho_w$  - плотность воды;  $\varphi$  - угол внутреннего трения донных частиц;  $s$  - параметр стратификации активного придонного слоя, в котором переносятся частицы;  $\gamma$  - острый угол между нормалью к поверхности смеси и вертикальной линией;  $f$  - концентрация донных частиц в активном слое;  $\kappa = 0.4$  - постоянная Кармана;  $c_x$  - коэффициент лобового сопротивления частиц;  $d$  - диаметр частиц потока.

Касательное напряжение у поверхности дна  $T$  будем вычислять по формуле

$$T = \rho_w \lambda_g \frac{Q^2}{(h + \eta - \zeta)^2} \approx \rho_w \lambda_g U^2 \left(1 + 2 \frac{\zeta}{h}\right) \quad (7)$$

Использование асимптотик (4), (7) позволяют исключить из уравнения (6) функцию  $\eta$ , замыкая систему уравнений (5), (6). Сформулируем на основе уравнений (5), (6) задачу русловых деформаций, до определив их начальными и граничными условиями

$$\zeta(x, 0) = \zeta_0, \quad (8)$$



$$G(0,t) = G_0 + \delta, \quad (9)$$

$$G(L,t) = G_0. \quad (10)$$

где  $\zeta_0$  - начальное значение донной поверхности;  $G_0$  - среднее значение транзитного потока влекомых наносов, полученное для установившегося течения над ровным дном;  $\delta$  - стохастические пульсации транзитного расхода влекомых наносов;  $L$  - длина расчетной области.

Стохастическое поведение потока определяется заданием пульсации  $\delta$  расхода транзитного массового потока наносов на входе в расчетную область. Величина пульсаций определяется с использованием закона нормально распределения [7].

## 2. Численный метод решения задачи

Для решения задачи используется итерационный метод на равномерной сетке по пространству с узлами  $x_i = i\Delta x$ ,  $0 \leq i \leq N$  и шагом  $\Delta x = L/N$ . Выполняется расчет донных изменений по схеме первого порядка

$$\zeta_i^{n+1} = \zeta_i^n + \frac{\Delta t}{(1-\varepsilon)\rho_s} \frac{q_i^n - q_{i-1}^n}{\Delta x},$$

Завершение расчета осуществляется после выхода на квазистационарный режим критерия  $W$ , являющийся среднеквадратичным отклонением донной поверхности от

средней линии дна  $\bar{\zeta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \zeta_i$

$$w = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (\zeta_i - \bar{\zeta})^2 \right)^{1/2}, \quad (11)$$

где  $N$  - количество узлов;  $\zeta_i$  - значения донной поверхности в  $i$ -ом узле;  $\Delta t$  - шаг по времени.

Учет лавинного характера движения наносов на подветренном склоне донных волн производился по алгоритму, предложенному в работах [11], [12]. Для предотвращения образования нефизических осцилляций в основании напорного склона донных волн был использован метод нижней релаксации лавинного расхода с параметром релаксации  $\alpha = 0.8$ .

## 3. Динамика развития донных волн

На основании предложенной стохастической математической модели (4) - (10) выполнены расчеты по эволюции донных волн во времени для различных чисел Фруда. Расчеты велись при следующих геометрических, физико-механических и гранулометрических параметрах:  $L = 10 \text{ м}$ ,  $U = 0.5 \text{ м/с}$ ,  $0.05 \text{ м} < h < 0.3 \text{ м}$ ,  $\rho_s = 1650 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_w = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $\varphi = 28$ ,  $d = 0.0001 \text{ м}$ ,  $\varepsilon = 0.4$ ,  $c_x = 0.5$ ,  $\kappa = 0.4$ ,  $f = 0.1$ . Амплитуда стохастических возмущений транзитного потока наносов на входе в расчетную область варьировалась в диапазоне  $0.006G \leq \delta \leq 0.1 G_0$ .

На рис. 2 представлены графики эволюции относительной длины волны донных возмущений для различных чисел Фруда. Кривые 1 – 4 соответствуют числам Фруда  $Fr$  равным 0.29, 0.36, 0.51, 0.71. Также на графиках для каждой эволюционной кривой

сплошными линиями определены их средние значения, а пунктирными – границы среднеквадратичных отклонений относительной длины волны донных возмущений.

Из анализа результатов расчетов следует, что рост амплитуды донных волн и их длины происходит в первые 50 - 500 сек., что хорошо согласуется с известными экспериментальными данными [9, 10]. Из графиков видно, что при временах больших 500 сек., не смотря на продолжающееся стохастическое изменение рельефа дна, критерий установления (11) не изменяется, то есть происходит квазипериодическое движение донного рельефа со среднеквадратичными отклонениями:  $w=0.036$ ,  $w=0.093$ ,  $w=0.066$ ,  $w=0.038$ . Полученный результат имеет важное методологическое значение и указывает на причины, по которым различные экспериментаторы [9, 10] не могут получить четких детерминированных взаимосвязей между гидродинамическими параметрами потока и геометрическими параметрами донных волн в своих экспериментах.

Согласно полученным результатам, даже малое стохастическое изменение расхода  $\delta \sim 0.01G_0$ , находящееся, как правило, за пределами точности измерительной аппаратуры, может приводить к значительному (до порядка) системному отклонению измеряемых геометрических характеристик. Вероятно, наличие стохастического возмущения расхода наносов приводит к невозможности получения стационарного руслового решения для донной поверхности.

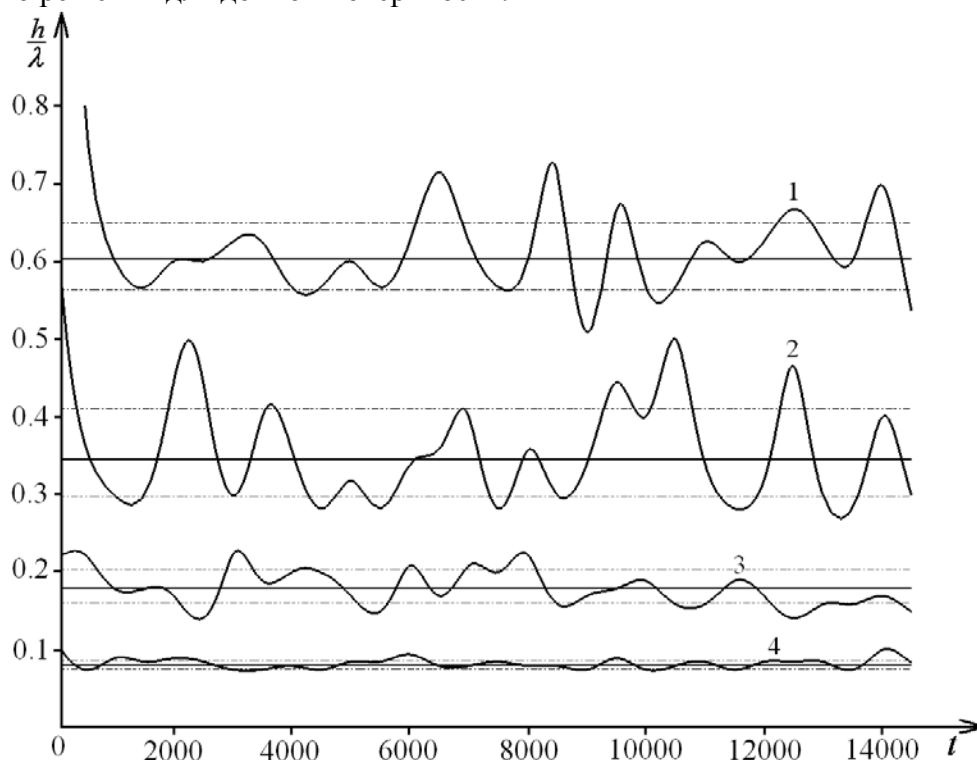


Рис.2 Рост длин волн донных возмущений  
1:  $Fr = 0.29$ , 2:  $Fr = 0.36$ , 3:  $Fr = 0.51$ , 4:  $Fr = 0.71$

————— средняя длина волн  
- - - - - среднеквадратичное отклонение

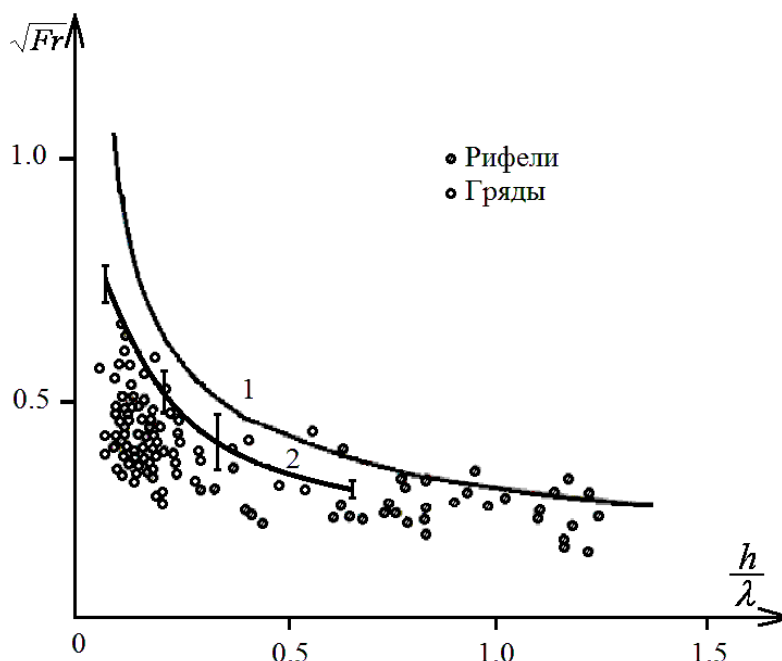


Рис. 3. Связь между числом Фруда невозмущенного потока и относительной длиной волны донных возмущений. 1. Асимптотическое решение Кеннеди [3], 2. Численное решение по предложенной модели.

На рис. 3, кривая 1 представлен график связи между числом Фруда невозмущенного потока и средними значениями относительной длины волны донных возмущений. На представленной кривой приведены интервалы, определяемые среднеквадратичными отклонениями. Интервалы указывают полосу, в которой экспериментальные данные имеют характерное рассеивание относительно среднего значения – относительной длины волны донных возмущений. Полученная расчетная зависимость 1 хорошо согласуется с экспериментальными данными, приведенными в работе [8], и согласуется с линейной оценкой Кеннеди (кривая 2).

### 5. Выводы

1. В работе предложена нелинейная стохастическая модель формирования донных волн, не содержащая в себе феноменологических параметров.

Получены численные закономерности, определяющие рост длины волны во времени, в зависимости от числа Фруда гидродинамического потока, а также физико-механических и гранулометрических параметров донного материала.

3. На основе полученных данных, получен важный методологический результат: стохастическое возмущение потока влекомых наносов на больших временах не имеет стационарного решения, что не позволяет получить четких детерминированных взаимосвязей между гидродинамическими параметрами потока и длиной волны донных возмущений.

4. Полученные в результате моделирования длины волн, согласуются с экспериментальными данными и не противоречат аналитическим зависимостям линейного анализа донной устойчивости.

### Литература

1. Rubin, D. M. Use of forecasting signatures to help distinguish periodicity, randomness, and chaos in ripples and other spatial patterns // Chaos. - 1992. - Vol. 2. – p. 525 – 535.

2. Dodds P. S., Rothman D. H. Scaling, universality and geomorphology // *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* - 2000. - Vol. 28. – p. 571 – 610.
3. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов - Л: Гидрометеиздат, 1974. – 143 с.
4. Komarova N. L., Hulscher S. J. M. H. Linear instability mechanisms for sand wave formation // *Journal of Fluid Mech.* - 2000. - Vol. 413. – p. 219 – 246.
5. Петров А.Г., Потапов И.И. Постановка и решение задачи об устойчивости несвязного дна канала // *ПМТФ.* 2010. - Т. 51. № 1. – с. 62 – 74.
6. Петров А.Г., Потапов И.И. О развитии возмущений песчаного дна канала // *Доклады Академии наук.* 2010. - Т. 431. № 2. – с. 191 – 195.
7. Крат Ю.Г., Потапов И.И. Влияние нерегулярного возмущения потока на образование донных волн: препринт №175. - Хабаровск: Вычислительный центр ДВО РАН, 2012. – 22 с.
8. Guy N.P., Simons D.B., Richardson E.V. Summary of alluvial channel data from flume experiments. *Geol. Survey Profess. Paper 462-I.* Washington, 1967. – p.96.
9. Stephen E.Coleman, Juan J.Fedele, Marcelo H.Garcia. Closed-conduit bed-forms initiation and development // *Journal of Hydraulic Engineering.* - 2003. – Vol. 129, №12. – p. 956 – 965.
10. Jeremy G. Venditti, Michael Church. Morphodynamics of small-scale superimposed sand waves over migrating dune bed forms // *Water Resources Research* - 2005. - Vol.41. – p. 14.
11. Tjerry S. Morphological Calculations of Dunes in Alluvial Rivers // *Ph.D.-thesis.* / ISVA, Technical University of Denmark. 1995. pp. 193.
12. Sanne L.N. Modeling of sand dunes in steady and tidal flow // *Ph.D.-thesis.* / MEK-DTU, Technical University of Copenhagen, Denmark. 2003. pp. 185.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КЛАССИФИКАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ СИМВОЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г.

*Украина, Харьков, Национальный университет «Юридическая академия Украины им. Ярослава Мудрого»*

Предложен и исследован новый метод сжатия изображений текста на основе эффективного разделяющего правила связанных символов при их автоматической классификации. Обосновано применение метода обработки графического словаря символьных данных на основе формирования и классификации вертикальных элементов строки. Предложенный новый 2-х этапный алгоритм сжатия изображения текста имеет преимущество около 25% в степени компрессии в сравнении с известным алгоритмом JB2 формата DjVu.

**Information technologies of classification and encoding of character data. Ivanov V.G., Lomonosov U.V., Lyubarsky M.G.**

The new method of compression of images of the text on the basis of an effective dividing rule of coherent symbols is offered and investigated at their automatic classification. Application of a method of processing of the graphic dictionary of symbolical data on the basis of formation and classification of vertical elements of a line is proved. Offered new 2th a stage algorithm the algorithm of compression of the image of the text has advantage about 25 % in compression degree in comparison with known algorithm JB2 of format DjVu.

Теория и практика сжатия данных является основным и эффективным инструментом формирования и архивации цифрового контента огромного числа различных текстовых документов: книг, журналов, технической документации и т.д. При этом становится очевидным, что наибольшая степень сжатия этого типа изображений может быть достигнута только с использованием методов классификации и распознавания образов [1 – 7]. В частности, на классификации изображений символов, составляющих изображение текста, основан наиболее эффективный алгоритм JB2, который как составная часть входит в графический формат DjVu [8, 9].

В идеальном случае после проведения классификации при таком подходе, все изображения одного и того же символа в тексте должны попадать в один класс. В таком случае, можно заменить все изображения из каждого класса одним представителем, например, усредненным изображением данного символа. Изображение текста, после классификации символов, можно представить в виде «графического словаря» – набора усредненных изображений каждого символа, и «картой регионов» – описанием положения каждого символа в тексте. В итоге результирующий размер файла изображения текста существенно уменьшится [10]. В реальности не удается получить для каждого символа только один класс его изображений и соответственно иметь для него в «графическом словаре» только одного представителя. Чем выше уровень шумов (при одном и том же качестве классификации), тем больше вариантов изображения одного и того же символа (классов) находится в словаре и тем больший объем имеет «графический словарь». Это существенно снижает общую степень сжатия всего изображения.

Целью настоящей работы является построение двухэтапного алгоритма сжатия текстовых изображений: выделение связанных символов и их автоматическая классификация – первый этап; дополнительное сжатие «графического словаря» после разбиения его представителей на вертикальные элементы строки и их последующей классификации – второй этап.

Предлагаемый алгоритм сжатия текстовых изображений схематично представлен на рис. 1.

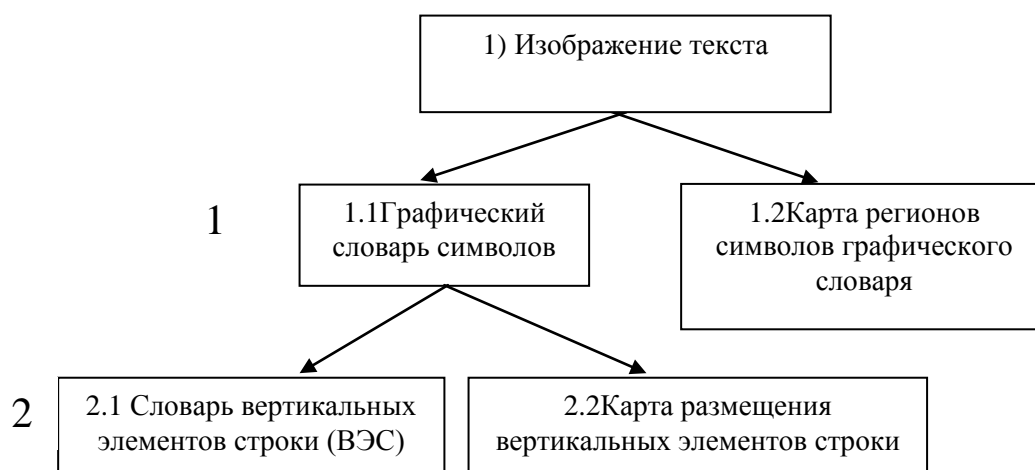


Рис.1. Схема двух этапной обработки изображения текста.

На первом этапе, при создании «графического словаря» и «карты регионов» используется технология выделения связанных символов и разбиение их на классы, предложенная в работе [10]. Основным отличием применяемой здесь классификации является использование новой методики определения степени близости изображений

двух символов при их сравнении. Предложенная методика мало чувствительна к шумам печати и сканирования, так как основана на стабильных характеристиках, которые не зависят от характерных контурных шумов печати и сканирования. Это в значительной степени повышает качество классификации изображений символов, осуществляемой с помощью известного алгоритма «просеивания» [11].

При сравнении двух изображений символов  $S_1$  и  $S_2$  с допустимыми отклонениями  $\Delta H$  (по высоте символа),  $\Delta W$  (по ширине символа) и  $\Delta P$  (по периметру символа) эти изображения накладываются друг на друга с помощью плоско-параллельного переноса так, чтобы их центры тяжести совпадали. Далее подсчитываются две величины:  $R(S_1, S_2)$  – количество «существенных отличий», и  $D(S_1, S_2)$  – количество общих черных точек.

Первая величина – это количество несовпадающих по яркости (белое – черное) точек, которые не являются смежными для совокупности общих черных точек. Таким образом, количество существенных отличий  $R(S_1, S_2)$  игнорирует несовпадения в тех точках, которые лежат на периметрах изображений и, как правило, представляют собою шумы печати и сканирования. Например, при сравнении изображений букв «с» и «е» точки существенных отличий составляют горизонтальный отрезок, который имеется в букве «е» и отсутствует в букве «с».

Вторая величина нужна для обезразмеривания первой, чтобы диапазон возможных значений величины

$$\varepsilon(S_1, S_2) = \frac{R(S_1, S_2)}{D(S_1, S_2)} 100\% \quad (1)$$

для всех пар символов не менялся при изменении размера шрифта и разрешения сканирования.

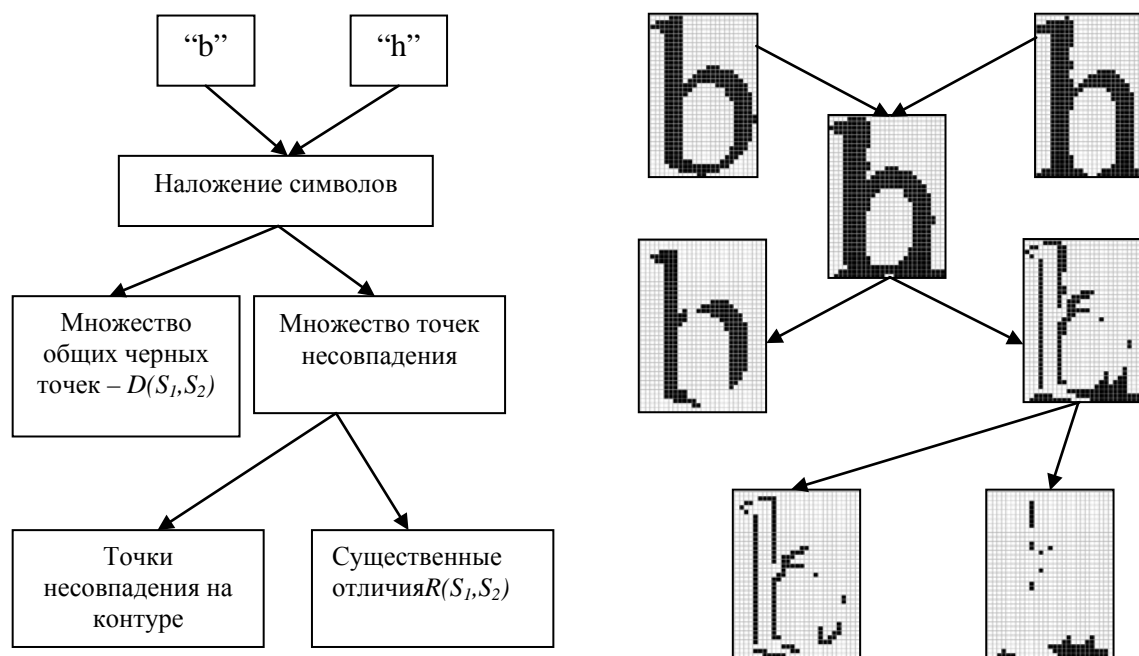


Рис.2. Схема сравнения изображений символов «b» и «h».

На рис. 2 показаны, какие совокупности точек рассматриваются при сравнении двух трудно различимых букв «b»и«h». Справа показаны их геометрические расположения, а слева – поясняющая схема.

Величина  $\varepsilon$ , выражение (1), является мерой близости изображений двух символов, используемой в алгоритме «просеивания».

Рис. 2 показывает, что даже среди точек существенного отличия имеются одиночные точки и малые группы точек, которые носят случайный характер, вызванный контурными шумами печати и сканирования. Действительные отличия в начертании букв «b»и«h» демонстрируют большие группы точек. Поэтому, вместо определенной выше функции  $R(S_1, S_2)$ , подсчитывающей количество «существенных отличий», в настоящей работе используется ее модификация, которая подсчитывает это число с учетом веса [3]. Весовой коэффициент каждой точки в  $R(S_1, S_2)$  тем больше, чем больше у данной точки таких же смежных точек. Эта функция, будем по-прежнему обозначать ее через  $R(S_1, S_2)$ , дает классификацию с меньшим числом классов, чем первоначальный ее вариант (без учета весов).

Таким образом, предлагаемая метрика  $\varepsilon$ , определяющая степень близости изображений двух символов при классификации алгоритмом «просеивания», мало чувствительна к шумам печати и сканирования. Она основана на стабильных характеристиках  $R(S_1, S_2)$  и  $D(S_1, S_2)$ , которые подавляют (не учитывают) контурные шумы сравниваемых символов при их наложении.

Завершает 1-й этап обработки изображения текста (рис.1) нахождение усредненных изображений в каждом классе. После этого все изображения символов можно отбросить – остается только совокупность «представителей» каждого класса – усредненные изображения. Процедура усреднения состоит в наложении друг на друга всех изображений класса при совмещенных «центрах тяжести» каждого изображения, вычисления среднего значения яркости для каждой точки и округления. На рис. 3 иллюстрируется процесс усреднения для трех классов изображений одного и того же символа «п». Черные точки означают, что среднее значение яркости в них равно 0, серые – что среднее значение меньше или равно  $\frac{1}{2}$ , а светлые – больше  $\frac{1}{2}$ . При округлении черные и серые точки превращаются в черные, а светлые – в белые. Результат показан на рис. 3.

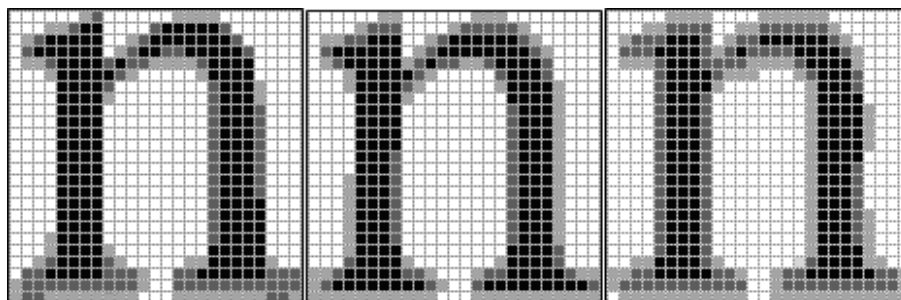


Рис. 3. Изображения различных классов символа “п”.

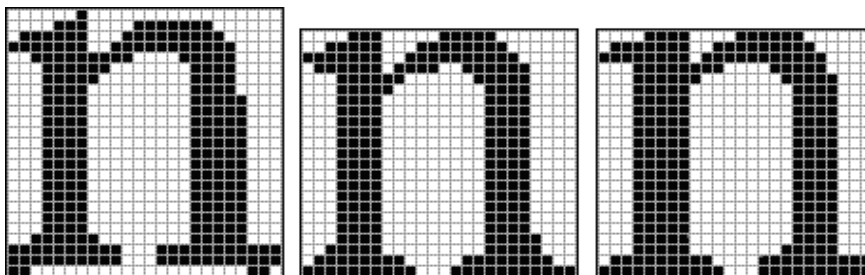


Рис.3. Изображения средних представителей классов изображений символа “n”.

В полученном на предыдущем этапе семействе усредненных изображений по-прежнему присутствуют разные изображения одних и тех же символов (рис. 4). Ситуацию можно улучшить, применив еще одну классификацию, призванную отождествить изображения одного и того же символа.

Для этой классификации, как и для предыдущей, используется нечувствительное к контурным шумам классифицирующее правило  $\varepsilon$  (1), но алгоритм классификации выбирается другим. Дело в том, что теперь изображения одного символа очень близки друг к другу – случайная компонента изображения в значительной мере подавлена. Поэтому существенно меньше опасность спутать изображения двух разных символов. Это позволяет применить алгоритм «наращивания областей».

Алгоритм «наращивания областей» состоит в том, что на первом шаге, начиная с произвольно выбранного элемента классифицируемого множества, к его классу присоединяются все достаточно близкие элементы. На втором шаге к вновь присоединенным элементам добавляются все элементы, близкие к ним. Процесс «наращивания» повторяется до тех пор, пока на каком-то шаге не окажется новых элементов, которые можно было бы присоединить. Далее все элементы «выращенного» класса исключаются из классифицируемого множества и «выращивается» следующий класс. Алгоритм заканчивает работу, когда в классифицируемом множестве не остается ни одного элемента.

После получения новых классов, изображения в каждом из них усредняются [12], и получившийся набор изображений представляет собой «графический словарь». На рис. 4 показано теперь единственное изображение символа «n», вошедшее в графический словарь.

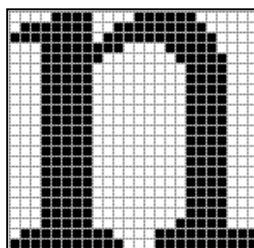


Рис. 4. Представитель класса изображения символа “n”, после повторной классификации, который заносится в «графический словарь».

В таблице 1 для различных разрешений приводятся число классов после основной и повторной классификаций. Для сравнения приведено число классов после классификации алгоритмом JB2 (формат DjVu в режиме Bitonal).

Таблица 1.

Разрешение изображения текста (dpi)	Количество классов в исходном	Количество классов после основной	Количество классов после второй	Количество классов после классификации



	изображении	классификации $\varepsilon_{opt} = 6\%$	классификации $\varepsilon_{opt} = 6\%$	алгоритмом JB2
600 dpi	3558	197	72	314
500 dpi	3557	137	72	259
400 dpi	3557	130	71	199
300 dpi	3545	122	95	235
200 dpi	3890	237	148	451

Данные, приведенные в таблице, демонстрируют достаточно высокую эффективность как первой, так и повторной классификаций и несомненные преимущества предлагаемого алгоритма перед алгоритмом JB2 .

Второй этап – сжатие «графического словаря» изображений символов, полученного на первом этапе (рис. 1).

Все изображения символов «графического словаря» требуется разложить на вертикальные элементы строки (ВЭС), как показано на рис. 6. Как видно из рис. 6, все ВЭС формирующие изображение символа “е” имеют одинаковый размер по высоте, что является необходимым условием для их автоматической классификации.

При помощи горизонтальной гистограммы строки определяется высота строки как расстояние между линией верхних выносных элементов (ЛВВЭ) и линией нижних выносных элементов (ЛНВЭ). Так же определяются линия строчных знаков (ЛСЗ) и базовая линия (БЛ), рис. 5.

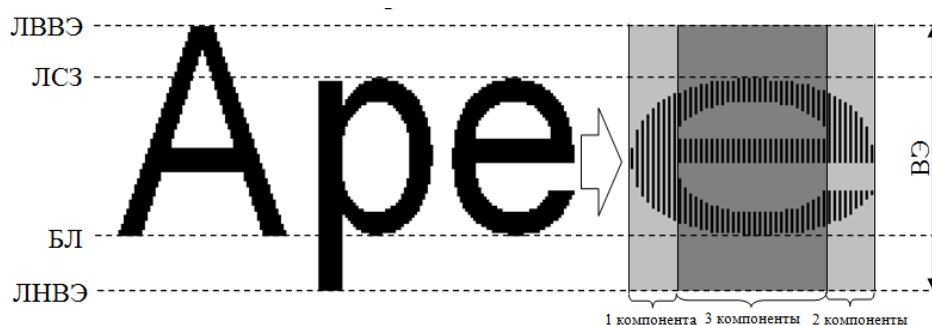


Рис. 5. Разложение изображения символа “е” на вертикальные элементы строки по количеству связанных компонент.

В данном случае, ВЭС составляющие изображение символа “е” будут распределены в группы ВЭС с одной, двумя и тремя связными компонентами (рис. 6). Разделение ВЭС на группы по количеству компонент необходимо для того, чтобы при их классификации исключить возможность сравнения ВЭС с различным количеством компонент и дальнейшим их возможным объединением в один класс.

Основным моментом алгоритма «просеивания» является выбор метода, который определяет понятие достаточной близости двух элементов (ВЭС). Этот метод определяется тем важным обстоятельством, что шумы печати и сканирования носят контурный, а не структурный характер, то есть искажения символов происходят только на их границе.

Возможные варианты несоответствия связных компонент сравниваемых ВЭС представлены на рис. 6. Допуск несовпадения связных компонент ( $\Delta = \pm 1$  точка), обусловлен тем фактом, что искажения, вносимые контурными шумами сканирования, в каждой связной компоненте могут присутствовать только на её концах - сверху и снизу.

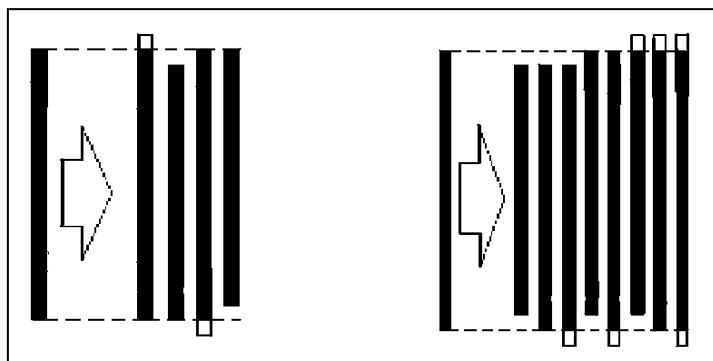


Рис. 6. Возможные варианты близких связанных компонент ВЭС.

В качестве центров первого приближения для алгоритма автоматической классификации используются векторы, являющиеся средними в полученных методом «просеивания» классах, то есть

$$e_j = \frac{1}{M_j} \sum_{x \in X_j} x, \quad (2)$$

где  $M_j$  – число элементов в классе  $X_j$ ,  $j=1,2,\dots,m$ , и  $m=m(\Delta)$  – число получившихся классов.

Предварительное применение метода просеивания значительно улучшает сходимость алгоритма  $k$ -средних и, следовательно, сокращает вычислительное время. Это объясняется тем, что уже на первом шаге центры нулевого приближения аппроксимируют члены своего класса с точностью, не меньшей значения параметра  $\Delta$ . Еще одним преимуществом предложенной предобработки является то, что метод просеивания позволяет автоматически определить необходимое число классов.

Для кодирования “графического словаря” символов необходимо составить карту размещения ВЭС, которая определяет размещение векторов  $S_1, \dots, S_k$ , и для каждого вектора  $S_j$  указать его представителя, в качестве которого используется его центр  $e_j$ .

Далее карта размещения ВЭС и сам словарь ВЭС кодируется стандартными методами сжатия без потерь в бинарном виде.

Фрагмент полученного словаря ВЭС для изображения текста с разрешением 300dpi представлен на рис. 8 (серые полосы – искусственно введенные разделители для отдельных классов ВЭС).

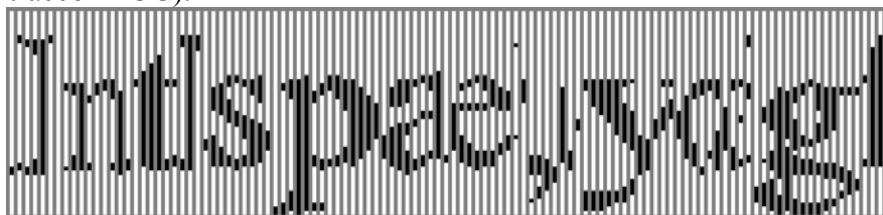


Рис. 7. Фрагмент словаря ВЭС после автоматической классификации.

По сравнению с алгоритмом JB2 (DjVu), использование I-го и II-го этапа обработки в предложенном алгоритме позволяет уменьшить объемы выходных данных на 29% при 200 dpi, 25% при 300 dpi, 24% при 400 dpi, 24,5% при 500dpi и 25,5% при 600 dpi соответственно.

В таблице 2 приведены значения коэффициентов сжатия всего изображения текста после I-го, I-го и II-го этапов обработки и степень сжатия алгоритма JB2 формата DjVu, а также выигрыш в процентном соотношении.

Таблица 2

Разрешение изображения текста (dpi)	200	300	400	500	600
Коэффициент сжатия изображения текста (I этап)	62,38	135	250,48	353,54	436,7
Коэффициент сжатия изображения текста (I и II этап)	74,3	166,18	267,18	361,76	445,34
Преимущество I-го и II-го этапов в сравнении с I-м этапом в (%)	<b>16%</b>	<b>19%</b>	<b>6%</b>	<b>3%</b>	<b>2%</b>
Коэффициент сжатия изображения текста JB2 (DjVu)	52,63	124,16	202,41	272,91	330,73
Преимущества предложенного метода (I и II этап) в сравнении с JB2 в (%)	<b>29%</b>	<b>25%</b>	<b>24%</b>	<b>24,5%</b>	<b>25,5%</b>

На рис. 9 приведены графики отображающие значения коэффициентов сжатия данных при I-м этапе обработки, последовательном применении I-го и II-го этапов обработки и при сжатии изображения текста алгоритмом JB2 формата DjVu. Преимущество предложенного метода составляет около 25% для всех разрешений изображения (табл.2).

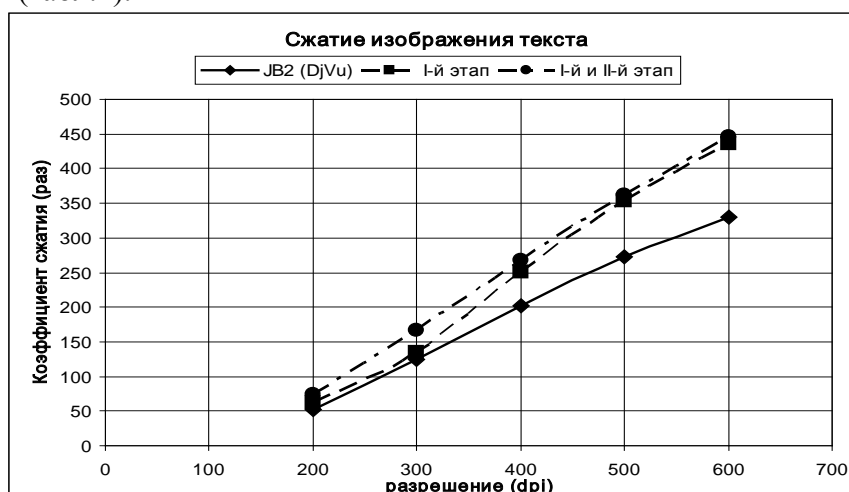


Рис. 8. Сравнительная характеристика результатов сжатия изображения текста для различных разрешений.

Качество классификации первого этапа (рис. 1) предлагаемого метода значительно выше, чем у алгоритма JB2. Количество классов, получающееся в результате предложенной классификации, более чем в два раза меньше при всех разрешениях сканирования. Это является основной качественной характеристикой предложенного метода и дает широкие возможности повышения информативности этого алгоритма в инженерных реализациях.

Используя дополнительный этап обработки изображений текста, который состоит в разбиении “графического словаря” символов на совокупность ВЭС (рис. 1) и их классификации удалось сформировать новый словарь ВЭС и карту их размещения, которые заменяют исходный “графический словарь”, имея существенно меньший объем в совокупности.

Предложенная двухэтапная обработка изображения текста позволила увеличить степень компрессии при различных разрешениях исходного изображения: на 16% для 200dpi; на 19% для 300dpi; на 6% для 400dpi; на 3% для 500dpi; на 2% при 600dpi, по сравнению с I-м этапом обработки. Качество “графического словаря” символов при визуальном оценивании, в результате второго этапа обработки, не изменилось, что в свою очередь не влияет на восприятие изображения всего текста [13].

Сравнение с лучшим в настоящее время специальным алгоритмом для сжатия изображений текста – JB2, входящим в формат DjVu, показало, что предлагаемый 2-х этапный алгоритм сжатия изображения текста имеет преимущество в степени сжатия данных в среднем на 25% и на 9 % лучше результатов работы [10] при наиболее часто используемых на практике разрешениях изображения текста (200-600dpi).

Полученный результат является знаковой характеристикой метода и открывает широкие возможности повышения информативности представления данных в графических форматах.

### Литература.

- 1) *Д.Сэломон*. Сжатие данных, изображений и звука. – Москва: Техносфера, 2004. – 368с.
- 2) Компьютерное зрение. Современный подход / *Д. Форсайт, Д. Понс*; Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
- 3) Цифровое кодирование графики. Тематический выпуск. ТИИЭР. – М.: Мир, 1980. – Т. 68, № 7. – 214с.
- 4) *Gupta Maya R., Stroilov A.* Segmenting for wavelet compression // Data Compression Conference (DCC). – USA, Utah, Snowbird, 2005. – Режим доступа: <http://www.cs.brandeis.edu/>.
- 5) *Гонсалес Р., Вудс Р., Эддингс С.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – Москва: Техносфера, 2006.- 616с.
- 6) *Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В.* Сокращение содержательной избыточности изображений на основе классификации объектов и фона // Проблемы управления и информатики. – Киев, 2007. – № 3. – С. 93-102.
- 7) *Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г.* Сжатие изображений на основе автоматической и нечеткой классификации фрагментов // Проблемы управления и информатики. – К. – 2009. – №1 – С.52-63.
- 8) Technical Papers from AT&T Labs: Электронный ресурс.– Режим доступа: <http://djvuzone.org/techpapers/index.html>.
- 9) <http://www.djvu.org/> - портал DjVu-сообщества
- 10) *Иванов В.Г., Любарский М.Г., Ломоносов Ю.В.* Сжатие изображения текста на основе выделения символов и их классификации // Проблемы управления и информатики. – Киев, 2010. – № 6. – С. 111-122.
- 11) Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: [Справочник] /*С.А.Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков и др.*; Под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607с.
- 12) Обработка изображений на ЭВМ/ *Е.А. Бутаков, В.И. Островский, И.Л. Фадеев*.- М.: Радио и связь, 1987.-240с.:ил.
- 13) *Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г.*Сжатие изображения текста на основе формирования и классификации вертикальных элементов строки в графическом словаре символьных данных // Проблемы управления и информатики. К. – 2011. – №5 – С. 98-109.

## КЛАССИФИКАЦИЯ АМОРТИЗАТОРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ФАСЕТНОЙ СТРУКТУРЫ

Лысенко А.В.

Пенза, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

Рассмотрены наиболее применяемые системы классификации объектов, выведены их основные достоинства и недостатки. Представлена классификация, фасетные признаки которой поставлены в соответствие с основными свойствами амортизаторов как российского, так и иностранного производства.

### **Classification of shock absorbers in radio electronic means based on facet structure. Lysenko A.V.**

Considered the most used system of classification of objects derived their main advantages and disadvantages. The classification, which facet signs placed in line with the basic properties of the shock absorbers, both Russian and foreign production.

#### **Введение**

В настоящее время, чтобы успешно конкурировать на рынке товаров и услуг, их производители должны оперативно и адекватно реагировать на быстро меняющиеся запросы потенциальных потребителей, обеспечивая высокое качество конечного продукта при минимальных издержках на его производство.

Для реализации указанных задач компаниям-производителям приходится своевременно осуществлять реорганизацию своих бизнес-процессов и внедрять информационные системы, гарантирующие их поддержку.

Одним из элементов, играющих важную роль при разработке современных информационных систем, является организация кодирования информации. При этом особая роль отводится методам классификации информации. Это объясняется тем, что многообразие форм и значений, которые могут приобретать различные экономические показатели, используемые в системах управления народнохозяйственными объектами различных уровней, обуславливает необходимость применения определенных принципов систематизации этой информации в целях обеспечения удобства ее хранения, поиска, обработки и использования в процессе подготовки управленческих решений.

По ГОСТу 6.011-87, классификация – это разделение множества объектов на подмножества по их сходству или различию в соответствии с принятыми методами.

Классификация фиксирует закономерные связи между объектами с целью определения места объекта в системе, которая указывает на его свойства. С этой точки зрения, классификация является важнейшим средством создания системы хранения и поиска информации. Классификация носит всеобщий характер вследствие той роли, которую она может играть как инструмент научного познания, прогнозирования и управления.

Основание классификации – это признак, позволяющий распределять множество объектов на подмножества.

Процесс классифицирования представляет собой процесс распределения объектов классификации в соответствии с выбранной системой классификации.

Необходимость классификации связана:

- с выявлением общих свойств информационного объекта;
- разработкой правил и процедур обработки информации;
- сокращением объема и времени поиска необходимой информации;
- упрощением обработки информации.

Система классификации – совокупность правил распределения объектов множества на подмножества на основании классификационных признаков и зависимости внутри признаков.

К системам классификации объектов предъявляется ряд требований:

- полнота охвата объектов рассматриваемой области;
- однозначность реквизитов;
- возможность включения новых объектов.

Известны и наиболее применяемы иерархическая, фасетная и дескрипторная системы классификации объектов.

### 1 Иерархическая, фасетная и дескрипторная системы классификации объектов.

При иерархической системе классификации множество объектов делится в зависимости от выбранного классификационного признака на классы (группировки), образующие I уровень. Каждый класс I уровня в соответствии со своим классификационным признаком делится на подклассы (II уровень). Каждый подкласс II уровня делится на группы (III уровень) и т.д. (рис. 1).

При использовании иерархической системы классификации необходимо соблюдать следующие ограничения:

- получающиеся на каждом уровне классификационные группировки должны составлять исходное множество объектов;
- классификационные группировки на каждой ступени не должны пересекаться;
- классификация на каждой ступени должна проводиться только по одному признаку.

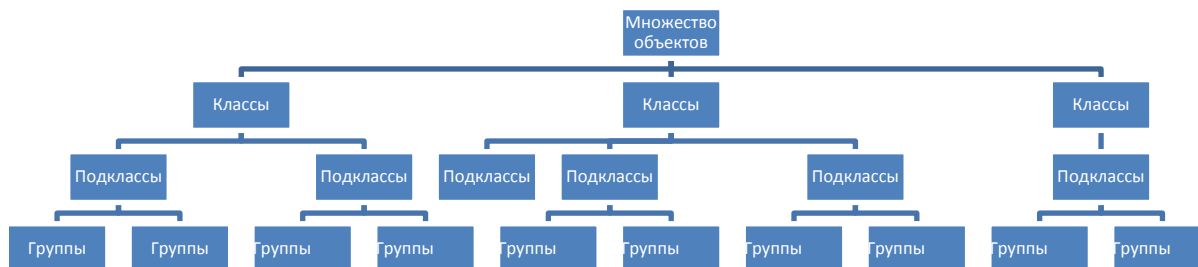


Рисунок 1 – Иерархическая система классификации

Достоинствами иерархической системы классификации являются простота и логичность построения, возможность использования неограниченного количества классификационных признаков в различных ветвях иерархической структуры.

Недостатки иерархической системы классификации: жёсткая структура, осложняющая внесение изменений; невозможность группировки объектов по заранее не предусмотренным признакам.

Эта классификация соответствует уровням детализации описания (характеристики) информационных единиц. Наиболее ярким примером иерархической классификации может служить УДК (Универсальная десятичная классификация), которая является в широком международном употреблении модификацией Десятичной классификации Дьюи.

Для кодирования показателей преимущественно оценочного типа, имеющих относительно не сложную структуру записи, может быть применена фасетная классификация.

Фасетная система классификации позволяет разделить множество объектов одновременно по нескольким независимым друг от друга признакам. Признак

классификации, который используется для образования независимых классификационных группировок, называется фасетом.

Фасет представляет собой совокупность однородных значений классификационного признака. Внутри фасета значения могут располагаться в произвольном порядке или быть упорядоченными, поэтому внесение изменений в фасеты не представляет каких-либо трудностей. Классификация заключается в присвоении значений из фасетов. Главное требование при заполнении фасета - исключение возможности повторения одних и тех же значений классификационных признаков в различных фасетах. Структурно фасетную классификацию отражает рисунок 2.

Фасеты	$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$	$\Phi 4$	$\Phi i$	$\Phi n$
Значения фасетов	*	*	*	*	*	*
	*		*	*	*	*
	*	*	*	*		
	*	*			*	*

Рисунок 2 – Фасетная система классификации

Достоинствами фасетной системы классификации являются высокая степень гибкости, использование большого числа признаков классификации и их значений для создания группировок, простота модификации систем без изменения структуры группировок.

К недостаткам фасетной системы классификации можно отнести сложность структуры построения и низкую степень заполненности системы.

Несмотря на то, что фасетная классификация объектов обладает большей гибкостью (возможность практически не ограниченного добавления числа фасетов, расширения состава значения в отдельных фасетах, группировки множества по любому сочетанию и числу фасетов), в силу специфики характера обработки информации она имеет довольно ограниченное распространение в организационно-экономическом управлении и применяется главным образом для реализации информационно-поисковых систем. Например, каталог поисковой системы Яндекс построен с использованием фасетной классификации. Основными фасетами для спецификации поискового образа в нем являются: тема, регион, жанр, источник информации, адресат информации и т.д [1].

Примером другой системы классификации, широко используемой при организации поиска информации, является дескрипторная классификация. Язык дескрипторной системы приближен к естественному профессиональному языку описания информационных объектов, что является его достоинством. При этой классификации выделяется совокупность (совокупности) ключевых слов или словосочетаний, описывающих тот или иной объект предметной области. Среди ключевых слов, являющихся синонимами, выбирается одно, называемое дескриптором (дескриптор - единственный член синонимического ряда ключевых слов). С помощью дескрипторов создается внутренний поисковый образ конкретных информационных запросов.

Для автоматизации поиска информации по различным запросам между дескрипторами устанавливаются ассоциативные связи, несущие различную смысловую и синтаксическую нагрузку (например, такие, как: ЦЕЛОЕ – ЧАСТЬ: компания – отдел

– (рабочая) группа – работник .... ДОПОЛНЕНИЕ: ресурсы – материальные, трудовые, финансовые, информационные).

На основе выявленных связей между словами, составляющими язык данной предметной области, строятся так называемые семантические карты (semantic maps), отражающие все многообразие ассоциативных взаимосвязей между дескрипторами. С их помощью могут быть реализованы переходы от одного дескриптора к другому, связанному с ним по смыслу в соответствии с требуемым характером ассоциативной связи (смыслом запроса).

Для обеспечения автоматического перехода с входного языка к его дескрипторному эквиваленту используются алфавитные словари системы, фиксирующие соответствие между словами входного языка системы и его дескрипторами. При этом для слов входного языка, имеющих различные приставки, падежные окончания и окончания множественного числа и другие подобные отличия, поиск выполняется на основе анализа их языковых морфем, что исключает влияние таких различий на процедуру поиска дескрипторов в словаре системы.

Достоинства дескрипторной системы могут быть использованы при решении актуальной проблемы разработки информационных систем непосредственно по запросам специалистами управления без привлечения профессиональных программистов.

Классификация амортизаторов, применяемых для защиты радиоэлектронной аппаратуры.

Для классификации амортизаторов РЭА была выбрана фасетная система классификации, как наиболее удобная, позволяющая использовать большого числа признаков классификации и модифицировать системы без изменения структуры группировок.

В настоящий момент существует множество способов классификации амортизаторов РЭА, но подавляющее большинство из них являются частными случаями применения конкретных видов амортизаторов и амортизационных систем. Наиболее полные и объёмные классификации были разработаны, сертифицированы и внедрены в 80-ых годах XX века. На сегодняшний момент применяются только три ГОСТа [2].

Мною была предложена новая система классификации амортизаторов, предназначенных для защиты радиоаппаратуры от вибрационных нагрузок, приложенных вертикально и включающая в себя основные параметры виброамортизаторов (рис. 3).

По ГОСТ 21467-81 в зависимости от условий эксплуатации амортизаторы подразделяют на семь типов. Амортизаторы всех типов изготавливают двух исполнений: 1 – цельнометаллические; 2 – резинометаллические. Каждое исполнение амортизаторов подразделяют на 13 типоразмеров. В связи с расширением номенклатуры амортизаторов встала острая необходимость в расширении их типоразмеров до более актуальных. При пополнении данного ГОСТа новыми амортизаторами и амортизаторами, принятыми в ГОСТ 17053.1-80, количество типоразмеров будет увеличено до 17 [3, 4].



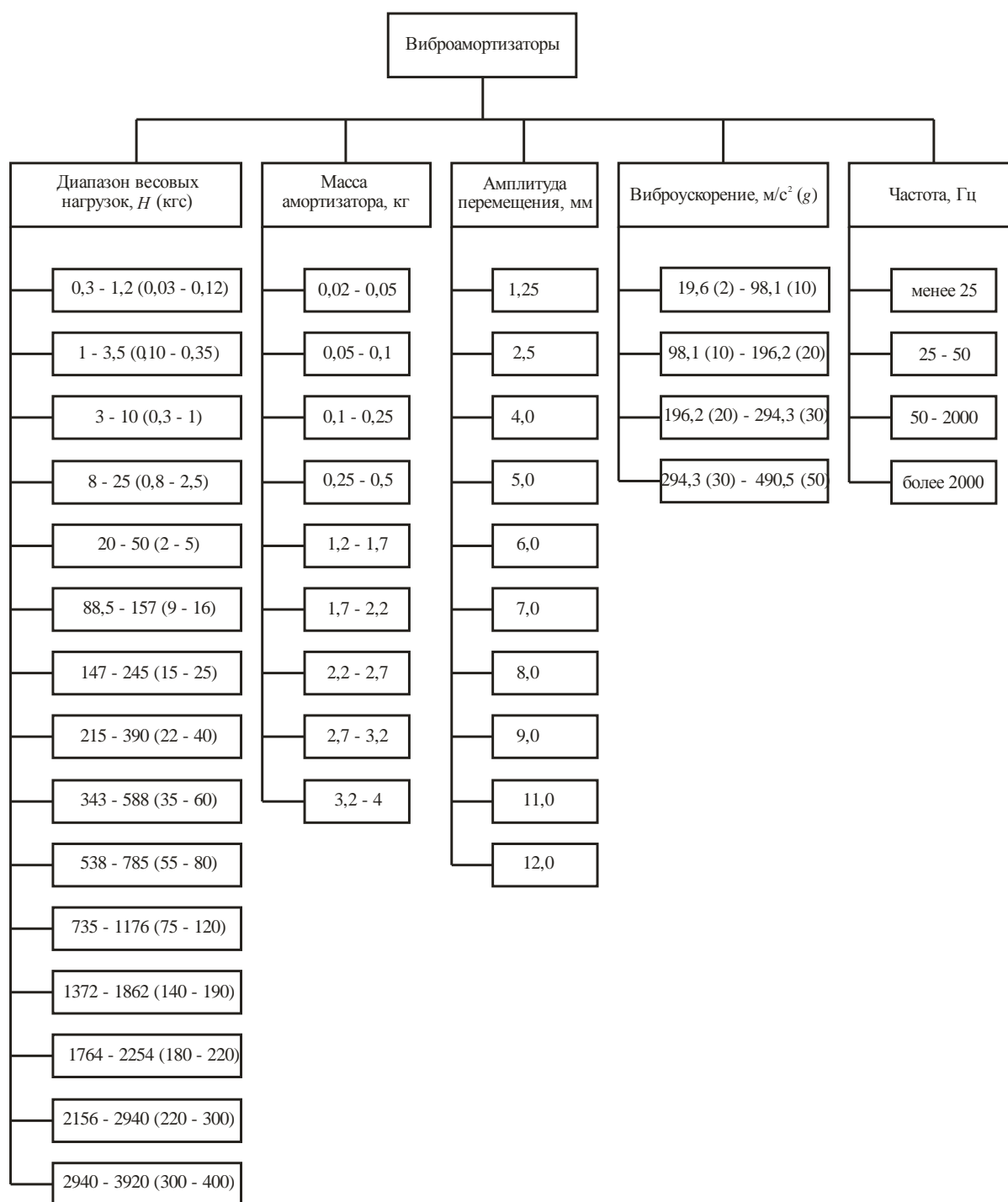


Рисунок 3 – Классификация амортизаторов, применяемых для защиты РЭА

В данной классификации было выделено 5 фасетов, которым соответствуют все основные характеристики виброамортизаторов.

1 фасет представляет собой совокупность весовых нагрузок, прикладываемых к амортизаторам, для работы его в динамическом режиме. По ГОСТ 21467-81 выделяется 13 фасетных значений, но с учётом ГОСТ 17053.1-80 значения данного фасета расширяется до 17.

2 фасет – массы самих амортизаторов. В связи с увеличением номенклатуры по данному фасету, то и в сравнении с ГОСТ 17053.1-80, количество значений данного фасета возрастёт с 5 до 9 [5].

3 фасет – амплитуда перемещения виброизолируемого объекта. По действующему ГОСТу 11679.1-76 выделяется 6 значений. При добавлении в этот фасет амортизаторов ГОСТа 17053.1-80, фасет расширяется до 10 значений.

4 фасет – линейный закон изменения виброускорения лежит в тех же пределах, что и в ГОСТе 11679.1-76, но из-за большого количества амортизаторов, количество значений данного фасета изменяется в большую сторону [6, 7].

5 фасет – диапазон частот вибрации, на которых амортизаторы способны выполнять свои функции в полной мере. В ГОСТе 21467-81 выделяется 3 фасетных значения, но в последнее время актуальным становятся амортизаторы, рабочий диапазон частот которых может превышать 2 кГц [8]. В связи с этим был добавлен ещё одно фасетное значение, которое учитывало бы новые требования.

#### Заключение

В приведённой классификации фасетные признаки поставлены в соответствие с основными свойствами амортизаторов российского производства (типов: АФД, АП, АПН, АПНМ, АД, АКСС, АЧ, ОВ) и их иностранные аналоги (MV, EIE, Isoflex, K17, SP, V3CA, V1).

Разработана база данных имеющихся амортизаторов, предложенная классификация была доведена до программной реализации, позволившей инженеру-конструктору выбрать оптимальный класс амортизаторов, используя в качестве входных данных значения фасетов.

#### Литература

1 Информатика: Учебник. – 3-е перераб. изд./ под. ред. проф. Н.В. Макаровой. – М.: Финансы и статистика, 2007. – с.40-41;

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) [Электронный ресурс] Каталог стандартов. Режим доступа: <http://www.gost.ru/wps/portal/pages.CatalogOfStandarts>;

ГОСТ 21467-81 – Амортизаторы бортового оборудования летательных аппаратов. Типы, основные параметры, размеры и технические требования.

ГОСТ 17053.1-80 – Амортизаторы корабельные АКСС-М. Технические условия.

Лысенко, А.В. Методика исследования радиоэлектронных средств опытно-теоретическим методом на ранних этапах проектирования / А. В. Затылкин, Д. А. Голушко // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Матер. ВНТК. - Самара: Изд-во СГАУ 2012г. – С. 165-171

Рындин Д.А. Система генерации тестового сигнала для исследования динамических характеристик элементов конструкций РЭС / Рындин Д.А., Таньков Г.В., Затылкин А.В. // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. проф. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – Вып. 17. – 290 с.

Ольхов, Д. В. Система обработки экспериментальной информации в проектных исследованиях радиотехнических устройств / Д. В. Ольхов, А. В. Затылкин, Н.К. Юрков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. № 5. – С. 94-99.

Лысенко, А.В. Анализ методов испытаний РЭС на устойчивость к внешним механическим воздействиям / А.В. Лысенко // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС: межвуз. сб. научн. тр. / под ред. проф. Н.К. Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – Вып. 17. – С. 62-65.

## **ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НИОКР В ИННОВАЦИОННОМ ЦИКЛЕ**

Б.Л.Линецкий, Б.Г.Львов

*Москва, Московский институт электроники и математики .Национального  
исследовательского университета «Высшая школа экономики»*

Обсуждаются вопросы представления информации с учетом специфики задач информационной инновационной поддержки результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР).

### **Problems of development of R&D results information support in innovation cycle. B.L. Linetskiy, B.G.Lvov**

The matters of information presentation subject to specific problems of information innovation support of research and development (R&D ) results are discussed.

Научно-исследовательский инновационный цикл (НИИЦ) содержит последовательное проведение четырех классов НИОКР для преобразования новшества в инновацию: фундаментальной, поисково-ориентированной, прикладной, ОКР (опытно-конструкторской работы) и ОТР (опытно-технологической работы). На практике этот цикл может содержать не все классы НИОКР.

Основным информационным объектом в НИИЦ являются полученные в НИОКР результаты научно-технической деятельности (РНТД).

На современном этапе в научно-технической сфере имеет место дублирование исследований и разработок, прерывность и незавершенность НИИЦ, получение РНТД, несоответствующих мировому уровню. Одним из основных условий разрешения этих проблем планирования и выполнения государственных заказов НИОКР, дальнейшего продвижения полученных РНТД является наличие информации, обеспечивающей точное знание о достигнутых результатах НИОКР.

Информационное обеспечение необходимо для осуществления задач планирования и контроля выполнения НИОКР, оценки эффективности использования бюджетных средств, принятия решения по дальнейшему развитию РНТД и использованию на всех этапах НИИЦ и др.

В различных отраслях экономики нашей страны в научно - исследовательском инновационном цикле работают 5 групп потребителей информации о результат исследований и разработок: заказчики, разработчики, производители, инвесторы и посредники.

В настоящее время в стране созданы многочисленные элементы инфраструктуры инновационной системы и ее информационной поддержки, в частности Российский фонд технологического развития, Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно технической сфере, Венчурный инновационный фонд и другие структуры, информационные центры - Всероссийский НИИ межотраслевой информации, Международный центр научной и технической информации, Национальный информационный центр по науке и инновациям и др., создано множество различных инновационных технологических центров, центров трансферта технологий, центров и офисов по коммерциализации технологий и др., которые осуществляют посреднические функции с помощью информационных технологий. В эту деятельность вовлечены академические и отраслевые НИИ, университеты, промышленные предприятия, научно-производственные объединения, компании малого, среднего и крупного бизнеса, инвесторы.

Вместе с этим многие из перечисленных выше структур действуют разрозненно и решают собственные задачи, исходя из своих целей. Информационное обеспечение, используемое перечисленными организациями, разнообразно, не унифицировано, знания об инновационных результатах слабо структурированы и не соответствуют требованиям к автоматизированным информационным системам.

Решение задач информационного обеспечения в НИИЦ РНТД в значительной мере зависит от структуризации информации в базах данных информационной системы, что во многом определяется возможностями формализованного описания информации о НИОКР, РНТД и субъектах инновационной деятельности, учитывающей непрерывный процесс преобразования новшества в инновацию. К этой информации предъявляются требования обеспечения быстрого и точного автоматизированного поиска, полноты, объективности, информативности и однозначности ее интерпретации различными пользователями инновационной инфраструктуры.

Эти задачи порождают ряд научно-методических проблем в области каталогизации научно-технических знаний: формализованное описание, классификация, идентификация, кодирование, унификация и терминология информационных объектов в инновационном цикле.

В настоящее время сформировалась система государственного учета РНТД, содержащая распределенные базы данных РНТД государственных заказчиков и единый реестр РНТД.

Система государственного учета РНТД, имеющая информацию о полученных результатах НИОКР, выполненных за счет федерального бюджета, не используется как основной информационный ресурс в НИИЦ РНТД. В ней слабо развиты средства информационно-аналитической поддержки использования полученных РНТД в экономике страны, слабо используются данные учета при принятии решений о дальнейшем продвижении полученных инновационных результатов НИОКР.

С введением государственного учета результаты научно-технической деятельности представляют собой новые информационные объекты, описывающие конкретную научную продукцию в соответствии с регламентирующими нормативно-методическими документами. Эти объекты являются основными в едином информационном пространстве инфраструктуры НИИЦ.

Имеет место отношение следования между результатами в различных классах НИОКР. Выходные результаты выполненной НИОКР должны быть входами в последующую НИОКР. Таким образом, происходит трансформация инновационных научно-технических знаний для создания инновации.

Для организации непрерывного и согласованного процесса преобразования новшества в инновацию в НИИЦ РНТД необходима информация о научно-технических знаниях - НТИ для разработки РНТД (статьи, научно-технические отчеты, стандарты, патенты и др.), информация об инфраструктуре создания РНТД – ИИСР (о производстве, материально-технической базе, маркетинговые сведения, о инвесторах и др.), информация о существующих результатах - Rci, информация о полученных результатах - Rpi, информация о техническом задании (ТЗ) (рисунок 1)

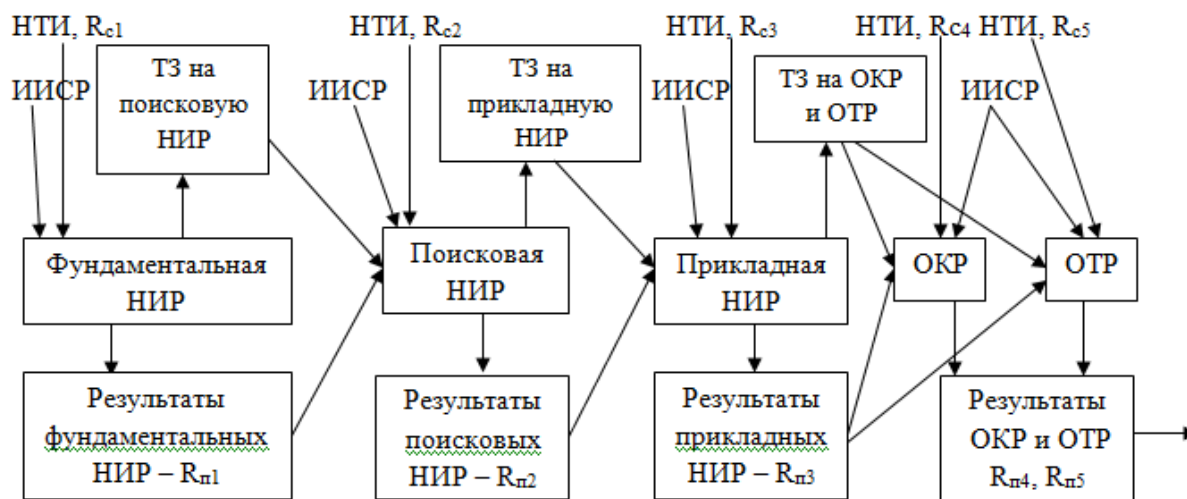


Рисунок 1- Необходимая информация для создания РНТД в НИИЦ

Для каждой стадии этапа НИИЦ характерна необходимая информация НТИ, ИИСР и  $R_{ci}$ . На каждой стадии исследований добавляются дополнительные требования, которым должен удовлетворять результат при преобразовании его в инновацию, происходит уточнение параметров развиваемого результата и расширение их номенклатуры. Обязательным результатом в НИИЦ должно быть ТЗ на последующую НИР, что обеспечивает согласование работ на всех стадиях НИИЦ (рисунок 1).

Таким образом, для решения задач развития и продвижения РНТД в структуре НИИЦ (рисунок 1) необходима следующая информация о результатах: наименование РНТД; краткое описание (реферат) РНТД; техническое задание на НИОКР.

Таким образом, в НИИЦ РНТД для всех элементов инфраструктуры инновационной деятельности необходимо построение на основе инфокоммуникационных технологий единого информационного пространства, в основе которого лежит комплекс единых унифицированных информационных моделей РНТД.

Для решения задач планирования НИОКР и мониторинга их выполнения необходима разработка единых форматов формализованного и унифицированного описания ТЗ для различных видов НИОКР и РНТД на основе комплекса унифицированных информационных моделей РНТД и терминологического словаря РНТД.

Специфика информационного обеспечения инновационной деятельности заключается в том, что субъектам инновационной сферы требуется не только научно-техническая информация, но также информация о рыночной конъюнктуре, о производственных возможностях, о предложениях на научно-технические и экспериментальные услуги и т.д.

Необходимо создать единую систему классификации РНТД, являющуюся основой системы каталогизации научно-технических знаний, обеспечивающей:

решение задач планирования и заказа НИОКР;

мониторинг состояния РНТД;

выявление организаций-исполнителей государственного заказа на основе анализа состояния их лабораторной и научно-технической (технологической) базы, уровня научной квалификации сотрудников, объемов финансирования;

систематизацию и формализацию информационных описаний в НИИЦ РНТД, позволяющие сформировать единое информационное обеспечение и обеспечивающие автоматизированный поиск, полноту, точность и объективность информации,

достаточной для предварительного принятия решения о возможности их развития, дальнейшего продвижения и использования.

Систематизация научно-технических знаний должна быть ориентирована на использование современных информационных технологий, позволяющих путем создания развитой автоматизированной информационно-поисковой подсистемы обеспечить оперативный доступ к базам данных и единому реестру РНТД, содержащих различную информацию, отвечающую интересам субъектов НИИЦ.

Учитывая эти факторы, необходимо создание целостной информационной системы научно-технической сферы, являющейся инструментарием в инновационном научно-исследовательском цикле РНТД, эффективно преобразующим полученные новые знания научно-технической деятельности в новые технологии, продукты и услуги.

### **УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ ФИРМЕННОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИНЦИПОВ СИСТЕМНОСТИ**

Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Буйвол П.А., Козадаев Р.А.

*г.Набережные Челны, филиал Казанского (Приволжского) Федерального университета*

*Аннотация.* Рассмотрены основные принципы управления сетью фирменного сервиса автомобилей как сложной системой с обратной связью. Предложена методика оценки и управления сервисной сетью, описаны разработанные программные модули системы мониторинга деятельности субъектов сети.

**MANAGEMENT OF FIRM AUTOMOBILE SERVICE NETWORK WITH APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND THE PRINCIPLES OF SYSTEM. MAKAROVA I.V., KHABIBULLIN R.G., BUYVOL P.A., KOZADAEV R.A. KAZAN (VOLGA REGION) FEDERAL UNIVERSITY, NABEREJNYE CHELNY, RUSSIA**

*Abstract.* The basic principles of management of firm automobile service network as difficult system with feedback are considered. The technique of estimation and management of service network is offered, the developed program modules of monitoring system of network subjects` activity are described.

Основной тенденцией развития мировой экономики является глобализация, ставшая на современном этапе одной из наиболее влиятельных сил, определяющих особенности производства и сбыта товаров, а также характер конкуренции между производителями. Обострение на протяжении нескольких последних десятилетий интернационализации и глобализации производства приводит, в свою очередь, к интернационализации и глобализации сетей фирменного сервиса (СФС) высокотехнологичной и наукоемкой продукции с длительным сроком эксплуатации, субъектами которых являются дилерско-сервисные центры (ДСЦ).

Фирмы-производители автомобилей, чтобы оставаться конкурентоспособными в современных рыночных условиях, должны уметь адаптироваться к изменениям окружающей среды, совершенствуя системы фирменного сервиса. Возрастающая открытость предприятий отечественной экономики для воздействия внешних факторов, отличающихся непредсказуемостью тенденций развития, требует применения новых

стандартов и механизмов управления. Одним из перспективных направлений является анализ и управление СФС с использованием принципов системности.

Применение методов системного анализа к управлению промышленным предприятием не является новым. Не вызывает сомнений, что в силу принадлежности автомобилестроительных предприятий к классу сложных систем, обладающих соответствующими признаками (определенной целостностью, многомерностью, динамическим неравновесием, значительным числом подсистем), к изучению принципов функционирования субъектов, обеспечивающих жизненный цикл автомобильной техники, необходимо подходить с использованием принципов кибернетики и синергетики.

До недавнего времени позиция исследователей, рассматривающих предприятие или его структурные подразделения как открытую систему, являлась перспективной, однако на сегодняшний день каждый функциональный элемент (обеспечение, производство, сбыт, сервис и т.д.) также требует при исследовании системно-синергетического подхода [1]. Актуальность данного подхода подкрепляется также наметившейся тенденцией на построение долгосрочных отношений фирмы-производителя со своими дилерами [2], в связи с чем возникает возможность проявления системных эффектов в длительной перспективе, а у фирмы-производителя появляется мотивация к построению собственной СФС и управлению ею.

Системный подход требует, чтобы основные производственные характеристики процессов обслуживания следовали из конечных целей всего предприятия. В первую очередь, предприятие должно сформулировать свои цели, а затем выбрать методы их достижения [3]. Выработка и обоснование любого решения должны основываться на определении общей цели системы, а деятельность всех подсистем – подчиняться достижению этой цели. Только в таком случае у предприятия-изготовителя появляется возможность координировать работу всех субъектов сети.

Для автомобилестроительных корпораций генеральной (стратегической) целью является повышение лояльности клиентов, то есть наилучшее удовлетворение их потребностей как в качественном продукте, так и в своевременном, качественном сервисе при одновременном росте прибыли.

Для зарубежных производителей характерна системная организация СФС для продвижения автотранспортной техники, запасных частей и услуг по ремонту. Российские автомобильные корпорации при проектировании СФС зачастую не учитывают взаимосвязь между продажами автомобилей и их сервисным сопровождением, что может привести к проблемам при оптимизации управления процессами в СФС.

Поэтому приоритетной задачей эффективного управления СФС является такая организация ее деятельности, результат которой будет превышать сумму результатов от автономной работы каждого структурного подразделения и функционального элемента, т.е. достижение положительной синергии. Результатом возникающих синергетических эффектов для производителя становится рост объема продаж автомобильной техники, снижение производственно-материальных затрат, для ДСЦ – рост объемов и скорости выполнения заявок на сервисное обслуживание, для клиента – своевременное, оптимальное по цене и качеству сервисное сопровождение приобретенной техники.

Факторы формирования положительных и отрицательных синергетических эффектов, результаты их проявления и расчет синергетического эффекта от создания собственной фирменной системы сервисного обслуживания, рассмотрен в работах Семенова В.М. и Васильевой О.Е. [4,5]. В частности, ими были выделены следующие

условия, которые могут привести к возникновению отрицательных синергетических эффектов:

- неправильный выбор организационной формы сервисного сопровождения продукции;
- ошибки при планировании территориального размещения сервисных центров;
- неправильная сегментация рынка клиентов вследствие некачественно проведенных маркетинговых исследований;
- неверное определение качественного состава сервисной системы;
- неправильное определение объемов сервисного обслуживания техники;
- неудовлетворительный, с точки зрения клиента, уровень качества предоставляемого сервиса.

СФС относят к классу сложных организационно-технических систем [6]. Кроме того, для нее характерны все признаки больших систем: наличие нескольких уровней структуры, наличие элементов разного происхождения (технических, экономических, социальных), наличие большого количества подсистем. Данная система характеризуется наличием связей разного типа: в ней присутствуют связи как стабильные, однозначно определенные при проектировании, так и стихийные, формирующиеся под воздействием внешних факторов и периодически меняющиеся.

Входами системы являются поток поступающих заявок на сервисное обслуживание, материальные потоки, информация о состоянии внешней среды (конкуренты, поставщики). В качестве выходных потоков можно выделить отремонтированные автомобили, степень удовлетворенности клиентов качеством выполнения услуг, технико-экономические показатели деятельности. Внешними ограничениями являются цели функционирования СФС, внутренними – ограниченность ресурсов.

Структура организационно-технической системы, в конечном счете, определяет ее работоспособность, поэтому важным этапом в проектировании такой системы является создание ее структуры. Создание сети сервисных предприятий имеет свою специфику, обусловленную как объективными, так и субъективными факторами, которые могут быть как позитивными, так и оказывающими негативное влияние на процесс формирования структуры предприятий сервиса.

При проектировании СФС целесообразно сначала, с целью выделения основных уровней управления и элементов, представить ее как иерархическую структуру, а затем уточнить связи между элементами с помощью сетевых структур [7]. Наибольшее распространение в организационно-технических системах управления получил принцип обратной связи, при этом управляющее воздействие корректируется в зависимости от выходной величины  $y(t)$ . Если значение  $y(t)$  отклоняется от требуемого, то происходит корректировка сигнала  $X(t)$  с целью уменьшения данного отклонения (Рисунок 1).

Согласно Эшби У.Р., сложность и динамизм объекта управления определяют сложность и динамизм управляющей системы. Как показано в исследовании Чербаева Д.А. [2], имеется тенденция увеличения плотности СФС, т.е. роста количества входящих в нее субъектов и числа связей с производителем, а также двойных связей. В общем же случае число связей в сложных системах определяется числом  $n \times (n-1)$ , где  $n$  – число элементов системы. Учитывая, что количественный состав СФС ОАО «КАМАЗ» ДСЦ в Республике Казахстан определяется шестнадцатью ДСЦ (по состоянию на 01.01.2011), то максимально возможное число связей будет равно 240. Очевидно, что вследствие сложности СФС, состоящей из множества СП, функционирующих в разных условиях и отличающихся по целому ряду параметров, принятие обоснованных и рациональных решений по управлению ею, невозможно на



основе обычной интуиции, опыта, здравого смысла руководителя. Трудности, возникающие при анализе причинно-следственных связей между процессами в субъектах сети, приводят к неоптимальным решениям задач поиска рациональной структуры и повышения эффективности функционирования [8].

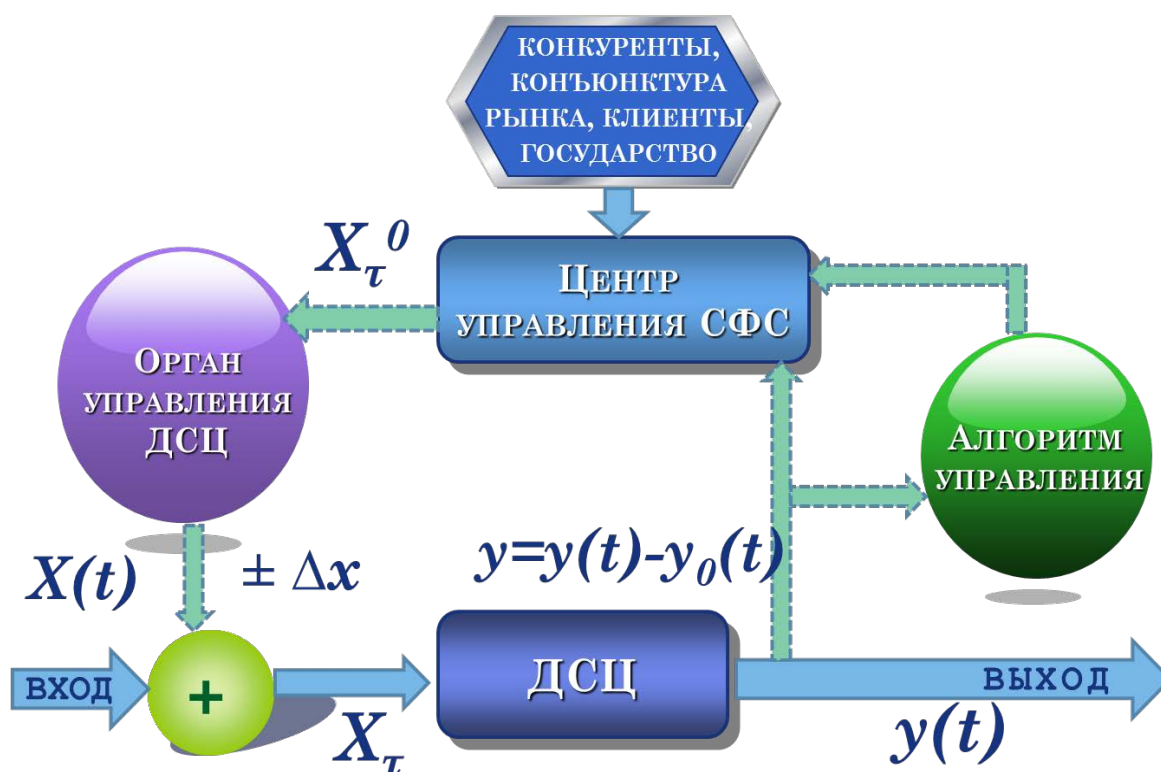


Рис. 1 - Управление системой с обратной связью.

Кроме того, по данным американских специалистов 80% решений принимается при наличии только 20% информации об управляемой системе и действующих на нее факторах [4]. Отсутствие полной информации о состоянии системы, внешних условиях, а также последствиях, к которым они могут привести, затрудняет процесс принятия решений. Дефицит информации не может быть восполнен ни проведением натурного эксперимента над СФС вследствие огромных финансовых затрат и длительности процессов в системе, ни использованием коллективного мнения специалистов, ввиду уникальности каждого из субъектов сети. Помимо этого, привлечение экспертов вносит существенную долю субъективности в процесс управления. Применение имитационного моделирования, которое воспроизводит ситуации, близкие к реальным, является в данном случае оптимальным вариантом моделирования управления.

Способы формализации управления сложными системами типа СФС относятся к третьему уровню системности практической деятельности человека, получившего название кибернетизации или интеллектуализации производства. При этом используется интеллект человека, либо искусственный интеллект [Ошибка! Значение атрибута **ошибка** не определено.]. Последнее является предпочтительным в тех случаях, когда привлечение эксперта невозможно (в силу расстояний, больших финансовых затрат, отсутствия специалистов, осуществляющих консалтинговые услуги в данной сфере деятельности, и т.д.).

Таким образом, эффективным методом управления, минимизирующим роль субъективных факторов, может быть система поддержки принятия решений (СППР) с использованием имитационной модели в качестве интеллектуальной компоненты [9].

Оценка эффективности функционирования СФС как сложной системы и определение идеальных состояний и ее характеристик является нетривиальной задачей и может производиться с помощью определения значений выделенных показателей эффективности и их сравнения с целевыми значениями, заложенными при проектировании системы. В этом смысле должно быть сделано разграничение как самих показателей, так и их значений для разных типов субъектов СФС.

Потребность в контроле и корректировке процесса управления по важнейшему критерию уровня организации (повышается он или, напротив, энтропия в системе растет) приводит к поиску системы оценок. Для СФС в качестве таких оценок могут быть использованы показатели, представленные в таблице 1.

Для обеспечения простоты использования и адекватности методики оценки эффективности работы субъекта СФС необходимо выполнение следующих этапов:

1. разработка процедуры ежемесячного предоставления первичных данных для расчета показателя и регламент их передачи;
2. разработка форм сбора данных, единых для всех ДСЦ и пригодных для автоматизированной обработки;
3. разработка процедуры контроля отклонений показателей эффективности.

ДСЦ, при проведении аттестации их деятельности, должны передать соответствующие оперативные данные в центр управления СФС. В качестве канала передачи выбран корпоративный портал компании, куда субъекты с заданной периодичностью выкладывают файлы с данными.

Таблица 1 - Показатели эффективности деятельности субъекта СФС

Перспектива	Наименование цели	Наименование показателя эффективности
1. Лидерство на рынке	1. Рост финансовых показателей	Результаты деятельности за отчетный период (прибыль/убыток)
	2. Улучшение количественных показателей (3S)	Количество автомобилеездов
		Стоимость проданных запасных частей на одного сотрудника
		Стоимость упущенных ЗЧ на одного сотрудника
		Количество несостоявшихся автомобилеездов
		Количество проданных автомобилей в шт. на одного сотрудника
Количество упущенных продаж в шт. на одного сотрудника		
3. Повышение средней прибыльности одного клиента	Расходы на обслуживание одного клиента в год	
2. Клиенты	4. Повышение лояльности клиентов	Доля сегмента рынка Процент новых клиентов за период (разовых, постоянных)
	5. Выполнение гарантийных и сервисных обязательств	Количество рекламаций
		Количество видов оказываемых услуг
		Количество заключенных договоров подряда с СП
		Количество автомобилей на гарантии
	6. Повышение удовлетворенности клиентов	Индекс удовлетворенности клиента Количество жалоб клиентов на обслуживание
	7. Снижение затрат клиентов	Средние потери клиентов из-за ожидания в очереди и простоя АТ
Общие затраты на обслуживание		
3. Обслуживание	8. Повышение качества обслуживания	Межремонтный пробег автомобиля и агрегатов
		Доля повторных обращений клиентов из-за брака
	9. Соблюдение регламента времени обслуживания	Скорость реакции на поступившую заявку
		Среднее время ремонта
	10. Эффективное управление собственными затратами	Стоимость простоев для СП
		Доля складских неликвидов
Стоимость уплаченных штрафов за несвоевременное обслуживание		

Перспектива	Наименование цели	Наименование показателя эффективности
	11. Анализ и прогнозирование потребности в ЗЧ	Удельные транспортные затраты на ЗЧ
		Простой автомобилей по причине отсутствия ЗЧ
		Качество составляемой заявки (% подтверждения заявки по номенклатуре)
		Процент удовлетворения ЗЧ непосредственно со склада
	12. Оптимизация складских запасов	Затраты на поддержание складского запаса
		Оборачиваемость запасов
4. Обучение и развитие персонала	13. Повышение квалификации сотрудников	Процент сотрудников, участвующих в инновационном развитии предприятия
		Средняя квалификация руководства персонала, выполняющего сервисные услуги
		Количество обученных специалистов согласно перечня обязательных тем
	14. Мотивация персонала	Средний стаж работы сотрудников на предприятии
		Индекс мотивированности персонала
		Текущая текучесть кадров
15. Развитие корпоративной культуры	Профиль корпоративной культуры	
5. Информационное обеспечение	16. Обеспечение ЭРД	Процент обеспеченности необходимой ЭРД из установленного перечня
	17. Создание единого информационного пространства (ЕИП)	Наличие доступа к базе данных и базе знаний фирмы-производителя (включенность в ЕИП)
		Процент автоматизации критических задач СП, влияющих на качество принимаемых управленческих решений
		Производительность компьютерных систем (производительность процессора или объем хранимой информации)
		Удельный вес расходов на информационные системы в общей сумме административных расходов, %
		Рост количества компьютерной техники, в абсолютном выражении или в %
	18. Внедрение Web-технологий	Процент реализованных задач, осуществляющих обратную связь с клиентом, через интернет
19. Стандартизация процессов и унификация документооборота	Процент стандартизованных процессов (документация техпроцессов, регламентов)	
6. Инновации и развитие инфраструктуры	20. Поддержание оптимального состояния оборудования	Наличие необходимого оборудования (% от установленного перечня)
		Наличие необходимого специнструмента и приспособлений (% от установленного перечня)
		Коэффициент обновления оборудования / средний возраст парка оборудования
		Процентное соотношение специализированных и универсальных постов
		Коэффициент готовности/времени исправности оборудования
	21. Развитие ПТБ и сервисной инфраструктуры	Площадь земельного участка
		Площадь производственных помещений
		Площадь складских помещений
		Площадь административно-бытовых помещений
		Наличие автостоянки
Наличие магазина по продаже запасных частей		
Оценка месторасположения предприятия (близость к крупной трассе и наличие подъездной дороги с асфальтовым покрытием)		
		Парк АТ в регионе действия СП

Перспектива	Наименование цели	Наименование показателя эффективности
	22. Развитие фирменного стандарта и системы менеджмента качества (СМК)	Количество конкурентов в заданном радиусе (свои СП + неавторизованные СП)
		Степень соответствия СП фирменному стандарту
		Наличие сертификатов СМК
		Количество прочих сертификатов и свидетельств
7. Экология	23. Развитие стандартов экологичности	Наличие экологического паспорта или договоров на утилизацию шин, АКБ, ГСМ
		Наличие договоров на поверку оснастки и средств измерений
	24. Уменьшение экологических обязательств	Количество отклонений в сторону превышения установленных пределов, экологических аварий

Вся поступающая информация накапливается в базе данных (БД). БД отражает значение 35 показателей за выбранные периоды, которые и составляют вектор входных данных  $x_i$ , где  $i = 1, \dots, 35$ . Для ввода информации, с учетом принципов организации пользовательского интерфейса, были разработаны формы, упрощающие фиксирование исходной информации.

Так называемый аттестационный паспорт субъекта СФС включает в себя поля, значения которых периодически меняются, а также поля, заполнение которых осуществляется единожды при первоначальном вводе субъекта в БД, и значения которых меняются только в случае кардинальной модернизации ДСЦ (расширение территории, перепланировка производственного корпуса и административных зданий). Поэтому, при последующей подаче данных, заполнение паспорта упрощается (Рисунок 2).

Для сопоставимости результаты деятельности были приведены к состоянию либо на один пост (площади земельного участка, производственных помещений, складских помещений, административно-бытовых помещений), либо на одного работника (количество рекламаций, автомобилей на гарантии, стоимость проданных запасных частей, количество и стоимость автомобильной техники, объем сервисных услуг, прибыль/убыток).

Поскольку изначально все значения показателей измеряются в шкалах различной размерности, для удобства работы проводится нормализация. При отсутствии нормализации значения показателей, имеющие большие числовые значения, окажут влияние на оценку субъекта СФС, что будет искажать реальное состояние системы.

**ВНИМАНИЕ!!!**  
ВСЕ ПОЛЯ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ЗАПОЛНЕНЫ!!!

Паспорт предприятия-pretendenta на статус сервисного центра КАМАЗ

Общие свед. | Площади | ТЭП | Оборуд. и СИ | ЗРД | Обучение

		2010 г.		2011 г.	
		шт.	тыс. тенге	шт.	тыс. тенге
1	Предпродажная подготовка	0	2560,545	0	825,77
2	Техническое обслуживание и диагностика	0	2665,45543	0	0
3	Гарантийный ремонт	0	0	0	0
4	Текущий ремонт а/м, включая ремонт узлов и агрегатов	0	0	0	0
5	Углубленный, текущий ремонт двигателей	0	0	0	0
6	Модернизирующий (восстановительный) ремонт а/м КАМАЗ с использ. рем. комплектов и рем. а/м Евро-0	0	0	0	0
7	Автобусы	0	0	0	0
8	Спецнадстройки	0	0	0	0
9	Всего услуг	0	5226,00043	0	825,77
10	Объем запасных частей на ТО и ТР	0	27,8634	0	528,861
<b>Итого объем ТО и ТР</b>			<b>5253,86383</b>		<b>1354,631</b>

**1.5. Оценка местоположения предприятия и удобства для клиентов:**

- близость к автодорогам международного и республиканского значения (км., № и название автодороги)  (км)
- наличие подъездной дороги с асфальтовым покрытием
- наличие в регионе: аттестованных сервисных центров КАМАЗ, их филиалов, официальных дилеров ОАО «КАМАЗ» (указать фактический адрес) (указать характер взаимоотношений).

Каталог дет. и сб. единиц 43261-3902001КД (на а/м КАМАЗ-43261, 43114, 4326, 43118) \*

Каталог дет. и сб. единиц П/прицепы 937006/07-01, 9385/07, прицеп 8527

Каталог дет. и сб. единиц а/м КАМАЗ 43114, 43118, 4326

Рис. 2 - Формы сбора данных – электронного паспорта субъекта СФС

Таким образом, для снижения меры энтропии в системе, была разработана эффективная система мониторинга деятельности субъектов СФС, включающая модуль сбора первичных данных, полно и адекватно характеризующих состояние системы и имеющий удобный пользовательский интерфейс.

Через портальную систему осуществляется загрузка в систему центра управления СФС отправленных субъектами СФС файлов с данными, которые проверяются, нормализуются и выгружаются в файл для обработки в пакете STATISTICA, где осуществляется кластеризация субъектов и расчет показателей эффективности, сохраняемых в системе мониторинга (Рисунок 3).

В случае попадания показателя в критическую область, в системе для лица, принимающего решение, возникает сигнал о необходимости принятия корректирующих мероприятий (для субъектов СФС соответствующие критические показатели эффективности окрашиваются в красный цвет). На основе данного преобразования управление рисками, возникающими в процессе функционирования предприятия, становится более прозрачным. Помимо этого, может быть рассчитана вероятность возникновения риска как дисперсия или среднеквадратическое отклонение выборки значений показателя эффективности, которому соответствует данный риск в соответствии со статистическими данными, накапливаемыми в БД СППР. Если значение дисперсии, рассчитанное по величинам параметров текущего состояния системы велико, это свидетельствует о высоком разбросе значений показателя и значительной его неустойчивости, а, значит, и о существующем риске его изменения.

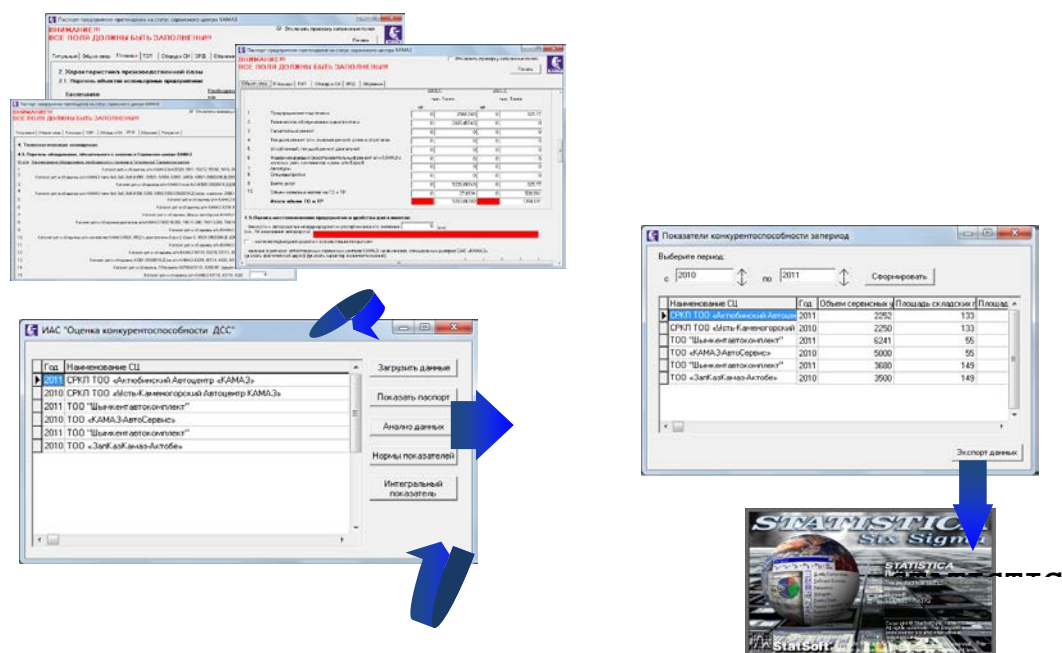


Рис. 3 – Взаимодействие модулей системы мониторинга

Таким образом, системный подход и применение информационной системы мониторинга позволяют принимать научно-обоснованные решения при управлении сложной системой фирменного сервиса.

### Литература

1. Бухаров, Е.И. Использование синергетических эффектов в стратегическом планировании на промышленных предприятиях (объединениях): дис. ... канд. экон. наук / Е.И. Бухаров. – Челябинск, 1998.- 213 с.
2. Чербаев, Д.А. Дилерские сети машиностроительных предприятий: формирование и направления развития: дис. ... канд. экон. наук / Д.А. Чербаев. – Волгоград: ВГТУ, 2008. – 175 с.
3. Плотинский, Ю.М. Модели социальных процессов: уч. пособие для вузов, издание 2-е. – М.: Логос, 2001.
4. Васильева, О.Е. Формирование синергетических эффектов в системе сервиса техники.// Проблемы современной экономики, №4(28) . – URL: <http://www.m-economy.ru/art.php3?artid=25015>. Дата обращения: 14.12.2012
5. Семенов, В.М. Сервис промышленных товаров / В.М. Семенов, О.Е. Васильева. – М.: Центр экономики и маркетинга, 2001.
6. Кузнецов, Е.С. Управление техническими системами: Учебное пособие/ Е.С. Кузнецов. – М.: МАДИ, 1997. – 202с.
7. Чернышов, В.Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / В.Н. Чернышов, А.Н. Чернышов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с.
8. Paich, M. Boom, Bust, and Failures to Learn in Experimental Markets / M.Paich, D.Sterman // Management Science. – 1993. – 39 (12). – 1439-1458 p.
9. Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.: ил.

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МУЛЬТИМЕДИА В ОТКРЫТОМ ОБРАЗОВАНИИ

Мамедова Э. Я

*Жетысуский Государственный Университет имени И. Жансугурова*

В статье описывается применение систем мультимедиа в открытом образовании, основные её характеристики. Рассмотрены вопросы повышения эффективности открытой образовательной деятельности при помощи мультимедиа, многие виды мультимедийной информации, позволяющие в полной мере использовать её в обучении.

### **Use of systems of multimedia in open education. Mamedova Elmina**

In article use of systems of multimedia in open education, its main characteristics are described. Questions of increase of efficiency of open educational activity by means of the multimedia, many types of multimedia information allowing fully using it in training are considered.

Появление систем мультимедиа произвело революцию во многих областях деятельности человека, самая широкая область применения технология мультимедиа получила в сфере образования. *Мультимедиа* представляет собой компьютерные средства создания, хранения, обработки и воспроизведения в оцифрованном виде информации разных типов таких как, текста, рисунков, схем, таблиц, диаграмм, фотографий, видео- и аудио - фрагментов и т.п., т.е. комбинированное представление информации в разных формах (текст, звук, видео и т.д.). Мультимедиа средства обеспечивают возможность интенсификации обучения и повышение мотивации обучения за счет применения современных способов обработки аудиовизуальной информации, таких, как:

- “манипулирование” (наложение, перемещение) визуальной информацией, как в пределах поля данного экрана, так и в пределах поля предыдущего (последующего) экрана;
- контаминация (смешение) различной аудиовизуальной информации; реализация анимационных эффектов;
- тонирование изображения;
- деформирования визуальной информации (увеличение или уменьшение определенного линейного параметра, растягивание или сжатие изображения);
- дискретная подача аудиовизуальной информации;
- фиксирование выбранной части визуальной информации для ее последующего перемещения или рассмотрения “под лупой”;
- демонстрация реально протекающих процессов, событий в реальном времени (видеофильм).
- многооконное представление аудиовизуальной информации на одном экране с возможностью активизировать любую часть экрана (например, в одном “окне” - видеофильм, в другом - текст) [1].

Применение мультимедиа обеспечивают ряд средств более выразительных, чем текст. В мультимедиа информация представляется не только в виде текста, но и в виде трехмерной графики, звукового сопровождения, видео, анимации.

При использовании мультимедийных средств ИКТ в открытом образовании большое значение играет роль иллюстраций.

- Выделяют два термина “иллюстрация”:

- изображение (рисунок, фотография и др.), поясняющее или дополняющее какой-либо текст,
- приведение примеров для наглядного и убедительного объяснения.

Первый термин больше относится к традиционному книжному учебнику, второй же - выражает роль иллюстраций в мультимедийных образовательных электронных изданиях. Все мультимедийные средства ИКТ используются для наглядного и доступного объяснения учебного материала, задействованного в системе открытого образования. Иллюстрации - это ведущая, наиболее значимая подсистема в структуре образовательного электронного издания.

- Виды структурных компонентов иллюстрации:
  - образов (например, теоретических),
  - двухмерной и трехмерной графики,
  - звукового ряда,
  - анимации,
  - видео.

Появление в образовательных средствах ИКТ новых видов иллюстраций не означает отказ от прежних подходов, использовавшихся при издании традиционных учебников на бумажных носителях.

В процессе разработки специализированных средств ИКТ в настоящее время созданы мультимедийные энциклопедии по многим образовательным направлениям и учебным дисциплинам. С использованием новых методов обучения позволяющие организовать учебный процесс, разработаны игровые ситуационные тренажеры и мультимедийные обучающие системы. Особые перспективы мультимедиа открывает для открытого и дистанционного образования.

Из-за присущих качеств интерактивности, гибкости и объединения различных типов мультимедийной учебной информации, благодаря возможности учитывать индивидуальные особенности учащихся и способствовать повышению их мотивации, мультимедиа является полезной и эффективной образовательной технологией[1] [2].

Одним из наиболее значимых характеристик цифровых мультимедиа по сравнению с другими средствами представления информации является предоставление интерактивности. Интерактивность - это процесс предоставления информации в ответ на запросы пользователя. Интерактивность позволяет учащимся индивидуально менять настройки, изучать результаты, отвечать на запросы программы о конкретных предпочтениях пользователя, устанавливать скорость подачи материала и число повторений, удовлетворяющие их индивидуальным академическим потребностям, т.е., управлять представлением информации.

Отличительной чертой мультимедийного средства ИКТ от любого другого средства представления информации, не требующего активного участия человека, является, возможность предоставлять взаимодействие с пользователем, ориентированная на потребности учащихся.

Технологии мультимедиа дают возможность осмысленно и гармонично объединять в себе многие виды мультимедийной информации, которое позволяет с помощью компьютера представлять знания в различных формах:

- изображения, включая отсканированные фотографии, чертежи, карты и слайды;
- звукозаписи голоса, звуковые эффекты и музыка;
- видео, сложные видеоэффекты и анимационное имитирование;
- анимации и симуляции.





Рисунок 1

Системы мультимедиа применяются в самых разных стилях обучения и воспринимаются самыми разными людьми: одни студенты предпочитают учиться посредством чтения, другие – воспринимают на слух, третьи – просматривают видео, и т.д. Использование мультимедиа дают возможность учащимся работать над учебными материалами по-разному – студент сам решает, как изучать материалы, как применять интерактивные возможности приложения, и как реализовать совместную работу, они становятся активными участниками открытого или дистанционного образовательного процесса [2].

Студенты могут изучать тот материал, который их интересует, повторять его несколько раз это помогает устранить многие препятствия их индивидуальному восприятию, т.е., могут влиять на свой собственный процесс обучения, подстраивая его под свои индивидуальные способности и предпочтения. Использование мультимедиа-средств помогает сделать процесс открытого и дистанционного обучения гибким по отношению к социальным и культурным различиям между студентами, их индивидуальным стилям и темпам обучения, их интересам.

Мультимедийные приложения используются для облегчения совместного обучения, т.к. небольшие группы студентов могут совместно работать с одним мультимедийным приложением, это развивает у них навыки диалога со своими коллегами.

Мультимедийные средства обучения предоставляют преподавателю массивы информации в большем объеме, чем традиционные источники информации; наглядно в интегрированном виде включать не только текст, графики, схемы, но и звук, анимацию, видео и т.п.; отбирать виды информации и в той последовательности, которая соответствует логике познания и уровню восприятия конкретного контингента обучающихся.

Мультимедийные программные средства способствуют повышению эффективности таких видов открытой образовательной деятельности как:

- просмотра аудиовизуальной информации,
- тренажёра по теории с использованием практических упражнений,
- контроля и измерения результативности обучения,

- работы с терминологией,
- интерактивного общения обучаемый - преподаватель.

Применение средств мультимедиа в обучении позволяет:

- решить задачи гуманизации образования;
- повысить эффективность учебного процесса;
- развить личностные качества обучаемых;
- развить социальные и коммуникативные способности обучаемых;
- расширить возможности индивидуализации и дифференциации открытого и дистанционного обучения за счет предоставления каждому обучаемому персонального педагога, роль которого выполняет компьютер;
- учесть индивидуальные особенности обучаемого;
- осуществить самостоятельную учебную деятельность, которая способствует самообучению и саморазвитию обучаемого.

При использовании систем мультимедиа в открытом образовании мультимедиа может рассматриваться как средство обучения и средство связи. Мультимедийные средства и услуги Интернет могут использоваться выработки созидательных навыков и для развития критического мышления, чтобы уровень подготовки учащихся соответствовал новым потребностям общества, основанного на обучении и сетевых технологиях.

Средства мультимедиа могут быть использованы для улучшения процесса открытого обучения, в конкретных предметных областях и в дисциплинах, которые связаны между собой несколькими предметными областями.

На плодотворность системы открытого образования влияет среда, где протекает учебный процесс, сюда входят его условия и доступность: центры мультимедийных ресурсов, компьютерные лаборатории, библиотеки и т.п. [3].

Таким образом, мультимедийные приложения могут применяться в многочисленных проектах открытого образования, где студенты размышляют над изучаемой предметной областью и ведут диалог со своими коллегами и преподавателями, в котором обсуждают ход и результаты своего обучения.

### **Литературы**

1. Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании. - М.: Школа-Пресс, 1994.
2. Фролов А.В. Мультимедиа для Windows / А.В.Фролов, Г.В.Фролов. - М.: Диалог-МИФИ, 1995. - 284 с.
3. Шлыкова О. В. Культура мультимедиа: Уч. пособие для студентов / О. В.Шлыкова. - М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004. - 415 с.

## **ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В МЕДИЦИНЕ**

Мельников М. П.  
*Волгоград, ВолгГТУ*

В статье рассмотрены направления применения методов распознавания естественного языка в медицине. Материалом исследования послужила выборка наиболее цитируемых научных статей из реферативной базы данных SCOPUS за 2002-2012 годы. На основе анализа статей выделены основные направления современных

исследований в данной области, определены наиболее перспективные направления исследований.

### **Review of the application of natural language processing techniques in medicine.**

**Melnikov M. P. *Volgograd, VSTU***

The article describes application of natural language processing approaches in medicine. The material of the article – the most cited scientific papers of abstracts database SCOPUS for 2002-2012 years. The analysis of articles picks out the main subjects of current research in this area, it identifies the most promising areas of research.

В современном мире огромное количество информации хранится в форме текстов на естественном языке. Этот факт часто затрудняет извлечение ценной информации из текста, поиск и обработку хранимой таким образом информации.

Постоянно растет количество научных текстов, доступных в сети Интернет. Так крупнейшая библиографическая база статей по медицинским наукам Medline содержит свыше 12 миллионов цитат. Однако такое количество публикаций затрудняет отслеживание учеными новейших исследований по своей тематике [20].

Одним из главных инструментов улучшения качества здравоохранения являются клинические руководства. Однако большинство руководств также представляют собой тексты на естественном языке в неформализованном, не алгоритмическом виде [2].

Огромное количество клинической информации находится в текстовых документах. Клинические медицинские записи содержат множество информации, в основном в виде текста на естественном языке. Отмечается, что автоматическое извлечение этой информации будет определено выгодно для клинической практики [3], а средства для извлечения структурированной информации из свободного текста записей – важный предмет научных исследований [4].

Таким образом, в изученных статьях используются следующие источники текстов на естественном языке

- научные статьи;
- клинические руководства;
- клинические медицинские записи

Можно выделить три основных направления исследований в данной области:

- анализ научных текстов;
- анализ клинических медицинских записей;
- решение вспомогательных задач распознавания текстов на естественном языке.

Декомпозируя перечисленные основные направления исследований, можно выделить следующие крупные подразделы.

Ряд исследований посвящен автоматизированному составлению онтологий. Так в [7] разработана веб-ориентированная система для облегчения постепенного перевода текстов клинических руководств в выбранную целевую онтологию. Автоматизация этого процесса позволяет значительно ускорить и упростить составление онтологий, необходимых для облегчения доступа к клиническим руководствам.

Одной из проблем, успешно решаемых с помощью обработки текстов на естественном языке, является классификация документов – отнесение документа к одной из нескольких категорий на основании его содержания.

Частным случаем проблемы классификации документов является классификация диагностических отчетов, этой проблеме посвящены многие работы. Так в [13] исследуется распознавание типа опухоли по неструктурированному заключению по результатам магнитно-резонансной томографии (МРТ). В ходе исследования была разработана система для определения состояния опухоли по неструктурированному

заклучению МРТ. Результатом исследования стало установления факта, что заключение МРТ содержит достаточно информации для классификации опухоли. В [21] исследуется возможность классификации заключений рентгенологов.

Автоматическая классификация используется и в других отраслях медицины. Например, в [6] классифицируются симптомы, разработана и проверена система обработки естественного языка для классификации жалоб пациентов по шести категориям. В [14] автоматизируется процесс классификации препаратов по анатомо-терапевтическо-химической классификации Всемирной организации здравоохранения (АТХ ВОЗ). Актуальность данного направления объясняется большим количеством новых неклассифицированных препаратов, информация о которых доступна в научных статьях. Разработанная система добывает из текста научных статей ключевые слова, а подсистема машинного обучения классифицирует препараты по классификации АТХ ВОЗ.

Близкой к задаче классификации является задача определения событий характеристик заболевания в медицинских записях. Так в [8] проведено сравнение трех алгоритмов по определению лихорадки по тексту на естественном языке, в [5] автоматически выявляются побочные действия лекарств, в [11] из медицинских записей автоматически извлекается информация о событиях течения болезни.

Также распознавание текстов на естественном языке применяется для задач поиска информации в специализированных медицинских текстах, клинических руководствах, в разнородных источниках данных. В [12] исследуется возможность повышения качества поиска в медицинских записях. Разработана схему индексации, которая повышает эффективность поиска в медицинских документах на естественном языке. Разработанная модель использует фразы, состоящие из нескольких слов, как индексируемые термы. Каждая фраза состоит из понятий из унифицированного языка медицинских систем (UMLS) и основ слов, входящих в нее. Сходства между понятиями определяются их отношениями в гиперонимной иерархии, полученной из UMLS. В работе показано значительное повышение эффективности поиска, по сравнению с использованием существующих методов. В [10] исследуется поиск медицинских алгоритмов. Большая часть медицинской информации представляет собой алгоритмы. Очевидна необходимость поиска алгоритмов лечения, диагностики в медицинских текстах. Главные проблемы, которые решены в работе – определение необходимости поиска сценария по поисковому запросу, наличие общие терминов в запросе.

Обработка текстов на естественном языке так же актуально и в близких к медицине отраслях знаний, таких как биология [9]

Отдельной группой являются исследования, посвященные решению вспомогательных задач обработки текстов на естественном языке, то есть задачам, не имеющим непосредственного практического применения, но имеющих большое значение для дальнейших исследований. Такими задачами являются, например: поиск гиперонимов [15], определение отрицаний и предположений [16], устранение многозначностей [17], поиск аббревиатур и акронимов [18], анонимизация клинических текстов [19], поиск связанных понятий в текстах [20].

Обобщив изученные работы, можно сделать следующие обобщения.

1 Значительная часть исследований носят фундаментальный характер и их результаты на сегодняшний день не могут непосредственно использоваться в клинической практике. Также значительная часть исследований носят прикладной характер, результаты нацелены на решение конкретной научной, технической и медицинской задачи.

2 Используемые на сегодня методы позволяют достичь высокой точности распознавания, классификации, поиска медицинской информации.

3 Области применения методов обработки текстов на естественном языке в медицине очень разнообразны.

Проанализировав основные направления исследований по распознаванию текстов в медицине, можно выделить важное направление для дальнейших исследований в данной области. На сегодняшний день пациентам назначаются десятки тысяч препаратов, при совместном применении препаратов возможны как положительные, так и опасные взаимодействия. Значительное число исследований посвящены взаимодействию препаратов. Воспользовавшись принципом абдукции, важнейшим принципом генерации новых систем [1], можно сделать вывод, что задача поиска текстов, посвященных взаимодействию препаратов является важным направлением дальнейшего развития данной области исследований.

### Литература

1. Камаев, В. А. Абдукция – инструмент концептуального проектирования новых технических систем / В. А. Камаев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2011. – № 2. – С. 32–36

2. Shahar Y, Young O, Shalom E, Galperin M, Mayaffit A, Moskovitch R, Hessing A. A framework for a distributed, hybrid, multiple-ontology clinical-guideline library, and automated guideline-support tools. *J Biomed Inform.* 2004 Oct; 37(5):325-44. PubMed PMID: 15488747.

3. Rafael Valencia-Garcia, et al, A knowledge acquisition methodology to ontology construction for information retrieval from medical documents. *Expert Systems Vol.* 25, Issue 3, pp. 314–334, July 2008.

4. Xiaohua Z, et al. Approaches to text mining for clinical medical records, Association for Computing Machinery, 2006.

5. Murff H, Patel V, Hripcsak G, Bates D. Detecting adverse events for patient safety research: a review of current methodologies. *J Biomed Inform.* 2003 Feb-Apr;36(1-2):131-43. Review. PubMed PMID: 14552854..

6. Chapman W, Christensen L, Wagner M, Haug P, Ivanov O, Dowling J, Olszewski R. Classifying free-text triage chief complaints into syndromic categories with natural language processing. *Artif Intell Med.* 2005 Jan; 33(1):31-40. PubMed PMID: 15617980.

7. Shahar Y, Young O, Shalom E, Galperin M, Mayaffit A, Moskovitch R, Hessing A. A framework for a distributed, hybrid, multiple-ontology clinical-guideline library, and automated guideline-support tools. *J Biomed Inform.* 2004 Oct;37(5):325-44. PubMed PMID: 15488747.

8. Chapman W, Dowling J, Wagner M. Fever detection from free-text clinical records for biosurveillance. *J Biomed Inform.* 2004 Apr; 37(2):120-7. PubMed PMID: 15120658.

9. Shah N, Jonquet C, Chiang A, Butte A, Chen R, Musen M. Ontology-driven indexing of public datasets for translational bioinformatics. *BMC Bioinformatics.* 2009 Feb 5;10 Suppl 2:S1. doi: 10.1186/1471-2105-10-S2-S1. PubMed PMID: 19208184; PubMed Central PMCID: PMC2646250.

10. Z. Liu and W. W. Chu. Knowledge-based query expansion to support scenario-specific retrieval of medical free text. In SAC '05, pages 1076–1083. ACM Press, 2005.

11. Coden A, Savova G, Sominsky I, Tanenblatt M, Masanz J, Schuler K, Cooper J, Guan W, de Groen PC. Automatically extracting cancer disease characteristics from pathology reports into a Disease Knowledge Representation Model. *J Biomed Inform.* 2009 Oct; 42(5):937-49. doi: 10.1016/j.jbi.2008.12.005. Epub 2008 Dec 27. PubMed PMID: 19135551.

12. Wenlei Mao, Wesley W. Chu, The phrase-based vector space model for automatic retrieval of free-text medical documents, *Data & Knowledge Engineering*, Volume 61, Issue 1, April 2007, Pages 76-92, ISSN 0169-023X, 10.1016/j.datak.2006.02.008.
13. Cheng L, Zheng J, Savova G, Erickson B. Discerning tumor status from unstructured MRI reports--completeness of information in existing reports and utility of automated natural language processing. *J Digit Imaging*. 2010 Apr;23(2):119-32. doi: 10.1007/s10278-009-9215-7. Epub 2009 May 30. Review. PubMed PMID: 19484309; PubMed Central PMCID: PMC2837158.
14. Gurulingappa H, Kolárik C, Hofmann-Apitius M, Fluck J. Concept-based semi-automatic classification of drugs. *J Chem Inf Model*. 2009 Aug;49(8):1986-92. doi: 10.1021/ci9000844. PubMed PMID: 19663460.
15. Rindfleisch TC, Fiszman M. The interaction of domain knowledge and linguistic structure in natural language processing: interpreting hypernymic propositions in biomedical text. *J Biomed Inform*. 2003 Dec;36(6):462-77. PubMed PMID: 14759819.
16. Vincze V, Szarvas G, Farkas R, Mora G, Csirik J: The BioScope corpus:biomedical texts annotated for uncertainty, negation and their scopes. *BMC Bioinformatics* 2008, 9(11):S9.
17. Humphrey S, Rogers W, Kilicoglu H, et al. Word sense disambiguation by selecting the best semantic type based on journal descriptor indexing: preliminary experiment. *J Am Soc Inf Sci Technol* 2006;57:96–113.
18. Cheng-Ju Kuo, Maurice HT Ling, Kuan-Ting Lin, and Chun-Nan Hsu. "BIOADI: a Machine Learning Approach to Identifying Abbreviations and Definitions in Biological Literature." *BMC Bioinformatics*, 2009. <http://www.biomedcentral.com/1471-2105/10/S15/S7>.
19. Douglass M, Clifford G, Reisner A, et al. "De-identification algorithm for free-text nursing notes," in *Computers in Cardiology*, 2005.
20. Leroy G, Chen H, Martinez JD. A shallow parser based on closed-class words to capture relations in biomedical text. *J Biomed Inform*. 2003 Jun;36(3):145-58. PubMed PMID: 14615225.
21. Taira R, Bashyam V, Kangaroo H. A field theoretical approach to medical natural language processing. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*. 2007 Jul;11(4):364-75. PubMed PMID: 17674619.

## О МЕТОДАХ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ

Мурашёв Д.А.  
*МИЭМ НИУ ВШЭ.*

При нынешнем уровне глобализации мировой экономики весьма остро встаёт проблема доставки товаров конечному потребителю, т.е. транспортная задача. От успешного решения транспортной задачи зависит эффективность производства, а повышение эффективности управления производством зависит от применения новых математических методов, в том числе методов исследования операций, моделирования и методов искусственного интеллекта.

**Methods of solving the transportation problem. Murashev D.A., post-graduate student HSE.**

At the current level of the world economy globalization we are facing a very acute problem of delivery of goods to the final consumer, i.e. transportation problem. Production

efficiency depends on the successful solution of the transportation problem and improvement of management efficiency of the production depends on the using of new mathematical methods, including methods of operations research, mathematical modelling and artificial intelligence methods.

Решение задач транспортного типа необходимо для построения оптимального маршрута распространения груза от производителей к потребителям, через значительное число посредников (от нескольких единиц до нескольких сотен). При этом целевой функцией является стоимость затрат на транспортировку груза.

Новизна и практическая значимость исследования обусловлена тем фактом, что транспортная задача получила в настоящее время широкое распространение в теоретических обработках и практическом применении на транспорте и в промышленности. Особенно важное значение она имеет в деле рационализации постановок важнейших видов промышленной и сельскохозяйственной продукции, а также оптимального планирования грузопотоков и работы различных видов транспорта.

Разработка оптимального транспортного маршрута зачастую требует применения существенных вычислительных мощностей, вследствие значительного количества переменных, определяющих размерность задач и многоэкстремальностью целевой функции.

От успешного решения распределительных задач зависит эффективность производства, а повышение эффективности управления производством зависит от применения новых математических методов, в том числе методов исследования операций, моделирования и методов искусственного интеллекта. Это связано с комплексным изучением процессов и объектов, формализацией их параметров и разработкой методов моделирования для решения сложных производственных задач. Решение распределительных задач необходимо рассматривать в рамках системного подхода, применяя методы системного анализа.

Существует несколько методов решения транспортной задачи, в том числе метод северо-западного угла, метод наименьшего элемента, метод потенциалов, метод Фогеля, симплекс-метод и различные их модификации, однако все они ориентированы на конкретное численное задание параметров задачи и не допускают существование неопределенности в исходных параметрах. При решении практических задач в общем случае нельзя указать, какие параметры задачи будут иметь численные значения, вследствие непредсказуемости изменений в структуре всех участников процесса – производителей, поставщиков и потребителей, а также воздействия внешней среды, что влечет за собой невозможность точного установления начальных параметров. Так как параметры транспортной задачи не всегда могут быть оценены в физических единицах измерения, но могут быть выражены качественными показателями, то для формализации параметров могут быть применены методы теории нечетких множеств. Для решения транспортная задача представляется в виде нечётких интервалов, что позволяет получать достоверные результаты при неопределенности задания параметров.

Исследования в практическом аспекте направлены на проектирование проблемно-ориентированного прикладного программного продукта (модулей аналитического решения и модулей принятия решений) для применения в информационно-управляющих системах предприятий, решающих транспортные задачи.

Практическая ценность результатов исследований будет представлена их реализацией на практике в виде информационно-управляющей системы,

осуществляющей задачи оперативного управления и экономического планирования развития предприятия.

### Литература

1. Поликарпов В.С., Поликарпова В.А. Этика и технология в начале XXI века (философские эссе). Ростов-на-Дону Таганрог: Изд-во СКНЦ ВШ, Изд-во ТРТУ, 2003.
2. Квейд Э. Анализ сложных систем. М.: Сов. радио, 1969. - 520 с.
3. Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Сов. радио, 1969. — 216 с.
4. Боулдинг К. Общая теория систем скелет науки//Исследования по общей теории систем. - М.: Прогресс, 1969. - С. 106-124.
5. Баумоль У. Экономическая теория и исследование операций. – М.; Наука, 2004.

## ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Мясникова Н.В., Берестень М.П.

*Пенза, Пензенский государственный университет*

Рассмотрены подходы к экспресс-анализу на основе экстремальной фильтрации. Проиллюстрированы основные приложения в технических и информационных системах – спектральный и спектрально-временной анализ, сжатие-восстановление информации.

**Express-analysis in the technical and information systems.** Myasnikova N.V., Beresten M.P.

Discusses approaches to the Express-analysis on the basis of extreme filtering. Illustrates the application in technical and informational systems – spectral and spectral-temporal analysis, compression-restoration of the information.

На протяжении многих лет авторами развиваются теоретические основы экспресс-анализа для решения задач контроля, диагностики, распознавания и т.д. Необходимость разработки обусловлена тем, что в таких системах накладываются существенные ограничения на время принятия решения при высоких требованиях к достоверности анализа. Предложена универсальная модель быстропеременного процесса и методы обработки на основе субполосной экстремальной фильтрации, позволяющей определить параметры такой модели и интерпретировать результаты разложения как спектральные и время-частотные характеристики.

В основе метода экспресс-анализа лежит адаптивная полосовая фильтрация. По экстремальным значениям  $x_{yi}$  в моменты  $t_{yi}, i=1..K$  производится сглаживание оператором вида

$$x_{ci} = 0,25x_{yi-1} + 0,5x_{yi} + 0,25x_{yi+1}, \quad (1)$$

что соответствует цифровому фильтру нижних частот с передаточной функцией

$$G(f) = 0,5(1 + \cos(2\pi f\Delta)),$$

где  $\Delta$  – среднее расстояние между экстремумами.

Выделяется знакопеременная составляющая



$$x_{pi} = -0,25x_{zi-1} + 0,5x_{zi} - 0,25x_{zi+1}, \quad (2)$$

что соответствует цифровому фильтру верхних частот с передаточной функцией  $G(f) = 0,5(1 - \cos(2\pi f\Delta))$ .

Действия (1), (2) повторяются над составляющей  $x_{ci}$ .

По количеству экстремумов и значениям экстремумов вычисляются параметры составляющих:

$$f_i = \frac{K_i}{2T}, \quad \sigma_i = \text{std}(x_{zi}).$$

Так как расстояние  $\Delta$  на каждом шаге увеличивается, то фильтры (2) – полосовые по отношению к диапазону, определяемому шагом дискретизации  $F = \frac{1}{2\Delta t}$ .

Экспресс-анализ включает следующие этапы:

1. Регистрацию процесса и выделение его экстремальных значений;
2. Разложение процесса на знакопеременные составляющие (эмпирические моды) с помощью экстремальной фильтрации;
3. Формирование модели процесса по параметрам составляющих;
4. Принятие решения об изменении в процессе на основе сравнения с эталонами: неисправность и ее вид в системах диагностики; обнаружение и тип объекта в системах распознавания.
5. Интерпретацию результатов как спектральных и время-частотных характеристик для систем «мягкого» реального времени.
6. Сжатие (представление процесса рядом экстремумов для хранения и передачи по каналам связи) и восстановление на основе аппарата аппроксимации многоэкстремальных функций.

Применение экспресс-анализа на основе экстремальной фильтрации в технических системах позволяет:

1. Сократить время анализа и принятия решения;
2. Сократить объем хранимой, обрабатываемой и передаваемой по каналам связи каналов;
3. Реализовывать алгоритм на вычислителях малой мощности.

Рассмотрим применение экспресс-анализа в системах диагностики (расознавания). Проектирование таких систем начинается с создания модели диагностируемого (расознаваемого) объекта. Такую модель можно, например, построить на основе априорной информации об объекте или по экспериментальным данным, регистрируемым датчиками – вибрациям, акустическим шумам, переменным давлениям и т.д.

Невозможно построить универсальную модель различных объектов, но можно построить универсальную модель быстропеременных процессов, которые сопровождают их работу и отражают свойства. Часто быстропеременный процесс представляет собой комбинацию узкополосных составляющих аддитивно смешанных с широкополосным шумом.

Свойства процесса претерпевают изменения с течением времени или под действием влияющих факторов. Это проявляется в изменении амплитуд и частот узкополосных составляющих, уровня широкополосного шума, появление гармоник или субгармоник основной частоты возбуждения и др. При таких условиях задача выявления отклонений в функционировании объектов может быть сведена к обнаружению моментов изменения частотных свойств случайного процесса.

Такая модель (сумма узкополосных составляющих) объясняет, почему классические системы диагностики строятся на парадигме спектрального анализа – в спектре, как правило, выделяются выраженные резонансы (моды), по которым можно судить об изменении в объекте.

Рассмотренный в статье метод разложения сигнала на знакопеременные составляющие наиболее согласован с предложенной моделью сигнала. Каждую из знакопеременных составляющих можно связать с полосой частот, что дает возможность оценить частотные (в том числе и время-частотные) характеристики сигнала.

Параметры разложения частота и амплитуда (мощность) каждой составляющей сигнала характеризуют модель объекта в текущий момент:

$$S_i = \begin{bmatrix} \bar{f}_{i1}, \bar{f}_{i2}, \dots, \bar{f}_{ip} \\ \sigma_{i1}^2, \sigma_{i2}^2, \dots, \sigma_{ip}^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

где  $\bar{f}_{ij}$  – значения центральной частоты  $j$ -й компоненты на  $i$ -м участке (при анализе в скользящем окне);  $\sigma_{ij}^2$  – значения мощности  $j$ -й компоненты на  $i$ -м участке;  $p$  – количество компонент.

Зависимость  $\sigma(f)$  характеризует спектр мощности в текущий момент времени, а  $\sigma(f(t), t)$  – время частотное распределение.

Основные области применения метода в системах диагностики (распознавания) иллюстрирует рисунок 1.

Представление сигнала его экстремальными значениями соответствует адаптивной дискретизации, так как локально обеспечиваются требования теоремы Котельникова. При этом обеспечивается сжатие информации с возможностью восстановления.

Наиболее исследован вопрос сходимости процедуры аппроксимации гауссовыми функциями вида  $e^{-\beta^2 x^2}$ , где  $\beta$  определяется расстоянием между соседними экстремумами выделенных знакопеременных составляющих

$$f(t) = \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{m_i} x_{yki} e^{-\beta_{ki}^2 (t-t_{yki})^2}.$$

В этом случае выражение для комплексного спектра примет вид

$$S(j\omega) = \sqrt{\pi} \sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^{m_i} \frac{x_{yki}}{\beta_{yki}} e^{-\omega^2 / (4\beta_{ki}^2) - j\omega t_{yki}}.$$

Следовательно, от экспресс-оценок спектра мы можем перейти точным.

Распределение по шкале моментов появления экстремумов в разных составляющих имеет важное свойство: самая высокочастотная составляющая содержит экстремумы, абсциссы которых определяют положение экстремумов и всех низкочастотных составляющих. Это свойство может быть использовано для дополнительного сжатия данных без потерь информации об абсциссах экстремумов.

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ СИГНАЛОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

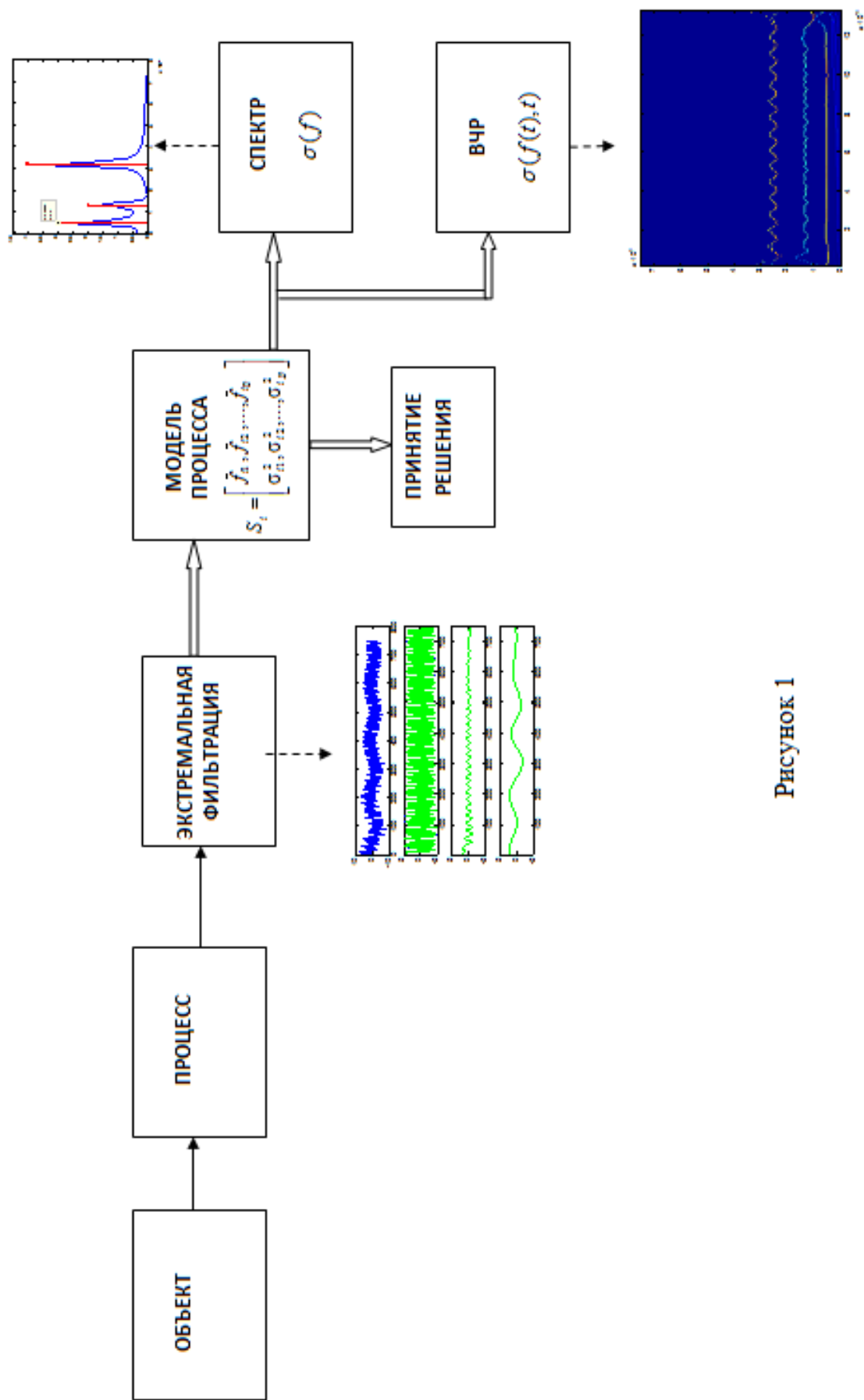


Рисунок 1

## ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ДЛЯ СЖАТИЯ-ВОССТАНОВЛЕНИЯ

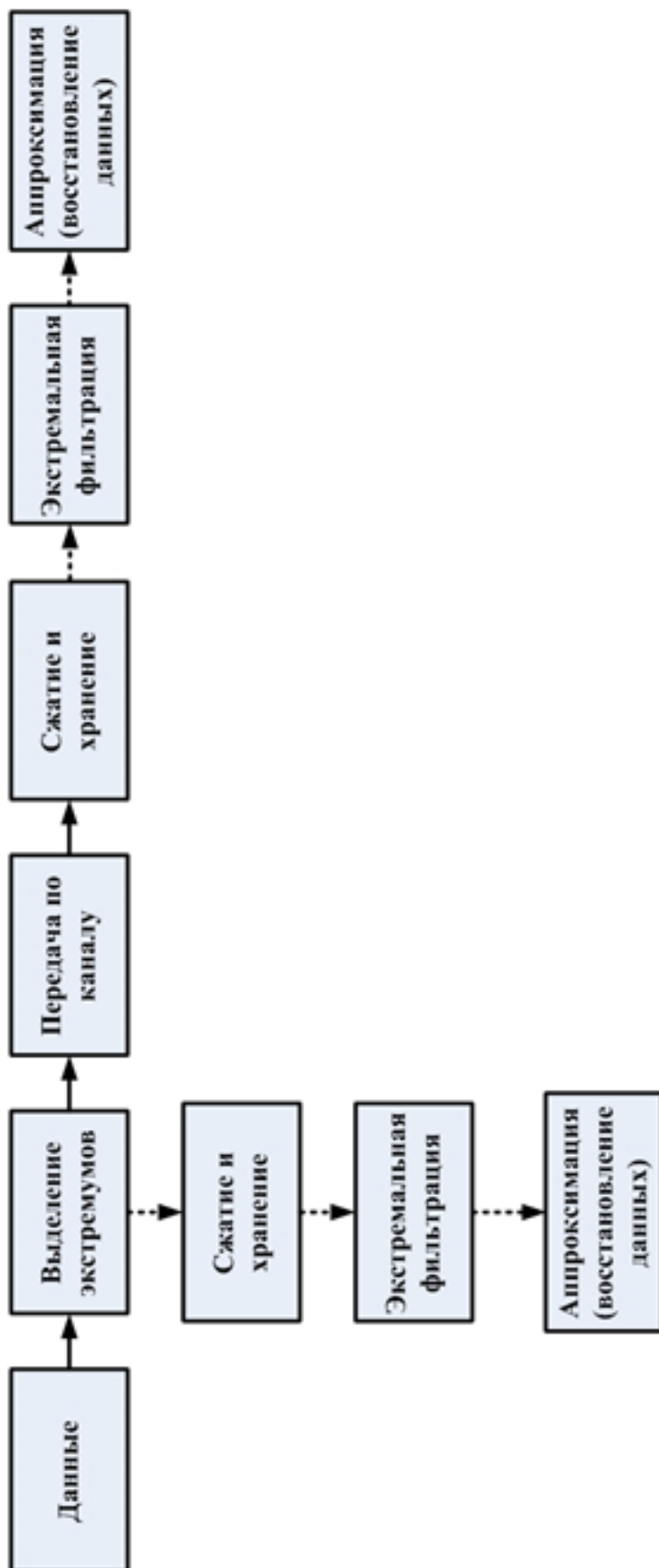


Рисунок 2

Применение экстремальной фильтрации для сжатия-восстановления иллюстрирует рисунок 2.

Наиболее полно экстремальная фильтрация, ее приложения и метод экспресс-анализа изложены в [1].

### Литература

1. Мясникова, Н.В., Экспресс-анализ сигналов в технических системах/ Н.В. Мясникова, М.П. Берестень. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012.–152 с.

## ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ

Петров Л.Ф.

*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ, РЭУ им. Г.В.Плеханова*

Рассматривается эволюция моделей нелинейной динамики, связанная с учетом нелинейных характеристик системы и числа степеней свободы. Обсуждаются подходы, позволяющие учесть существенно нелинейные свойства системы и динамическое взаимодействие различных форм колебаний. Приводятся примеры новых эффектов, обнаруживающихся по мере усложнения модели.

**Evolution of models of nonlinear dynamics..Lev F. Petrov.Moscow, MIEM HSE, Plekhanov Russian University of Economics.**

We consider the evolution of models of nonlinear dynamics associated with non-linear characteristics of the system and the number of degrees of freedom. We discuss the approaches that take into account the essential nonlinearities of the system and the dynamic interaction between the various modes of vibration. The examples of new effects, showing up with the complexity of the model are demonstrated.

История развития динамического моделирования охватывает несколько взаимосвязанных направлений развития. Мы будем рассматривать цикл моделирования, начиная с реального динамического процесса-прототипа. В качестве такого процесса-прототипа может выступать обобщенная динамическая система. Многочисленные примеры такого рода систем есть в физике, механике, теории колебаний, экономике, биологии.

В реальных условиях параметры, характеризующие рассматриваемый динамический процесс, связаны между собой и внешним воздействием нелинейным образом. Кроме того, во многих приложениях реальные процессы имеют различное число степеней свободы, вплоть до континуального представления. Диссипативные характеристики реальной системы, как правило, нелинейные.

Исторически построение динамических моделей развивалось от простых линейных моделей с одной степенью свободы. Если диссипация и учитывалась в модели, то только в рамках линейного подхода. Такого рода простейшие модели весьма приближенно описывали динамический процесс. Этот подход на первых этапах развития моделирования был вполне естественным – на этом пути удалось получить первые аналитические результаты, исследовать базовые динамические эффекты. Однако сразу же проявилась и ограниченная применимость такого упрощенного описания поведения динамической системы. Аналитические решения многих задач получались в виде экспоненциальных функций. Очевидно, что такие решения могут иметь приемлемую точность на ограниченном временном интервале.

Можно выделить основные направления дальнейшего развития динамического моделирования. Это учет в модели нелинейных свойств системы, уточнение модели за счет учета нескольких степеней свободы, учет реальных диссипативных характеристик системы. Даже в каждом направлении в отдельности при уточнении модели могут быть получены принципиально новые результаты по сравнению с первоначальным подходом, сводящим динамическую систему к линейной модели с одной степенью свободы.

При использовании квазилинейного подхода для учета нелинейных свойств системы уже при рассмотрении системы с одной степенью свободы удастся получить несколько принципиально новых эффектов – резонансы высшего порядка, наличие полигармонического отклика системы на моногармоническое внешнее воздействие, существование автоколебаний и параметрических колебаний ограниченной амплитуды и др.

При рассмотрении реальной динамической системы, оставаясь в рамках линейной модели удастся выявить взаимное влияние различных форм колебаний, взаимное усиление или гашение колебаний, соответствующих различным формам, влияние диссипации на динамические характеристики системы.

Одновременное включение в динамическую модель нелинейных свойств системы-прототипа, нескольких степеней свободы и нелинейных диссипативных свойств позволяет существенно повысить адекватность модели и расширить диапазон значений параметров, при которых модель обеспечивает приемлемую точность.

Схематически пространство динамического моделирования представлено на рис.

1.

В начале координат находится реальная динамическая система-прототип. Три оси координат соответствуют включению в модель нелинейных характеристик, числа степеней свободы, диссипативных характеристик. Ближе всего к реальной динамической системе находится континуальная существенно нелинейная модель с учетом реальной нелинейной диссипации. Этот уровень моделирования для подавляющего большинства реальных систем реализовать невозможно, поэтому приходится упрощать модель по некоторым или всем трем направлениям – числу степеней свободы, нелинейности, учету диссипативных характеристик. Наиболее простой уровень моделирования динамических систем находится на максимальном удалении в представленном трехмерном пространстве динамического моделирования от начала координат – объекта-прототипа - в этом пространстве динамического моделирования. Это простейшие линейные модели с одной степенью свободы без учета диссипации энергии. Такого рода классические модели вошли в учебники по динамике разнообразных систем. Промежуточные по сложности уровни динамического моделирования находятся в очевидном диапазоне от наиболее сложных нелинейных континуальных моделей с учетом нелинейной диссипации до простейших линейных моделей с одной степенью свободы без учета диссипации.

В представленном на рис. 1 пространстве динамического моделирования выделяются 45 точек, соответствующих пяти уровням моделей по числу степеней свободы, трем уровням по нелинейности и трем уровням по учету диссипации в моделях.

Некоторые типы моделей из представленного пространства динамического моделирования сведены в таблицу 1. Модели систематизированы по возрастанию сложности. Из возможных 45 вариантов в представленную таблицу включены только те сочетания характеристик динамических моделей, для которых получены обозримые количественные и качественные результаты.

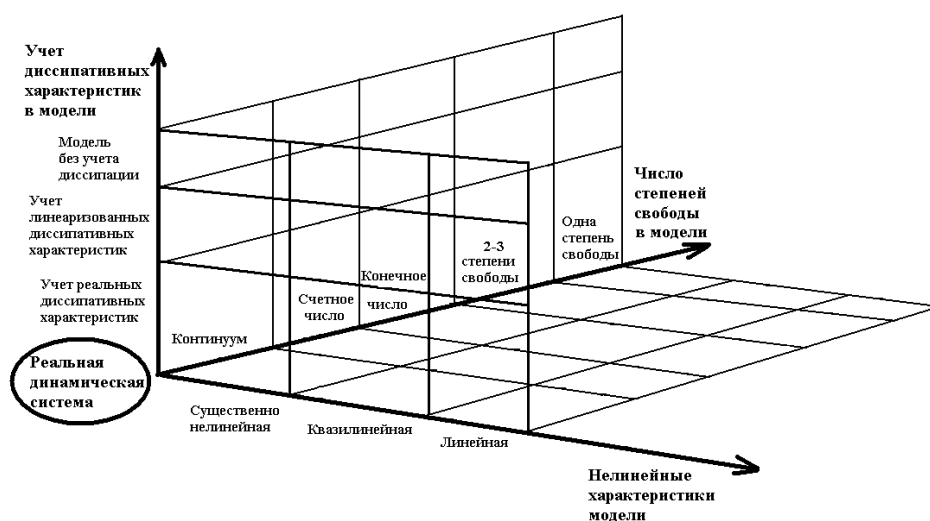


Рис. 1. Пространство динамического моделирования

Таблица 1. Типы моделей динамического моделирования

Нелинейные характеристики модели	Число степеней свободы	Учет диссипативных характеристик	Реализация модели	Результаты моделирования
Линейные модели	Одна	Модель без учета диссипации	Есть аналитическое решение	Качественный анализ и количественное аналитическое решение. Ограниченная применимость ввиду линейности модели.
Линейные модели	Одна	Учет линеаризованных диссипативных характеристик	Есть аналитическое решение	Качественный анализ и количественное аналитическое решение. Ограниченная применимость ввиду линейности модели.
Линейные модели	Одна	Учет реальных нелинейных диссипативных характеристик	Численно для учета реальных диссипативных характеристик.	Численный анализ простейшей линейной системы с реальными нелинейными диссипативными характеристиками. Ограниченная применимость ввиду линейности модели по основным переменным.
Линейные модели	Несколько степеней свободы	Модель без учета диссипации	Есть аналитическое решение. Целесообразно	Качественный анализ и количественное аналитическое решение. Учет взаимодействия между

			а численная реализация для представления результатов.	колебаниями по различным степеням свободы. Ограниченная применимость ввиду линейности модели.
Линейные модели	Несколько степеней свободы	Учет линеаризованных диссипативных характеристик	Есть аналитическое решение. Целесообразна численная реализация для представления результатов.	Качественный анализ и количественное аналитическое решение. Учет взаимодействия между колебаниями по различным степеням свободы. Ограниченная применимость ввиду линейности модели.
Линейные модели	Несколько степеней свободы	Учет реальных диссипативных характеристик	Численно для учета реальных нелинейных диссипативных характеристик.	Численный анализ простейшей линейной системы с реальными нелинейными диссипативными характеристиками. Учет взаимодействия между колебаниями по различным степеням свободы. Ограниченная применимость ввиду линейности модели.
Квазилинейные модели	Одна	Модель без учета диссипации	Есть приближенное аналитическое решение с помощью асимптотических методов	Качественный анализ и приближенное количественное аналитическое решение. Более широкая, но ограниченная применимость ввиду квазилинейного характера модели.
Квазилинейные модели	Одна	Учет линеаризованных диссипативных характеристик	Есть приближенное аналитическое решение с помощью асимптотических методов	Качественный анализ и приближенное количественное аналитическое решение. Более широкая, но ограниченная применимость ввиду квазилинейного характера модели.
Квазилинейные модели	Одна	Учет реальных нелинейных диссипативных характеристик	Численно для учета реальных диссипативных характеристик.	Численный анализ достаточно простой квазилинейной системы с реальными нелинейными диссипативными характеристиками. Ограниченная применимость ввиду квазилинейности



				модели по основным переменным.
Квазилинейные модели	Несколько степеней свободы	Модель без учета диссипации	Возможно приближенное аналитическое решение с помощью асимптотических методов. Целесообразна численная реализация для представления результатов.	Качественный анализ и количественное приближенное аналитическое решение с помощью асимптотических методов. Учет взаимодействия между колебаниями по различным степеням свободы. Ограниченная применимость ввиду квазилинейности модели по основным переменным.
Квазилинейные модели	Несколько степеней свободы	Учет линеаризованных диссипативных характеристик	Возможно приближенное аналитическое решение с помощью асимптотических методов. Целесообразна численная реализация для представления результатов.	Качественный анализ и количественное приближенное аналитическое решение с помощью асимптотических методов. Учет взаимодействия между колебаниями по различным степеням свободы. Ограниченная применимость ввиду квазилинейности модели по основным переменным.
Квазилинейные модели	Несколько степеней свободы	Учет реальных диссипативных характеристик	Численно для учета реальных нелинейных диссипативных характеристик.	Численный анализ относительно сложной квазилинейной системы с реальными нелинейными диссипативными характеристиками. Учет взаимодействия между колебаниями по различным степеням свободы. Ограниченная применимость ввиду квазилинейности модели.
.....	.....	.....	.....	.....
Существенно нелинейные модели	Одна	Учет реальных нелинейных диссипативных	Численно-аналитический метод [3]	Возможность исследования многих нелинейных эффектов, странный аттрактор [1], [2]

.....	.....	характеристик	.....	.....
Существенно нелинейные модели	Несколько степеней свободы	Учет реальных диссипативных характеристик	Численно-аналитический метод [3]	Возможность исследования многих нелинейных эффектов, динамический хаос, синхронизация, взаимное нелинейное влияние колебаний по различным степеням свободы [3]
.....	.....	.....	.....	.....

В качестве примера обнаруживаемых нетривиальных решений на рис. 2 приводятся фазовые траектории и один период решения существенно нелинейной системы с отрицательной жесткостью с двумя степенями свободы, определяемой системой уравнений вида [3]

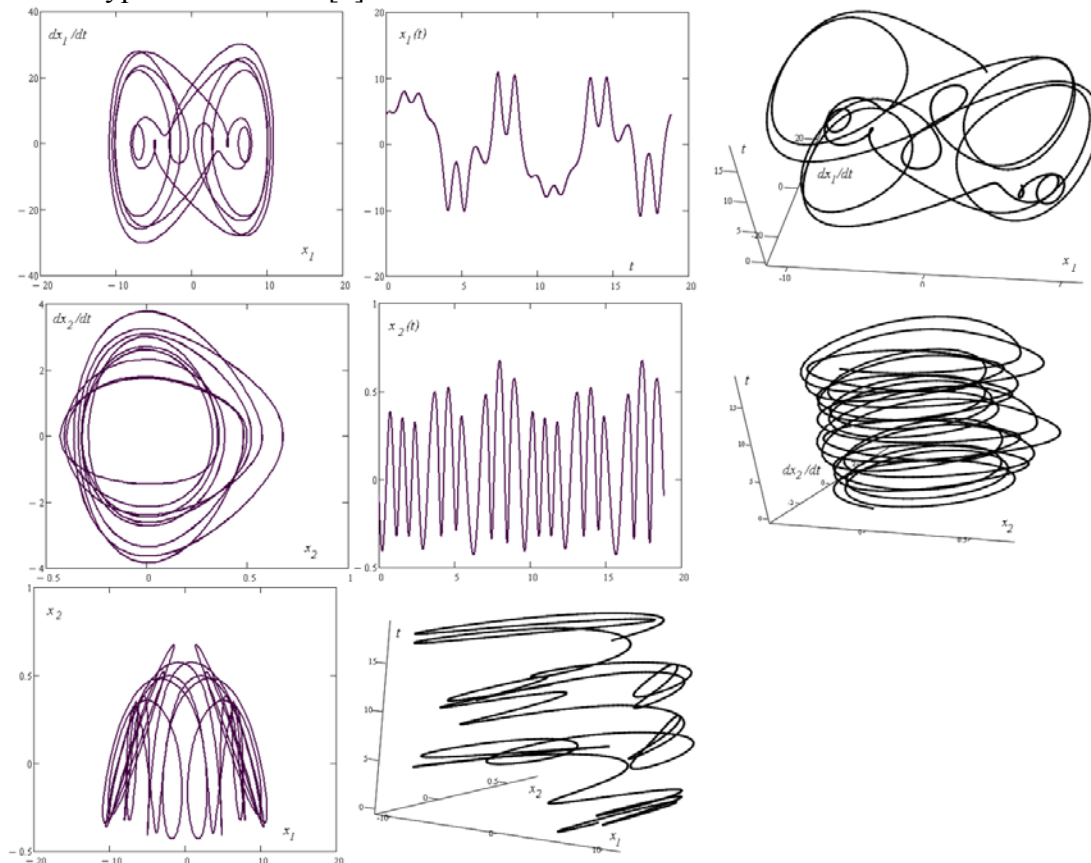


Рис. 2. Фазовые траектории и периодические решения существенно нелинейной динамической системы (1) с двумя степенями свободы.

$$\ddot{x}_j(t) + j^2(0.001j^2 - 0.011)x_j(t) + x_j(t) \frac{j^2}{4} \left( \sum_{m=1}^2 m^2 x_m^2(t) \right) + \delta_1 \dot{x}_j(t) = Q_j(t), \quad j = 1, 2. \quad (1)$$

Такого рода уравнения возникают при анализе вынужденных колебаний динамических систем, имеющих несколько устойчивых положений равновесия, в фазовом пространстве которых есть несколько особых точек типа центр. Приводимые

результаты получены при реализации численно-аналитического метода построения и анализа устойчивости периодических решений существенно нелинейных динамических систем [3]. Отмечается сложный полигармонический характер полученного решения. При других значениях параметров системы (1) возможен детерминированный хаос. На рис. 3 представлен пример хаотического поведения решения в детерминированной системе с одной степенью свободы вида [1], [3]

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} - 10x + \frac{dx}{dt} + 100x^3 = W \cos 3.76t \quad (2)$$

Подобное поведение решения проявляется и в некоторых диапазонах значений параметров при численном исследовании поведения решения существенно нелинейной динамической системы с двумя степенями свободы (1).

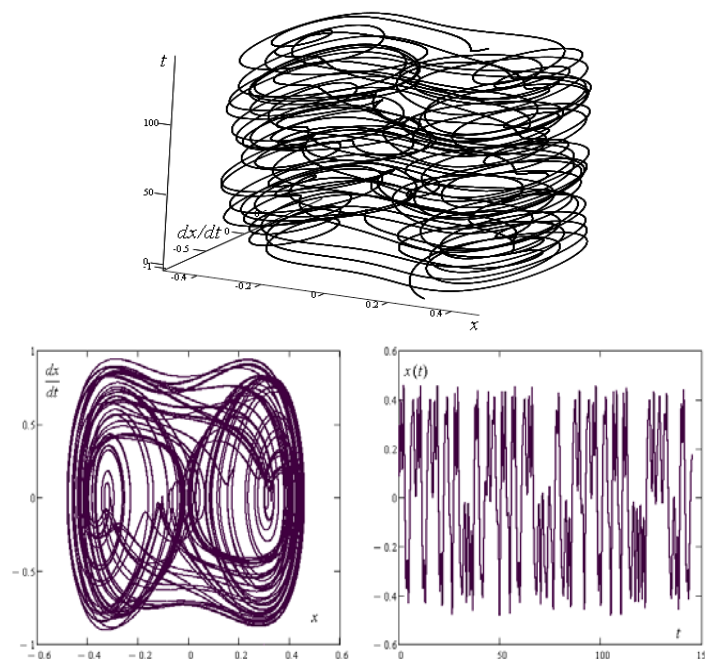


Рис. 3. Пример хаотического поведения решения детерминированной системы (2)

#### Литература.

1. P.J.Holmes. A nonlinear oscillator with a strange attractor. Philosophical Transaction of the Royal Society. London, 292, pp. 419-448.
2. Крюков Б.И. Вынужденные колебания существенно нелинейных систем.- М.: Машиностроение, 1984. 216 с.
3. Петров Л.Ф. Методы динамического анализа экономики. - М.: Инфра-М, 2010, 239 с. ISBN 978-5-16-004135-3.

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ

Печерская Е.А., Печерская Р.М., Попченков Д.В.  
Пенза, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

Рассмотрено применение инструментов контроля качества для установления причин, влияющих на показатели качества тонкопленочных тензорезисторов. Предложена методика принятия решения о выборе оптимального технологического процесса, основанная на критерии среднего выигрыша.

**The method for determining the optimum process for example manufacturing of thin film strain gages. Pecherskaya Ye.A., Pecherskaya R.M., Popchenkov D.V.**

The application of quality control tool to establish the causes that affect the quality of thin-film strain gauges is considered. The technique of making a decision about the choice of workflow based on the criteria of normal gain is proposed.

Операции технологического процесса заключают в себе факторы – причины, влияющие на показатели качества металлопленочных чувствительных элементов. В работе [1] систематизированы показатели качества тензорезисторов по следующим критериям: диэлектрическим параметрам (пробивное напряжение, сопротивление изоляции), метрологическим характеристикам (диапазоны измерения, параметры функции преобразования, основные погрешности), топологическому исполнению (дефекты, присущие тензорезисторам различной сложной формы), внешнему виду напыленных слоев (дефекты диэлектрической пленки, остатки фоторезиста, дефекты резисторов, дефекты термокомпенсационного резистора, дефекты контактных площадок, следы от зондов). Выделение четырех указанных критериев позволяет систематизировать процесс выявления дефектов, который соответственно включает в себя контроль диэлектрических параметров, метрологических характеристик, внешнего вида напыленных слоев.

Для контроля качества продукции, а также технологических процессов применяют статистические методы. Методология Всеобщего Управления Качеством (Total Quality Management, TQM) базируется на семи известных основных методах [2]: диаграмма Парето; диаграмма Исикавы; расслаивание (стратификация); контрольные листки; гистограммы; графики; контрольные карты (Шухарта).

Перечисленные инструменты контроля качества базируются на использовании численных данных. Однако, информация о качестве не всегда может быть получена в количественном выражении, часто для выражения используют лингвистические переменные, и для принятия решений в этом случае используют инструменты управления качеством (иногда их называют новые инструменты управления качеством): диаграмма сродства; диаграмма (график) связей; древовидная диаграмма (дерево решений); матричная диаграмма (таблица качества); стрелочная диаграмма; диаграмма процесса осуществления программы; матрица приоритетов.

С целью совершенствования показателей качества необходимо оценить уровень влияния каждой из технологических операций на конкретные показатели качества. Это возможно посредством статистической обработки информации о дефектах, обусловленных отклонением условий технологических операций от требуемых, недоработкой технологических процессов. В данной работе для решения указанной задачи применена методология систем качества, проанализированы и модернизированы ее основные инструменты применительно к технологическим процессам, а также использована методология функционального и метрологического анализа [3].

С целью установления причинно – следственных связей, влияющих на показатели качества металлопленочного чувствительного элемента, составлена диаграмма Исикавы, приведенная на рисунке 1. Предложенная диаграмма учитывает подразделение причин дефектов на пять крупных групп: материалы, измерение и контроль параметров, технологические процессы, внешние условия, человеческий

фактор. В свою очередь, указанные факторы рассматриваются более детально в зависимости от уровня их значимости.

Совершенствованию показателей качества способствует оптимизация технологических процессов по технико-экономическим показателям. В частности, в работе [4] изложена методика выбора оптимального соотношения толщин пленок при формировании гетерогенной структуры тензорезистора. Для выполнения измерений и контроля параметров, обработки экспериментальных данных используется интеллектуальная система поддержки исследований материалов [5, 6], которая также служит для принятия решений о необходимости коррекции параметров в случае их отклонения за пределы допустимых диапазонов.

В общем случае изготовление тензорезисторов может осуществляться посредством различных технологий, в результате чего достигаются разные показатели качества. Это указывает на целесообразность сравнение технологических процессов по технико – экономическим показателям. В качестве экономических показателей выступают затраты на изготовление изделия.

Для выбора оптимального технологического процесса могут быть применены методы векторной оптимизации, методы, основанные на теории нечетких множеств и другие, применяемые при системном анализе сложных процессов. Ниже рассмотрено использование критерия среднего выигрыша, суть которого изложена, например, в [7, 8].

Постановка задачи. Имеются альтернативные технологические процессы  $a_l$ , каждый из которых предназначен для изготовления тензорезистора. Известны показатели качества  $x_{il}$ , характеризующие целевой эффект при достижении значения  $i$  – го показателя качества при изготовлении тензорезистора посредством  $l$  – го технологического процесса. Показатели качества представлены в нормированном виде в относительных единицах.

Тензорезистор в общем случае характеризуется показателями качества в количестве  $N$  (порядковый номер показателя качества обозначим  $i$ ,  $i=1, \dots, N$ ), индекс  $l$  в обозначении показателя качества означает, что тензорезистор получен посредством  $l$  – го технологического процесса. Необходимо выбрать процесс, имеющий максимальное значение эффективности.

Методика выбора оптимального процесса.

1 Составление матрицы эффективности измерительных процессов (таблица 1), в которую также занесены значения соответствующих показателей затрат  $g_l$ .

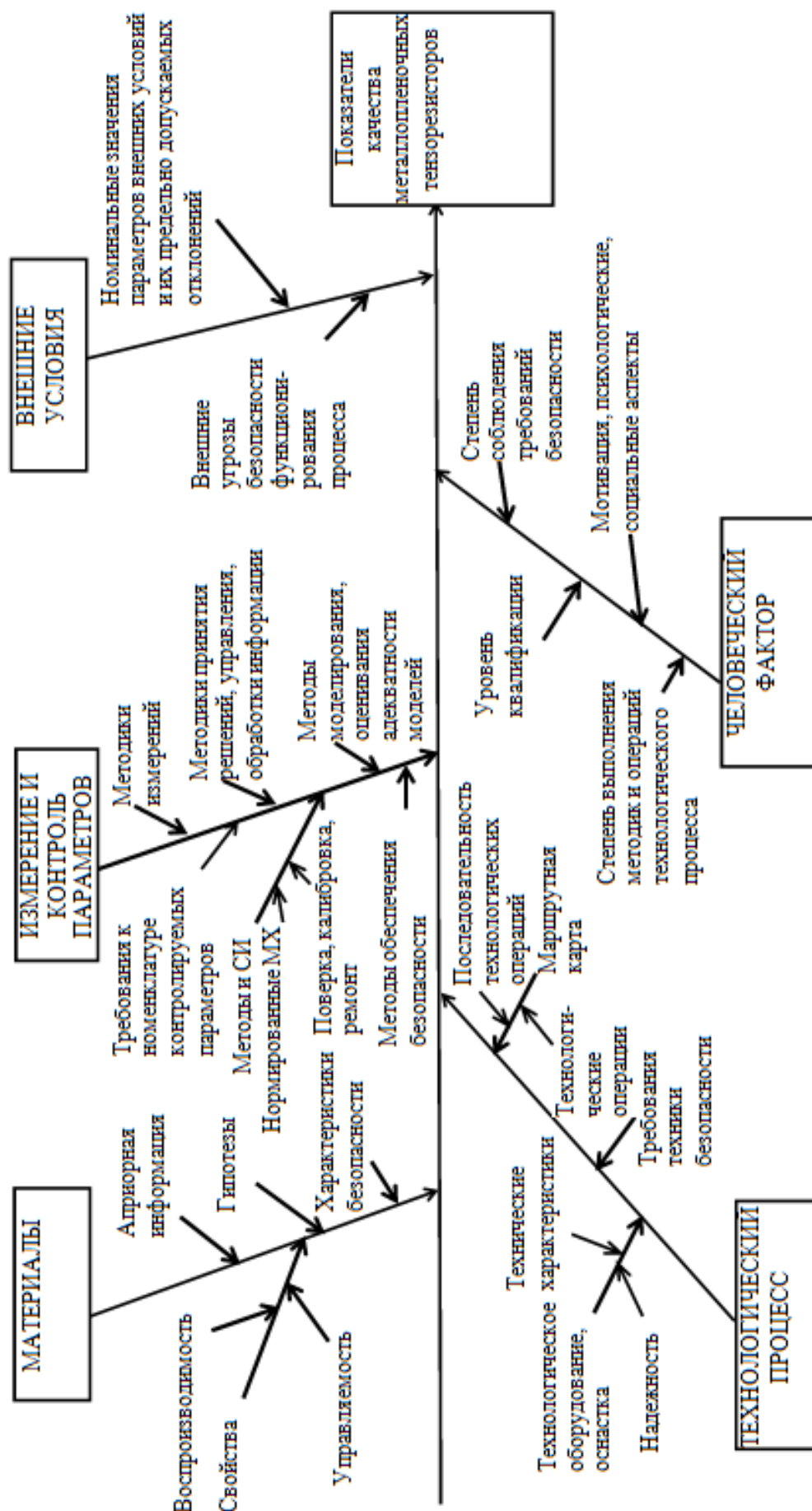


Рисунок 1 - Диаграмма Исикавы для установления причинно - следственных связей, влияющих на показатели качества металлопластического чувствительного элемента

Таблица 1 – Матрица эффективности и затрат технологических процессов

$a_l$	$x_{il}$			$g_l$
	$x_{1l}$	$x_{2l}$	$x_{3l}$	
$a_1$	2,093	2,093	3,602	0,453
$a_2$	1,452	1,125	1,087	0,280
$a_3$	2,941	1,800	1,538	0,405
$a_4$	5,005	3,600	6,115	1,000

Критерий среднего выигрыша предполагает задание весовых коэффициентов  $p_i$ , обозначающих уровень значимости  $i$ -го показателя качества.

2 Задание весовых коэффициентов  $p_i$  в результате ранжирования показателей качества изделия, может назначаться экспертными методами. В частном случае, если все показатели качества равнозначны, то  $p_1 = \dots = p_i = \dots = p_N = \frac{1}{N}$  и критерий среднего выигрыша вырождается в критерий Лапласа.

3 Оценивание эффективностей технологических процессов по целевому эффекту.

Для каждого альтернативного технологического процесса  $a_l$  производится расчет эффективности  $K(a_l)$  по формуле:

$$K(a_l) = \sum_{i=1}^N p_i x_{il}, \quad l = 1, \dots, L. \quad (1)$$

В рассматриваемом примере, если  $p_1 = 0,75$ ,  $p_2 = p_3 = 0,125$ , то  $K_1 = 0,75 \cdot 2,093 + 0,125(2,093 + 3,602) = 1,570$ , аналогично  $K_2 = 1,365$ ;  $K_3 = 2,623$ ;  $K_4 = 4,967$ .

4 Определение оптимального технологического процесса по целевому эффекту, имеющего эффективность  $K_{\text{ОПТ}}$ , удовлетворяющую выражению:

$$K_{\text{ОПТ}} = \max_l \sum_{i=1}^N p_i x_{il}, \quad l = 1, \dots, L. \quad (2)$$

В анализируемом случае  $K_{\text{ОПТ}} = 4,967$ , следовательно, по показателям качества (по целевому эффекту) оптимальным принимается технологический процесс  $a_4$ .

5 Учет влияния фактора затрат  $g_l$ . Данные, необходимые для расчета функции агрегирования, учитывающей целевой эффект и фактор затрат, сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Значения эффективностей и фактора затрат технологических процессов

$a_l$	$K(a_l)$	$g_l$
$a_1$	1,570	0,453
$a_2$	1,365	0,280

$a_3$	2,623	0,405
$a_4$	4,967	1,000

Агрегирующая функция  $K(a_l, g_l)$  определяется в виде отношения эффективности  $K(a_l)$  к фактору затрат  $g_l$ :

$$K(a_l, g_l) = \frac{K(a_l)}{g_l}. \quad (3)$$

Для рассматриваемого примера получены следующие значения  $K(a_1, g_1) = \frac{2,47}{0,50} = 3,468$ ,  $K(a_2, g_2) = 4,875$ ,  $K(a_3, g_3) = 6,476$ ,  $K(a_4, g_4) = 4,967$ .

6 Определение оптимального технологического процесса по целевому эффекту и фактору затрат, имеющего  $K(a_l, g_l)_{\text{опт}}$ :

$$K(a_l, g_l)_{\text{опт}} = \max_l \frac{K(a_l)}{g_l}. \quad (4)$$

Поскольку  $K(a_3, g_3)_{\text{опт}} = 6,476$ , то по технико – экономическим показателям оптимальным технологическим процессом является  $a_3$ .

Изложенную методику совместно с применением инструментов контроля качества целесообразно использовать для решения задач оптимизации технологических процессов.

### Литература.

1. Печерская Е.А. Систематизация показателей качества высокотемпературных тонкопленочных тензорезисторов / Печерская Е.А., Попченков Д.В., Соловьев В.А. // Инновационные информационные технологии. 2012 - № 1. - С. 302 - 305.
2. Глудкин О.П. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов / О.П.Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 600 с.
3. Печерская Е.А. Применение методологии функционального и метрологического анализа к качеству исследования материалов микро- и наноэлектроники / Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2007. Т. 7. № 2. - С. 94 - 98.
4. Печерская Е.А. Методика выбора оптимального соотношения толщин диэлектрических пленок гетерогенной структуры / Печерская Е.А., Печерская Р.М., Аношкин Ю.В., Попченков Д.В.// Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2011. № 1. С. 227 - 229.
5. Печерская Е.А. Структура интеллектуальной системы поддержки исследований параметров сегнетоэлектрических материалов / Е.А.Печерская, А.М.Метальников, А.В.Бобошко // Нано- и микросистемная техника. 2011 - № 6. – С.21 – 24.
6. Печерская Е.А. Методики принятия решений как составная часть интеллектуальной системы поддержки исследований материалов функциональной электроники / Е.А.Печерская, Р.М.Печерская, Ю.В.Аношкин, Д.В.Попченков //



Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2011. № 1. С. 229 - 231.

7. Анфилатов, В.С. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / В.С.Анфилатов, А.А.Емельянов, АА.Кукушкин; под ред. А.А.Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 368 с.

8. Печерская Е.А. Модификация критерия среднего выигрыша для выбора оптимальной измерительной установки // Математическое и компьютерное моделирование естественнонаучных и социальных проблем: сб. статей III Междунар. науч. – техн. конф. молодых специалистов, аспирантов и студентов. – Пенза, 2009. - С. 88 - 91.

## МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ОСТАТОЧНОЙ ПОЛЯРИЗОВАННОСТИ ОТ ЧИСЛА ЦИКЛОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Печерская Е.А., Гладков И.М.

*Пенза, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»*

Предложена модель зависимости остаточной поляризованности сегнетоэлектрических материалов от числа циклов переключения. Модель может использоваться для прогнозирования критического числа циклов переключения поляризации.

### **Model dependence of the residual polarization of the number of switching cycles. Pecherskaya Ye.A., Gladkov I.M.**

The model based residual polarized ferroelectric materials on the number of switching cycles is proposed. The model can be used to predict the critical number of cycles of polarization switching.

Создание микросхем энергонезависимой памяти - одно из активно развивающихся направлений использования сегнетоэлектрических пленок в низкосимметричной фазе [1]. Таким запоминающим устройствам присуща высокая степень интеграции, поскольку минимальный размер домена значительно ниже предела разрешения процессов литографии.

Запись информации осуществляется посредством переключения спонтанной поляризации доменов внешним электрическим полем поляризации (в двоичном коде два противоположных направления вектора поляризации соответствуют значениям 0 или 1). К достоинствам подобных устройств, описанных, например, в [1, 2] относятся длительные времена энергонезависимого хранения информации (не менее 5 лет); неизменность параметров при очень большом числе циклов переключения поляризации (не менее  $10^{10} - 10^{12}$  циклов). Принципы формирования сегнетоэлектрических запоминающих устройств изложены, например, в работе [3]. Явления диэлектрического старения и усталости сегнетоэлектрических материалов приводят к временной нестабильности их диэлектрических параметров. В настоящей работе на основе исследования зависимостей поляризованности от напряженности электрического поля  $P(E)$  при различных значениях температуры  $T$  предложена методика расчета критического числа циклов переключения поляризации при выполнении условия постоянной частоты переключения.

Измерения полевых зависимостей диэлектрических параметров производились автоматизированной установкой, реализующей модифицированный метод Соьера – Тауэра [4, 5]. Применение методологии функционального и метрологического анализа к качеству исследования материалов микро- и наноэлектроники изложено в работе [6], что позволило выявить источники возникновения методических погрешностей активного диэлектрика [7, 8] и инструментальные составляющие погрешности измерения, присущие автоматизированной измерительной установке [9].

Для решения прикладных задач использования активных диэлектриков в нано- и микросистемной технике необходимо исследование временной стабильности их диэлектрических параметров, в первую очередь, остаточной поляризованности  $P_r$ , от величины которой зависит коэффициент прямоугольности петель гистерезиса  $K_{\Pi}$ , определяемый известной формулой:

$$K_{\Pi} = \frac{P_r}{P_s},$$

где  $P_s$  - поляризованность насыщения.

Ниже представлена функциональная модель временной нестабильности остаточной поляризации. Она разработана на основе эмпирико-теоретического моделирования зависимости остаточной поляризованности от числа циклов переключения  $P_r(\lg N)$  прямыми линиями (см. рисунок 1) в соответствии со следующими выражениями:

$$P_r = \begin{cases} c, & \text{если } 0 < N \leq N_1, \\ a + b \cdot \lg N, & \text{если } N_1 < N \leq N_2, \\ e + v \cdot \lg N, & \text{если } N_2 < N \leq N_3; \end{cases} \quad (1)$$

где значения коэффициентов  $c$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $e$ ,  $v$  в аппроксимирующих уравнениях прямых выбираются в соответствии с методом наименьших квадратов. Вычисление  $N_1$  и  $N_2$  осуществляется итерационно таким образом, чтобы на интервалах от 0 до  $N_1$ ; от  $N_1$

до  $N_2$  и от  $N_2$  до  $N_3 = N_{max}$  функция одной переменной  $F_1(c) = \sum_{i=1}^{n_1} (P_{r1i} - (c))^2$  и

функции двух переменных  $F_2(a, b) = \sum_{i=1}^{n_2} (P_{r2i} - (a + b \cdot \lg N))^2$ , где  $N \in [N_1, N_2]$

$F_3(e, v) = \sum_{i=1}^{n_3} (P_{r3i} - (e + v \cdot \lg N))^2$ , где  $N \in [N_2, N_3]$  принимали наименьшие

значения, где  $n_1$  - количество точек на интервале области определения аргумента  $[0, N_1]$ ;  $n_2$  - количество точек на интервале области определения аргумента  $N \in [N_1, N_2]$ ;  $n_3$  - количество точек на интервале области определения аргумента  $N \in [N_2, N_3]$ ;  $P_{r1i}$ ,  $P_{r2i}$ ,  $P_{r3i}$  - множества значений остаточной поляризации на соответствующих интервалах, обозначенных нижними цифровыми индексами.

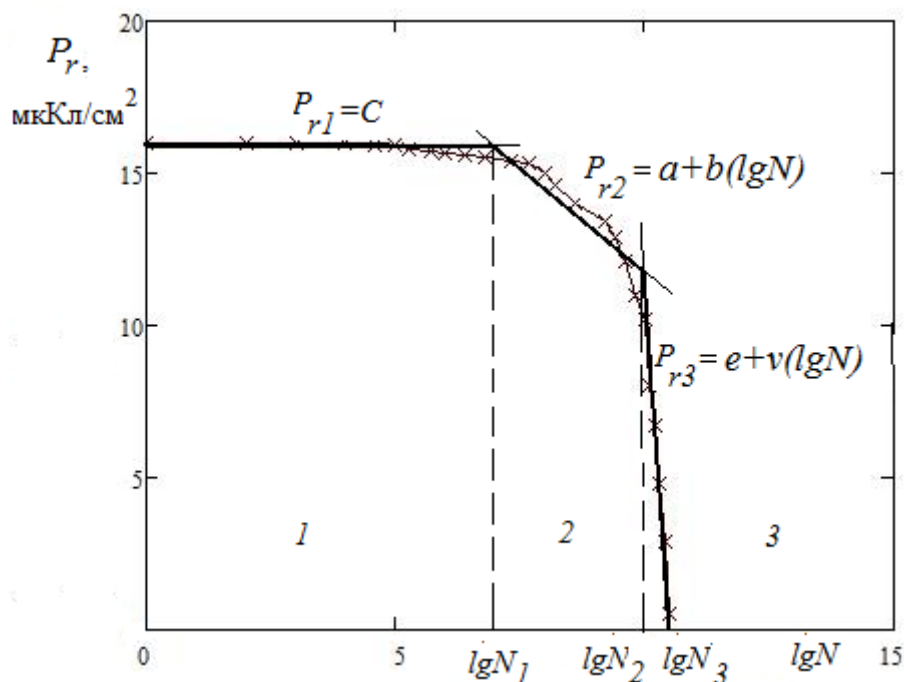


Рисунок 1 – Кусочно-линейная аппроксимация зависимости  $P_r(\lg N)$  для тонких пленок  $PbTiO_3$  (при температуре  $T = 470^\circ C$ , напряженности электрического поля  $E = 100 \text{ кВ/см}$ )

В настоящей работе рассмотрен частный случай диэлектрической усталости, соответствующий наиболее напряженным условиям эксплуатации исследуемого образца в режиме непрерывного переключения. Подобная ситуация приводит к наибольшей диэлектрической усталости материала, что подтверждают эксперименты, показывающие восстановление диэлектрических свойств материала в условиях отсутствия циклов переключения.

Поскольку за каждый период  $T$  синусоидального внешнего воздействия на исследуемый образец (по модифицированной схеме Соьера - Тауэра) имеет место цикл переключения (измеряется петля гистерезиса зависимости  $P(E)$ ), то количество циклов переключения  $N$  происходит в непрерывном режиме за время  $t_x$ , зависящее от частоты  $f$  воздействующего сигнала:

$$t_x = NT = \frac{N}{f}.$$

Тогда аналитическая модель зависимости  $P_r(f, t_x)$  описывается следующей системой:

$$P_r(f, t_x) = \begin{cases} c, & \text{если } 0 < t_x \leq \frac{N_1}{f}, \\ a + b \cdot \lg(f \cdot t_x), & \text{если } \frac{N_1}{f} < t_x \leq \frac{N_2}{f}, \\ e + v \cdot \lg(f \cdot t_x), & \text{если } \frac{N_2}{f} < t_x \leq \frac{N_3}{f}; \end{cases} \quad (2)$$

где смысл коэффициентов  $a, b, c, e, v$  такой же, как и в формуле (1).

В общем виде функциональная модель временной нестабильности в виде функции  $P_r(t_x)$  при некоторой постоянной частоте  $f$  изображена на рисунке 2.

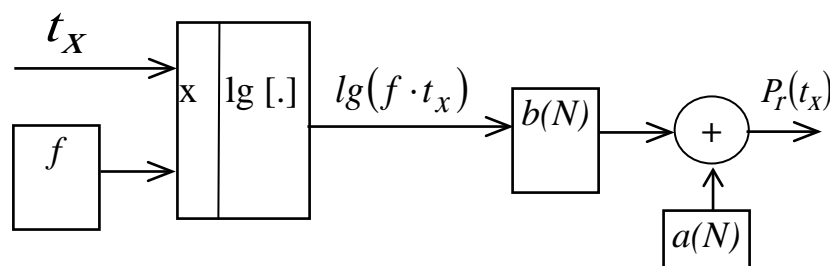


Рисунок 2 - Функциональная модель временной нестабильности остаточной поляризованности в виде функции  $P_r(t_x)$

Коэффициенты  $a$  и  $b$  зависят от количества циклов переключения  $N$ , и согласно формулам (1) и (2) в первой области (обозначение областей аппроксимации соответствует рис. 1)  $b = 0$ , в третьей области  $a = e$ ,  $b = v$ .

Предложенная модель временной нестабильности остаточной поляризованности описывается логарифмической функцией. Модель использована при разработке методики контроля временной нестабильности полевых зависимостей диэлектрических параметров активных диэлектриков, обусловленной их усталостью.

### Литературы

1 Воротилов К. А. Сегнетоэлектрические запоминающие устройства: перспективные технологии и материалы / Воротилов К. А., Сигов А. С. // Нано- и микросистемная техника, 2008. - № 10. - С. 30-42.

2 Сигов А. С. Сегнетоэлектрические тонкие пленки в микроэлектронике / А. С. Сигов // Соросовский образовательный журнал. 1996. - № 10. - С. 83-91. 35.

3 Воротилов К.А. Процессы формирования сегнетоэлектрических запоминающих устройств FRAM / К.А.Воротилов, В.А.Васильев, А.С.Сигов, А.А.Романов, А.Д.Сигарев, С.И.Земцовский, П.Р.машевич, В.А.Джхунян, О.М.Жигалина // Материалы VI Международной научно-технической конференции INTERMATIC – 2008, Москва, 2008. – С.29 – 34.

4 Печерская Е.А. Применение метода Соьера – Тауэра и его модификаций для измерения электрических параметров сегнетоэлектриков / Измерительная техника, 2007. - № 10. - С. 54-58.

5 Pecherskaya E.A. The use of the Sawyer – tower method and its modifications to measure the electrical parameters of ferroelectric materials // Measurement Techniques. 2007. - Т. 50. - № 10. - С. 1101-1107.

6 Печерская Е.А. Применение методологии функционального и метрологического анализа к качеству исследования материалов микро- и наноэлектроники // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2007 - № 2. - С. 94-98.

7 Печерская Е.А. Метрологические аспекты модели активного диэлектрика / Е.А.Печерская, Д.В.Рябов, Н.Д.Якушова // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий, 2012. - № 1.- С. 208 – 213.

8 Печерская Е.А. Метрологические аспекты исследования активных диэлектриков для микро- и микроиндустрии // Нано- и микросистемная техника. 2007. - № 7. - С. 41-44.

9 Печерская Е.А. Метрологический анализ установки для измерений электрофизических свойств сегнетоэлектрических образцов с линейными размерами микрометрового диапазона //Нано- и микросистемная техника. 2007. - № 12. - С. 43-47.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ IMS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОРНОГО АНАЛИЗА СЕТЕЙ

Пономарев Д.Ю.

*Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева,  
Красноярск*

Основным направлением развития инфокоммуникационных сетей является построение сетей IMS. Поэтому оценка качества обслуживания в данной сети является актуальной задачей, но ее решение усложняется наличием большого числа информационных потоков и сложными топологиями сетей. В данной работе представлен тензорный подход к решению задачи минимизации среднего времени задержки как показателя качества обслуживания QoS в сети IMS.

### **Tensor analysis of networks for the IMS optimization. Ponomarev D.**

The main trend of communications development is an IMS network. Therefore, estimation of the quality of service at IMS is one of actual tasks. This paper presents method of tensor analysis for minimization of an average delay that is one of characteristics of QoS for IMS.

Современные сети связи обеспечивают потребности современного общества в предоставлении различных информационных услуг. Необходимость обеспечения обработки гетерогенных информационных потоков приводит к возникновению технологий, позволяющих решать задачи связанные с реализацией возможности обработки разнородной информации в единой инфокоммуникационной сети. При этом естественно, что к таким сетям будут предъявляться повышенные требования как по пропускной способности, с целью предоставления широкополосных услуг, так и по уровню качества обслуживания информационных потоков в данной сети связи.

Достигнутый уровень развития современных сетей и систем связи позволяет говорить о практически повсеместном использовании протокола Интернет (IP – Internet Protocol) для построения современных инфокоммуникаций, что обусловлено устранением ряда ограничений данной технологии: поддержка качества обслуживания (QoS – quality of service), увеличение адресного пространства и др. Поэтому, данный протокол становится основным, а концепция построения сетей следующего поколения (NGN – Next generation networks), обеспечивающая требуемую гибкость при внедрении

новых услуг по обработке информационных потоков, получила название IMS (IP Multimedia Subsystem – система обработки разнородных информационных потоков с использованием IP) [1]. В рамках данной концепции происходит переход от традиционной вертикальной схемы предоставления услуг сети к горизонтальной, что позволяет решать задачи по внедрению новых услуг и переходу на новые технологии транспортной сети на качественно новом уровне.

Следует отметить, что создание технологически новых сетей требует решения задач управления распределением информационных потоков в узлах сети, а также связанной с этим задачи поддержки заданного уровня качества обслуживания. Данные задачи являются наиболее актуальными в современных инфокоммуникационных сетях [2], но их решение связано со значительными сложностями как по конкретной постановке задачи и определении исходных данных, так и по вычислительным затратам. Трудность решения данной задачи для глобальных сетей повышается в связи с использованием различных технологий инфокоммуникационных сетей, наличием различного уровня сложности топологий сетей, присутствием неоднородности информационной нагрузки, необходимостью обеспечения различных уровней качества обслуживания для разных информационных потоков и т.д.

В данной работе предлагается для решения задачи обеспечения качества обслуживания и управления распределением потоков в сети IMS использовать тензорный анализ сетей. Ранее [3] было показано, что определяя соответствие между нагрузками исходной  $\bar{\rho}$  и примитивной  $\bar{\rho}'$  сетей через матрицу перехода  $\bar{A}$ , как  $\bar{\rho}' = \bar{A}\bar{\rho}$  и используя известное соотношение для загрузки:  $\lambda = \mu\rho$ , где  $\lambda$  - интенсивность поступления пакетов, а  $\mu$  - интенсивность обслуживания пакетов в узле сети, можно записать:  $\bar{A}\bar{\rho}\bar{\lambda}' = \bar{\rho}\bar{\lambda}$ . Далее, находя соотношение между нагрузками примитивной ( $\bar{\lambda}'$ ) и исходной ( $\bar{\lambda}$ ) сетей, как  $\bar{\lambda}' = (\bar{A}^T)^{-1}\bar{\lambda}$ . Следовательно,  $(\bar{A}^T)^{-1}\bar{\lambda} = \bar{\mu}'\bar{A}\bar{\rho}$ . Окончательно, уравнение будет иметь вид:

$$(\bar{A}^T \bar{\mu}' \bar{A}) \bar{\rho} = \bar{A}^T \bar{\lambda}'. \quad (1)$$

Далее, решая полученное уравнение относительно  $\bar{\rho}$ , находим коэффициенты использования узлов в сети ( $\bar{\rho}_{\text{узлов}} = \bar{A}\bar{\rho}$ ), что позволяет определить качественные показатели (например, время задержки для маршрута или для всей сети будет определяться, как:  $T = \sum_{i=1}^{\alpha} T_i$ , где  $\alpha$  – число узлов сети;  $T_i = f(\rho)$  – среднее время задержки в отдельной системе).

В качестве исходных данных, для определения существующих потоков между узлами сети IMS, при решении задачи распределения потоков можно взять модель распределения трафика, предложенную в [4]. Основными составляющими сети IMS (рис.1) являются функциональные объекты управления соединениями (CSCF – Call Session Control Function): прокси P-CSCF (Proxy-CSCF), взаимодействия I-CSCF (Interrogating-CSCF) и обслуживания S-CSCF (Serving-CSCF); серверы приложений, присутствия и управления базами данных; функциональные объекты распределения ресурсов среды (MRF-Media Resource Function): управления MRFC (MRF Controller) и обработки MRFP (MRF Processor).

Следует отметить, что данная структура сети не является жестко заданной и может изменяться в процессе эксплуатации с целью обеспечения максимальной пропускной способности при заданных уровнях обслуживания гетерогенного трафика. Кроме того, наличие или отсутствие функциональных элементов системы управления будет определяться как необходимостью решения определенных задач при предоставлении инфокоммуникационных услуг, так и продолжающейся разработкой стандартов сети IMS.

Взаимодействие P-CSCF, S-CSCF и MRF позволяет определить политику обработки информации на том или ином маршруте и обеспечить заданное качество обслуживания для определенного информационного потока. Это достигается управлением маршрутизаторами опорной сети. В зависимости от поставленной задачи и реализуемой на сети концепции обеспечения поддержки механизмов QoS возможны различные варианты использования ресурсов опорной сети для передачи и обработки информационных потоков различного типа.

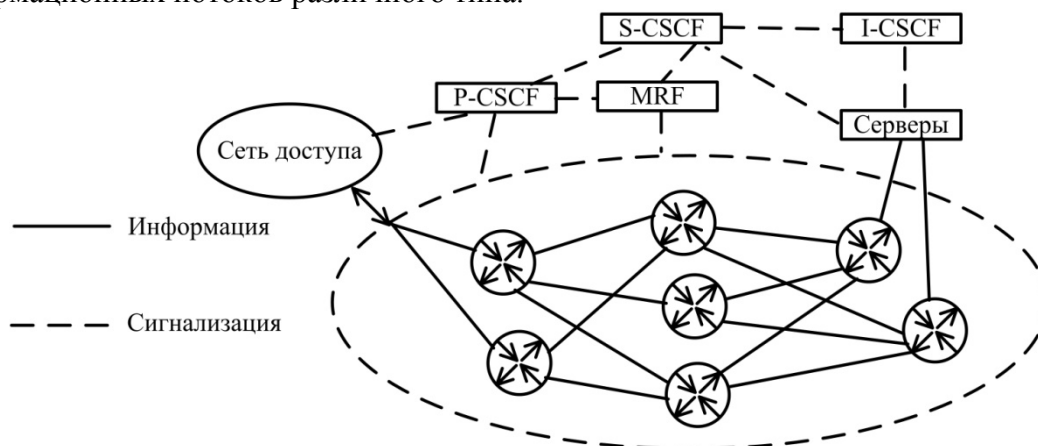


Рисунок 1 – Исследуемая сеть IMS

В качестве примера, рассмотрим использование тензорного подхода к задаче обеспечения заданного значения времени задержки, регламентированного рекомендацией ITU-T Y.1541, путем управления распределением трафика в узлах сети. Для этого используем модель сети IMS (рис. 2) в виде набора одноканальных систем массового обслуживания (СМО). Использование в модели маршрутизатора нескольких СМО на выходе определяется требованием к отсутствию замыкания нагрузки между разными направлениями. Управляя распределением трафика на данных маршрутизаторах можно обеспечить требуемые значения среднего времени задержки, как одного из показателей качества обслуживания в исследуемой сети связи.

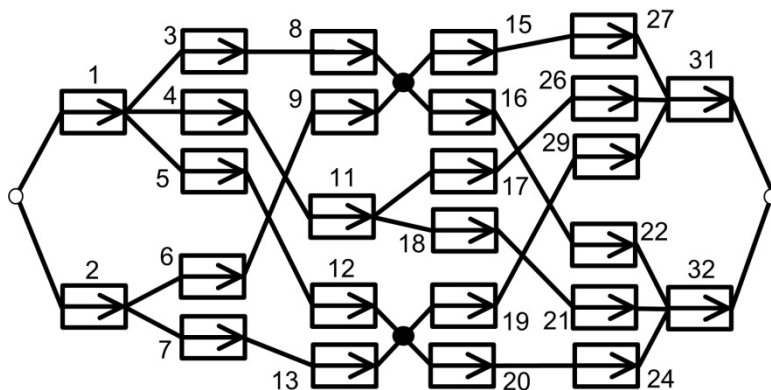


Рисунок 2 – Модель исследуемой сети IMS

Задержку вносимую сетью доступа и абонентскими устройствами не учитываем, как несоизмеримо малую относительно задержек в сети. В связи с тем, что необходимо разделять потоки в соответствии со структурой сети, часть маршрутизаторов представлена моделями с отдельными выходными интерфейсами. Пограничные маршрутизаторы представлены СМО 1,3,4,5 и 2,6,7, маршрутизаторы ядра СМО с 8 по 32. Данную модель преобразуем к узловому виду (рис. 3): в местах образования контуров производим «размыкание» связей между СМО, но в дальнейшем необходимо учитывать равенство интенсивностей поступления в соответствующих ветвях. В данном случае:  $\lambda_9 = \lambda_{10}$ ,  $\lambda_{13} = \lambda_{14}$ ,  $\lambda_{22} = \lambda_{23}$ ,  $\lambda_{24} = \lambda_{25}$ ,  $\lambda_{27} = \lambda_{28}$ ,  $\lambda_{29} = \lambda_{30}$  и  $\lambda_{32} = \lambda_{33}$ , при этом смысл систем массового обслуживания, как моделей маршрутизаторов, не изменяется.

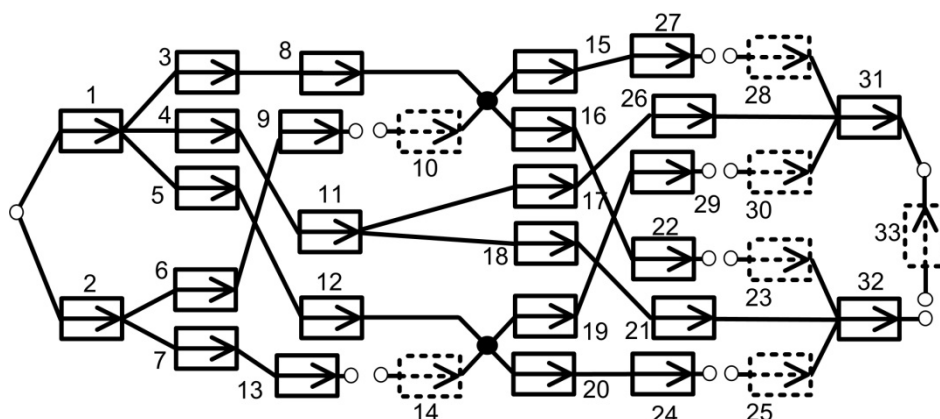


Рисунок 3 – Узловая модель опорной сети IMS

Находя соответствие между нагрузками в исходной и примитивной сети, определяем матрицу  $A$  согласно [3] (ввиду большой размерности и разреженности здесь не приводится). При этом правая часть уравнения (1), с учетом равенства интенсивностей в мнимой и реальной системах, преобразуется к виду:

$$\bar{A}^T \bar{\lambda}' = \begin{pmatrix} \lambda_1 - \lambda_3 - \lambda_4 - \lambda_5 \\ \lambda_2 - \lambda_6 - \lambda_7 \\ \lambda_3 - \lambda_8 \\ \lambda_4 - \lambda_{11} \\ \lambda_5 - \lambda_{12} \\ \lambda_6 - \lambda_9 \\ \lambda_7 - \lambda_{13} \\ \lambda_8 + \lambda_{10} - \lambda_{15} - \lambda_{16} \\ \lambda_9 \\ -\lambda_{10} \\ \vdots \\ \lambda_{31} + \lambda_{33} \\ \lambda_{32} \\ -\lambda_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 - \lambda_3 - \lambda_4 - \lambda_5 \\ \lambda_2 - \lambda_6 - \lambda_7 \\ \lambda_3 - \lambda_8 \\ \lambda_4 - \lambda_{11} \\ \lambda_5 - \lambda_{12} \\ \lambda_6 - \lambda_9 \\ \lambda_7 - \lambda_{13} \\ \lambda_8 + \lambda_{10} - \lambda_{15} - \lambda_{16} \\ \lambda_9 \\ -\lambda_9 \\ \vdots \\ \lambda_{31} + \lambda_{32} \\ \lambda_{32} \\ -\lambda_{32} \end{pmatrix}$$

В связи с тем, что сумма интенсивностей потоков в узле равна нулю (потери в данной модели отсутствуют), правая часть линейного алгебраического уравнения



может быть представлена в виде, позволяющем уменьшить размерность системы уравнений. Кроме того, так как трафик поступает через СМО1 и СМО2, то все интенсивности поступления вызовов в остальные СМО могут быть определены через  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . С этой целью в уравнение вводятся коэффициенты  $p_i$ , которые определяют долю трафика поступающего на  $i$  СМО. При этом, исходя из структуры модели сети, необходимо учитывать, что для каждого узла выполняется условие по исходящему и входящему направлению:  $\sum_i p_i = 1$ , т.е. обеспечивается условие равенства нулю

суммы интенсивностей в узле. Тогда:

$$\bar{A}^T \bar{\lambda}' = \begin{pmatrix} \lambda_1 - \lambda_3 - \lambda_4 - \lambda_5 \\ \lambda_2 - \lambda_6 - \lambda_7 \\ \lambda_3 - \lambda_8 \\ \lambda_4 - \lambda_{11} \\ \lambda_5 - \lambda_{12} \\ \lambda_6 - \lambda_9 \\ \lambda_7 - \lambda_{13} \\ \lambda_8 + \lambda_{10} - \lambda_{15} - \lambda_{16} \\ \lambda_9 \\ -\lambda_9 \\ \lambda_{11} - \lambda_{17} - \lambda_{18} \\ \vdots \\ \lambda_{31} + \lambda_{32} \\ \lambda_{32} \\ -\lambda_{32} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \lambda_9 \\ -\lambda_9 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \lambda_{32} \\ -\lambda_{32} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ p_9 \lambda_6 \\ -p_9 \lambda_6 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ p_{18} \lambda_{11} \\ -p_{18} \lambda_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ p_9 p_6 \lambda_2 \\ -p_9 p_6 \lambda_2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ p_{18} p_4 \lambda_1 \\ -p_{18} p_4 \lambda_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Используя вектор управления, содержащий вероятности разделения нагрузки по узлам  $(p_3 \ p_4 \ p_5 \ p_6 \ p_7 \ p_{15} \ p_{16} \ p_{17} \ p_{18} \ p_{19} \ p_{20})$  можно управлять распределением трафика по узлам сети с целью обеспечения определенного значения среднего времени задержки либо по заданному маршруту, либо по всей сети в целом при установленном значении интенсивности информационных потоков. При этом, исходя из уравнения (2) и узловой модели сети, достаточно использовать вероятности  $(p_3 \ p_4 \ p_6 \ p_{15} \ p_{17} \ p_{19})$ . Например, при входном значении  $\lambda_1$  равном 65 у.е. и  $\lambda_2$  равном 25 у.е., с заданными интенсивностями обслуживания в каждой системе и использовании в качестве модели систем обработки информации системы массового обслуживания М/М/1, можно изменяя значения выбранных коэффициентов из  $(p_3 \ p_4 \ p_6 \ p_{15} \ p_{17} \ p_{19})$  определить изменение времени задержки по сети как

$$T = \sum_i \frac{1}{\mu_i (1 - \rho_i)}, \text{ где } \rho_i \text{ определяется из решения уравнения (1) относительно } \bar{\rho} \text{ и}$$

нахождения коэффициентов использования узлов в сети  $(\bar{\rho}_{узлов} = \bar{A} \bar{\rho})$ . Далее используя метод множителей Лагранжа получаем решение для минимального значения

по времени  $(p_3 \ p_4 \ p_6 \ p_{15} \ p_{17} \ p_{19}) = (0.25 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.65 \ 0.65 \ 0.5)$  при средней задержки по сети равной 0.516.

В заключение можно сделать вывод о том, что в связи с тем, что необходимо управлять большим количеством устройств и проводить обработку множества информационных потоков с заданным качеством обслуживания для каждого типа потока, решение задачи управления эффективным использованием ресурсов сети значительно усложняется. Тензорный метод анализа сетей, как обладающий возможностями по учету процессно-структурного взаимодействия и гибкости применения, позволяет снизить вычислительные затраты на решение такой задачи, уменьшить задержки при динамическом управлении телекоммуникационными системами и обеспечить масштабируемость сети.

### Литература

1. Poikselka M., Mayer, G. The IMS: IP Multimedia Concepts and Services, 3rd edition, London: John Wiley & Sons, 2009.
2. T. Braun, M. Diaz, J. Gabeiras, T. Staub. End-to-End Quality of Service Over Heterogeneous Networks. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
3. Пономарев Д.Ю. Тензорная методология в информационных коммуникациях // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2012. – Т. 55. – № 5. – С. 18-23.
4. V.S. Abhayawardhana, R. Babbage. A Traffic Model for the IP Multimedia Subsystem (IMS) // IEEE 65th Vehicular Technology Conference / VTC2007-Spring, 2007. – pp. 783-787.

## ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ СЖАТИЯ ТРАФИКА КАНАЛА СВЯЗИ

Богачёв К.А., Попов И.С.  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассмотрена возможность и преимущества применения асинхронного адаптивного аналого-цифрового преобразования при оцифровке и передачи аналогового сигнала по каналу связи.

### **Asynchronous analog-to-digital conversion application for compression traffic of link channel. Bogachyov K., Popov I.**

Overview the possibilities and advantages of asynchronous adaptive analog-to-digital conversion for digitizing and transmitting analog signals through the communication channel.

Основная классификация радиосистем наряду с системами извлечения и отображения информации, включает в себя системы передачи информации, к которым относятся различные виды каналов связи и способы передачи информации. Главная цель таких систем – передача сообщений, с использованием того или иного канала связи, получателю с минимальными искажениями. Эта проблема в той или иной степени решена посредством преобразования исходных аналоговых сигналов в цифровой код и передачи цифрового трафика. Наряду с основной задачей передачи информации, особенно в настоящее время, имеется проблема экономии трафика при передаче сообщений, благодаря чему повышается пропускная способность канала

связи. Для этой цели обычно обращаются к различным способам кодирования и уплотнения сообщений. Выбор того или иного способа производят исходя из назначения системы.

Классический способ передачи аналоговых сигналов предполагает временное и амплитудное квантование сигнала на первой стадии передачи. При этом обычно руководствуются заранее известной информацией о параметрах сигнала, исходя из которых и выбираются оптимальные параметры квантования, например используя теорему дискретных отсчетов. В этом случае кодирование нельзя считать оптимальным, поскольку имеется факт избыточности передаваемой информации. Обычно, в этом случае, используют последующее кодирование информации для оптимального сжатия передаваемого трафика. Второй недостаток этого подхода заключается в принципиальной невозможности передачи псевдоизвестного сигнала, поскольку неверный выбор параметров квантования неизбежно приведет к потере информации.

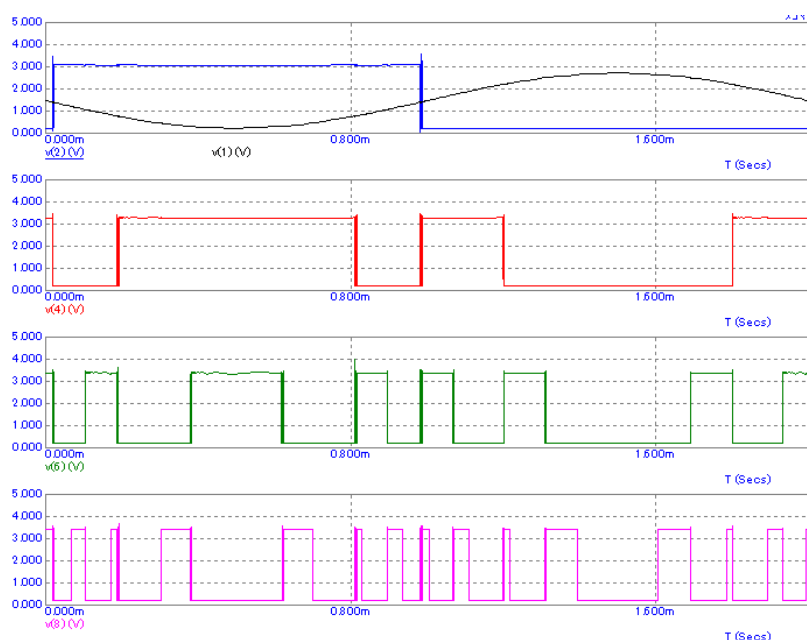


Рис. 1. Пример функционирования системы с адаптивным кодированием сигнала, синусоидальный сигнал

В работе предлагается инновационный метод оптимизации трафика канала связи, посредством которого возможно производить сжатие трафика аналоговых сигналов уже на стадии аналого-цифрового преобразования.

В основе метода лежит асинхронное преобразование аналогового информационного сигнала с использованием адаптивного кодирования.

Из диаграмм (рис. 1, 2) хорошо видно, что кодирование аналогового сигнала происходит с переменным шагом квантования, выбираемым системой автоматически, пропорционально крутизне сигнала, что свидетельствует об оптимальности и безыбыточности кодирования.

Из основных достоинств данного подхода можно отметить оптимизацию трафика канала передачи, определяемую безыбыточностью кода. Также необходимо отметить, что предложенный метод кодирования позволяет работать с псевдоизвестными сигналами, исходя из того обстоятельства, что система является самоадаптирующейся. К особенностям метода следует отнести необходимость установления верхней границы спектра сигнала исходя из максимального быстродействия, используемого типа логики,

что, впрочем, дает полную свободу выбора, при оперировании категориями: звуковой сигнал, видео-, радиосигнал и т.п., поскольку дает вполне определенное представление о верхних границах используемого диапазона и позволяет заранее подобрать аппаратные средства с требуемым быстродействием.

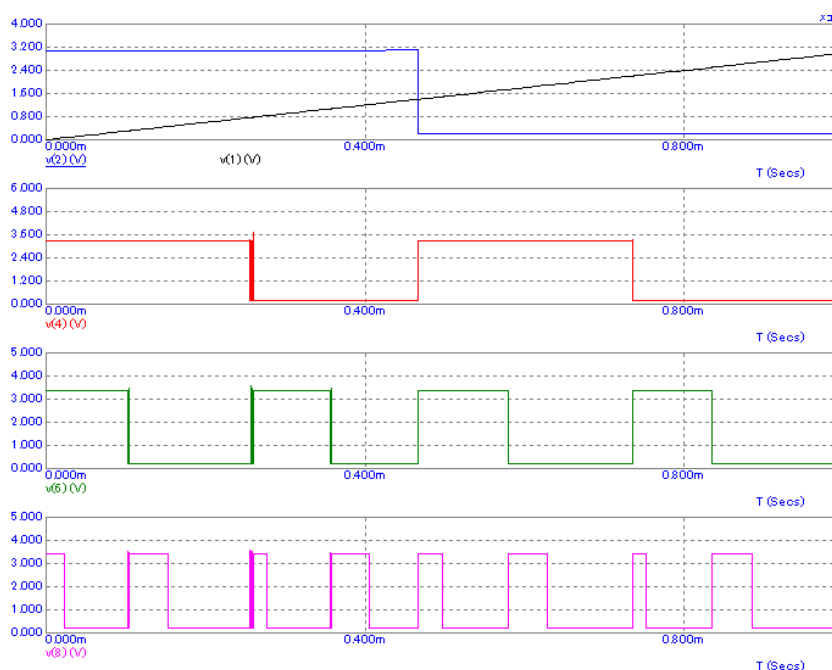


Рис. 2. Пример функционирования системы с адаптивным кодированием сигнала, пилообразный сигнал

Таким образом, предложенная реализация позволяет оптимизировать загрузку канала, без введения предискажений в передаваемый сигнал, что обычно используется в подобных случаях. На основании этого, в зависимости от назначения системы может быть достигнуто: увеличение объема передаваемой информации; повышение скорости передачи; экономия частотного ресурса, а также динамического диапазона канала.

### Литература

1. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 1104 с.
2. Алексенко А. Г., Шагурин И. И. Микросхемотехника: Учеб. Пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1990. — 496 с.

## ПАРАДИГМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «ЗАКАЗЧИК» - «РАЗРАБОТЧИК» ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ: СОЗДАНИЕ МНОГОМЕРНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МАРКЕТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ

Правик Ю.Н.

*Киев, ГП «Центр научно-технической информации и содействия инновационному развитию Украины»*

Предлагаются пути оптимизации процесса коммерциализации наукоемкой продукции на основе маркетинговой модели инновационной деятельности и

автоматизированной маркетинговой системы управления инновациями, предоставленная характеристика роли информационной маркетинговой системы в поиске и представлении информации по имеющемуся каталогу наукоемкой продукции для потенциального заказчика

**Interaction paradigm "customer" - "developer" high-tech products: creating multidimensional automated marketing system of innovation management. Pravik J.**

The ways to optimize the commercialization of high technology products based marketing model innovation and automated marketing system of innovation management, the role of information provided by the characterization of the marketing system to find and provide information on the existing catalog of high technology products for the potential customer

Экономическое развитие государства, рост его ВВП и в целом благосостояние страны напрямую зависит от позиций научного потенциала страны, внедрения инноваций на ее территории, количественных показателей в научно-технологическом обмене, привлечении инвестиций в научно-технические проекты.

Организации, занимающиеся коммерциализацией технологий, в том числе и собственными разработками, помимо работы на отечественного потребителя активно ищут покупателей и партнеров за рубежом. Одним из каналов выхода на зарубежные рынки является *электронная биржа технологий*. Но на сегодняшний день, ни в Украине, ни в России на данный момент не создано единого консолидированного ресурса, в котором для заказчика/инвестора/ организации-потребителя имеется размещенный на web-ресурсе единый каталог всех научных разработок государства по всем направлениям их применения. И основополагающий фундаментом его создания и последующей поддержки является методология формирования баз данных инновационной продукции.

*Методология маркетинга инновационных разработок и научно-технологического обмена должна основываться на полном обмене данными, необходимыми для комплексной оценки, анализа и прогнозирования инновационной деятельности, а именно учитывать:*

- показатели, характеризующие влияние инновационной деятельности на конечные результаты работы;
- методы сбора и обработки данных, формирование выборочной совокупности для анализа уровня новизны и сводного отчета статистического анализа инновационной деятельности.

В Украине, например, недооценка роли инноваций и научно-технического обеспечения социально-экономического развития привела к тому, что даже крупные корпорации, которые имели ресурсы для реинвестиций, не успели завершить модернизацию производственных мощностей экспортноориентированных отраслей согласно с новейшими технологиями. Это обусловило значительное разрушение не только промышленного, но и научного потенциала и, соответственно, обострение социальных проблем.

Таблица 1

## Компоненты маркетинговой модели инновационной деятельности

Название компоненты	Характеристика
<b>Маркетинг инструментарий инновационной продукции</b>	Способствует уменьшению неопределенности на рынке, выявлению рисков и повышает вероятность получить положительный экономический эффект от внедрения НИОКР
<b>Создание единой консолидированной базы инновационных разработок</b>	Постоянное обновление информации по базе данных и соответствие конфигурациям поиска для заказчика, позволяет своевременно преобразовывать поступающую текущую информацию в системе, используя полный комплекс параметров для ее сбора, обработки, хранения и поиска. Составляющими частями конфигурации являются маркетинговые информационные подсистемы обеспечения комплекса контроля и управления необходимыми параметрами, которые отвечают за наполнения информации, качество информации, разделением на секторы применения, оценку новизны и др.
<b>Коммерциализация инновационных разработок</b>	Выбор оптимального направления коммерциализации

*Универсальная маркетинговая модель инновационной деятельности* разработана на базе сравнительного анализа и синтеза, базирующихся на системном подходе. Следует учитывать, что научно-техническая продукция является специфичным видом инновационного продукта. Теоретико-методические основы инновационного маркетинга могут быть трансформированы в систему инновационного маркетинга научно-технической продукции.

Компоненты маркетинговой модели инновационной деятельности представлены в табл. 1.

На основе описанных выше компонент может быть построен общий алгоритм работы *маркетинговой модели инновационной деятельности*, который базируется на взаимодействии коммерциализации инновационных разработок и трансфере технологий, включая мониторинг, анализ и оценку научной новизны.

Алгоритм позволяет просчитывать экономическую эффективность каждой отдельно взятой научной разработки по интересующему направлению деятельности для потенциального покупателя технологии. Алгоритм работы маркетинговой модели инновационной деятельности помогает определить специфические требования для разработчика, которые, впоследствии, могут быть сформированы в виде технико-экономических обоснований инновационного продукта, что, в свою очередь, будет способствовать последующей коммерциализации данной научно-технической продукции, снизит риск инвестиционной неопределенности и, учитывая специфичность

научно-технической продукции, сможет содействовать нивелированию будущих рисков.



Рис. 1. Алгоритм работы маркетинговой модели инновационной деятельности

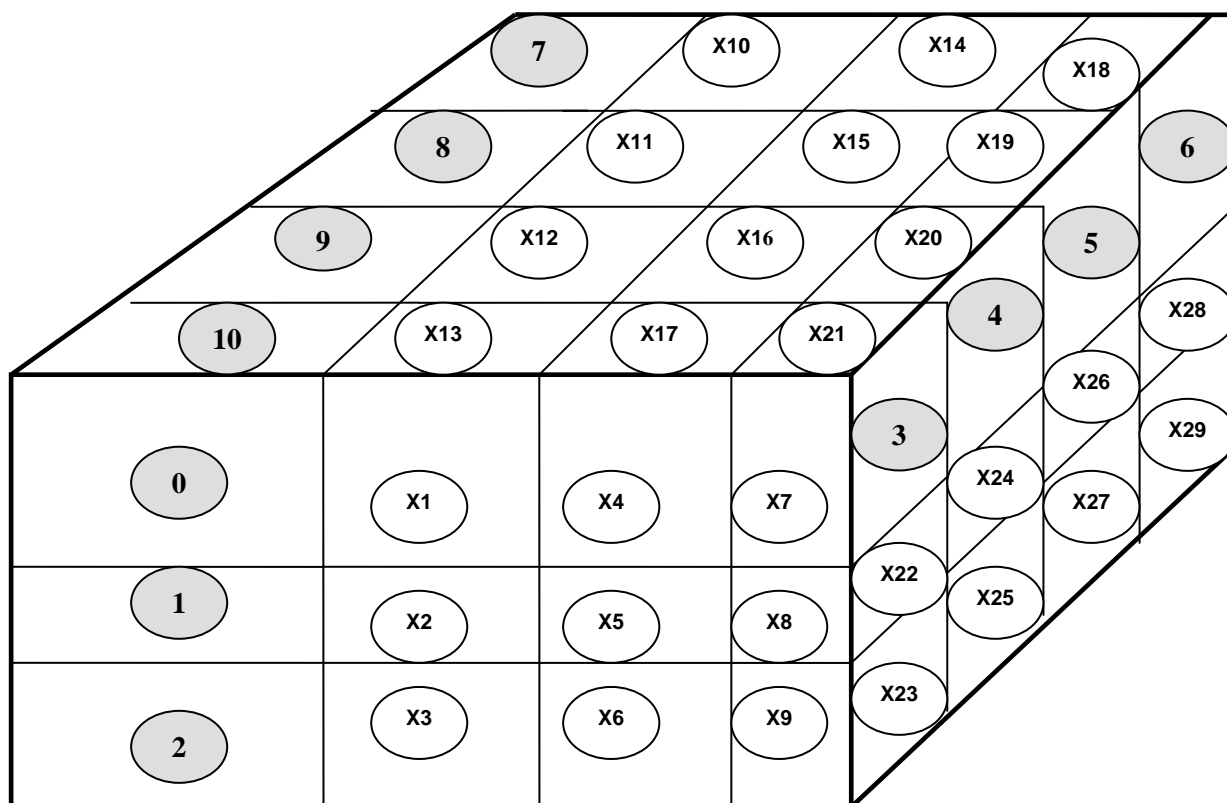


Рис 2. Многомерная автоматизированная маркетинговая система управления инновациями.

Предлагается многомерная структура автоматизированной маркетинговой системы управления инновациями, которая построена по признаку отделения однородных по характеру подсистем. Основной задачей, которой является: постоянное обновление информации по базе данных и соответствие конфигурациям поиска для заказчика. Автоматизированной маркетинговой системы управления инновациями позволяет своевременно преобразовывать поступающую текущую информацию в системе, используя полный комплекс параметров для ее сбора, обработки, хранения и, соответственно, поиска. Такими составляющими частями конфигурации являются маркетинговые информационные подсистемы обеспечения комплекса контроля и управления необходимыми параметрами, которые отвечают за наполнения информации, качество информации, разделением на секторы применения, оценку новизны и др. В состав блоков  $x_{13}$ - $x_{21}$  входят, соответственно, данные блоков  $x_1$ - $x_3$ ,  $x_4$ - $x_6$ ,  $x_7$ - $x_9$

Таблица 2. Конфигурации базы данных научных разработок

Конфигурации базы данных научных разработок (БЗР). Создание единого web-ресурс инноваций	
Кодировка кластеров	Описание функциональности
	Подсистема управления конфигурацией БЗР. Функциональная



0	подсистема (описание, характеристика)
1	Подсистема управления конфигурацией БЗР. Отрасль применения. Научно-технический уровень. Решение задачи.
2	Подсистема управления конфигурацией БЗР. Поиск партнера (разработчик/ заказчик)
3	Оперативный информационный обмен. Контактные данные представителя разработчика
4	Технологический трансферт технологий
5	Ожидаемые результаты
6	Совместная организация работы (разработчик/ заказчик)
7	Анализ уровня новизны
8	Анализ уровня конкурентоспособности
9	Анализ возможных и потенциальных потребителей
10	Экономический эффект. Инновационный/ Инвестиционный проект

Ярким примером в объективной необходимости создания и внедрения маркетинговой системы управления инновациями на базе деятельности Центра научно-технической информации и содействия инновационному развитию Украины является получение в декабре 2012 г. заказа на оперативное создание каталога по научным разработкам ученых Украины, согласно поступившим запросам от организаций, предприятий и ведомств Вьетнама по разным научным направлениям и секторам народного хозяйства. Внедрение маркетинговой системы управления инновациями позволило бы на основе существующей консолидированной информации подготовить каталог научных предложений за достаточно короткий временной промежуток (до 60 мин.), в то время как коллектив сотрудников (10 чел.) данного предприятия смог подготовить данный каталог для вьетнамских заказчиков за 5 рабочих дней. Данная маркетинговая система может функционировать на базе оболочки программы Meta Stock, которая является одной из самых доступных и лучших информационно-аналитических систем и построена из нескольких специализированных программ с чрезвычайно широкими возможностями. При использовании текущей информации, которую поставляет известное информационное агентство Reuter, программа может автоматически обновлять данные каждые 10 минут. В результате пользователь имеет возможность оперативно строить фигуры технического анализа и выполнять прогнозы с помощью разнообразных показателей (осцилляторов).

Практическая реализация результатов маркетингового анализа и мониторинга инноваций позволит в единой консолидированной базе инноваций создать информационно-аналитическую базу, на основе которой будут находить решения основные задачи инновационного развития регионов государства.

### Литературы

1. Аньшин В.М. Инновационный менеджмент: Концепции, многоуровневые стратегии и механизмы инновационного развития: Учеб. пособие /В.М. Аньшин, А.А. Дагаева. — 3-е изд., перераб., доп. — М.: Дело, 2007. — 584 с.

2. Правик Ю.М. Инвестиційний менеджмент: Навч. посібник. / Ю.М.Правик – К.: Знання, 2007. – 431 с.
3. Bright J.R. Some Management Lessons from Technological Innovation Research // National Conference on Management of Technological Innovation. – University of Bradford Management Centre, 1988. – 208 p.
4. Академия безопасности открытого общества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// aoss.org.ua/cgi-bin/ruindex.pl?page=amat&id=784](http://aoss.org.ua/cgi-bin/ruindex.pl?page=amat&id=784) – свободный. - Загл. с экрана (дата обращения 30.01.2013).

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА НА СИСТЕМЫ СОБЫТИЙНОГО ВИДЕОКОНТРОЛЯ**

Секунов А.В.  
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ*

Обоснован и выбран метод расчета токов в проводниках. Расчет токов, наводимых на проволочные структуры при воздействии сверхширокополосных импульсов электромагнитного поля (ЭМП), – частный случай задачи о взаимодействии электромагнитного поля и проводящего объекта. Анализ расчетных данных показывает, что сверхширокополосные (СШП) импульсы обладают высокой эффективностью воздействия на печатные платы и линии длиной до нескольких метров. Опасность воздействия конкретного СШП ЭМИ для заданной системы событийного видеоконтроля определяется не только амплитудой, фронтом импульса и энергией, но и эффективностью его воздействия по энергии и напряжению.

### **Estimate of lethality of an electromagnetic pulse on the system event video. Sekunov A.V.**

We justified and selected the method of calculation of currents in conductors. Calculation of currents induced in the wire structure under the influence of ultrawideband pulses of electromagnetic fields (EMF) - a special case of the problem of the interaction of the electromagnetic field and the conductive object. Computational analysis of the data shows that the ultrawideband (UWB) pulses are highly effective impact on the printed circuit board and line up to several meters. Exposure to a specific UWB EMF system for a given event video is not determined only amplitude, pulse front and energy, but also its impact on the efficiency of energy and stress.

В последнее время, благодаря бурному развитию сверхширокополосной (СШП) связи и радиолокации и связанных с ним успехам в области генерирования сверхширокополосных электромагнитных импульсов (СШП ЭМИ), создались предпосылки к созданию мобильных средств электромагнитного воздействия. Эти средства могут быть использованы для преднамеренного воздействия на жизненно важные элементы современной инфраструктуры (системы связи и передачи информации, системы управления различными процессами, системы обеспечения безопасности) с целью шантажа или диверсии. В связи с этим возникает необходимость в исследованиях воздействия СШП импульсов на данные объекты и разработке методов и средств защиты от электромагнитного терроризма.

Существует ряд основных путей воздействия СШП ЭМИ на системы событийного видеоконтроля:

проникновение внутрь защитных экранов токов, наведенных на внешние элементы – антенны и линии связи;

прохождение полей через неоднородности в экранах - щели и отверстия;

непосредственное воздействие полей на незащищенные элементы технических средств (печатные платы, чипы, проводники).

В данной работе мы рассматриваем методы расчета воздействия и результаты экспериментальных исследований применительно к элементам систем событийного видеоконтроля.

Оценка величины наводок на печатные платы, чипы и другие элементы технических систем возможна с использованием расчетных методов.

### Формулировка задачи

Под СШП, в соответствии с определением проекта международного стандарта МЭК 61000-2-13 [1], понимаются сигналы, имеющие относительную ширину спектра по уровню 3 дБ более 25%. Мы рассматриваем здесь СШП импульсы с явно выраженной временной зависимостью, формируемые излучающей антенной, возбуждаемой генератором импульсного напряжения. Как правило, СШП импульсы имеют общую длительность от сотен пикосекунд до нескольких наносекунд и содержат до нескольких «полупериодов» колебаний. Длительности фронта импульсов современных СШП излучателей лежат в диапазоне  $10^{-10} \div 10^{-9}$  с, амплитуды на расстояниях  $\sim 10$  м от раскрыва антенны могут достигать  $\sim 100$  кВ/м.

В качестве объектов воздействия рассматриваются проводящие структуры из проволоки круглого сечения, не имеющие точек ветвления, находящиеся в однородной непроводящей среде (воздух, вакуум). Направление распространения воздействующего электромагнитного поля – произвольное.

### Метод моментов

Расчет токов, наводимых на проволочные структуры при воздействии сверхширокополосных импульсов электромагнитного поля (ЭМП), – частный случай задачи о взаимодействии электромагнитного поля и проводящего объекта. Для решения данной задачи может быть использован метод моментов на основе интегрального уравнения электрического поля (ИУЭП). Мы используем здесь ИУЭП в частотном представлении [2]:

$$(j\omega\vec{A}(\vec{r}) + \nabla\Phi(\vec{r}))_{\tan} = \vec{E}_{\tan}^i - Z_S\vec{J}(\vec{r}), \quad (1)$$

где  $\omega$  – частота падающего поля;

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu}{4\pi} \int_S \vec{J}(\vec{r}') \frac{\exp(-jkR)}{R} dS', \quad \Phi(\vec{r}) = -\frac{1}{4\pi j\omega\epsilon} \int_S \nabla_s \cdot \vec{J}(\vec{r}') \frac{\exp(-jkR)}{R} dS' -$$

векторный магнитный и скалярный электрический потенциалы;

$\vec{J}(\vec{r})$  – токи на поверхности проводника S;

$\vec{r}$  – радиус-вектор точки пространства;

$k=2\pi/\lambda$  – волновое число;

$R = |\vec{r} - \vec{r}'|$  – расстояние между произвольно расположенной точкой наблюдения  $\vec{r}$  и точкой источника  $\vec{r}'$  на поверхности проводника S;

$\vec{E}_{\tan}^i(\vec{r})$  – касательная к S составляющая падающего электрического поля;

$Z_S$  – поверхностный импеданс металла;

$\mu, \epsilon$  – параметры окружающей среды;

$\nabla_s \cdot \vec{J}$  – поверхностная дивергенция вектора  $\vec{J}$ .

При решении уравнения (1) используется тонкопроволочное приближение. При этом геометрия объекта аппроксимируется прямолинейными проволочными отрезками, и

каждому месту соединения двух проволочных отрезков (неграничному узлу) ставится в соответствие базисная функция, отличная от нуля лишь на соответствующей паре отрезков, где она имеет вид:

$$\vec{f}_n(\vec{r}) = \frac{\pm (\vec{r}_n^{\pm} - \vec{r})}{l_n^{\pm}}, \quad (2)$$

где  $n$  – номер узла; знаки « $\rightarrow$ » и « $\leftarrow$ » в качестве индексов приписаны первому ( $W_n^-$ ) и второму ( $W_n^+$ ) отрезку в паре, соответственно;  $l_n^{\pm}$  – длина проволочного отрезка  $W_n^{\pm}$ ;  $\vec{r}_n^{\pm}$  – радиус-вектор второго (отличного от  $n$ -го узла) конца проволочного отрезка  $W_n^{\pm}$ .

Ток на проволочной структуре аппроксимируется разложением по базисным функциям :

$$\vec{I}(\omega) \approx \sum_{n=1}^N I_n \vec{f}_n, \quad n = 1 \dots N,$$

Разрешая систему относительно неизвестных коэффициентов разложения, получаем распределение токов на заданной частоте. Временная форма импульсов тока находится обратным преобразованием Фурье для свертки частотного представления токов со спектром воздействующего импульса поля.

#### **Расчет токов для модельной геометрии**

С использованием вышеописанного метода и разработанной на его основе программы решалась задача по расчету импульсного тока, наводимого в прямом отрезке проволоки при воздействии импульсного ЭМП (рис. 1).

На рис. 2. представлены результаты расчета максимальных вдоль проволоки амплитуд тока для различных значений  $L$  в зависимости от параметра  $\Theta$ . Как можно видеть, данная величина растет с увеличением длины проволоки. При достаточно большой длине  $L$  и значениях угла  $\Theta$ , близких к  $90^\circ$ , в проволоке возбуждается бегущая волна тока, амплитуда которой растет за счет суммирования наводок на различные участки проволоки. В обобщенном виде результаты оценки максимальных по  $\Theta$  амплитуд наводимых импульсов тока в зависимости от длины проволоки  $L$  представлены на рис. 3. Максимальная амплитуда тока для проводников длиной до 20 м при амплитуде воздействующего импульса 1 В/м составила  $\sim 5,5$  мА.

Однако для расчета импульсных наведенных токов и напряжений в прямых проводниках с длиной более 20 м описанный подход оказался трудно применимым вследствие возрастания вычислительных затрат. С целью оценки максимально возможных значений данных величин потребовалась разработка приближенного метода расчета.

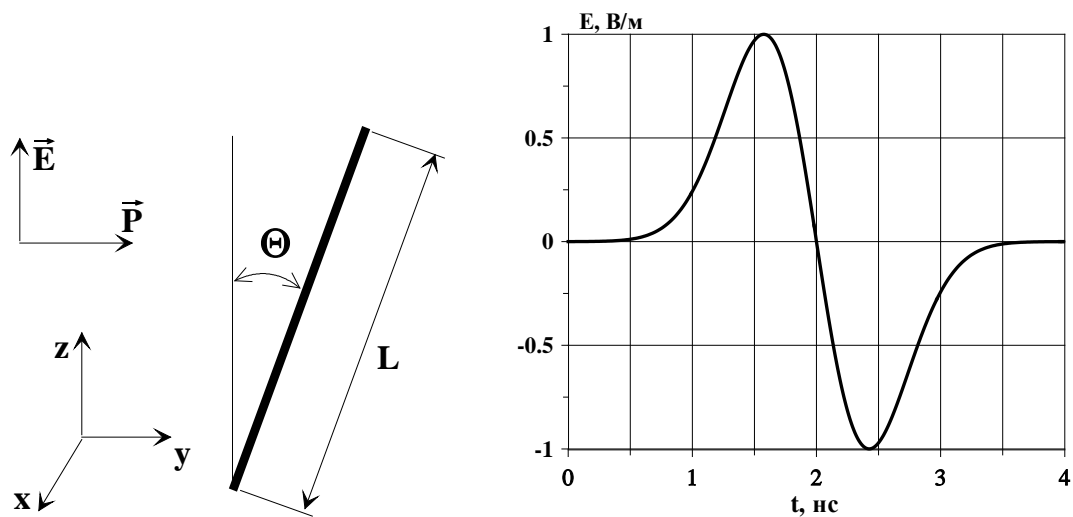


Рис. 1. Геометрия задачи и форма воздействующего импульса поля

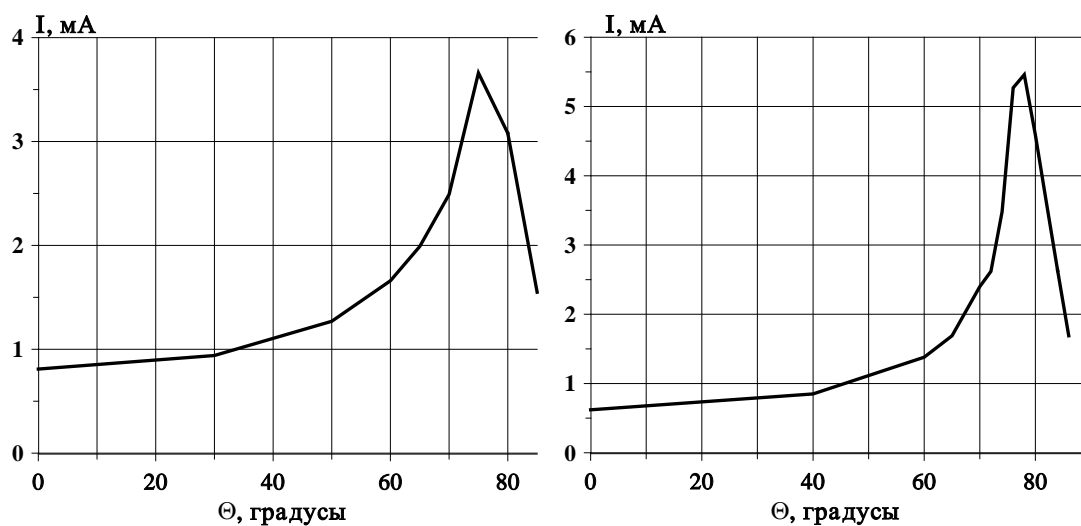


Рис. 2. Максимальная амплитуда импульсов тока в проволоке в зависимости от  $\Theta$  при амплитуде воздействующего импульса 1 В/м

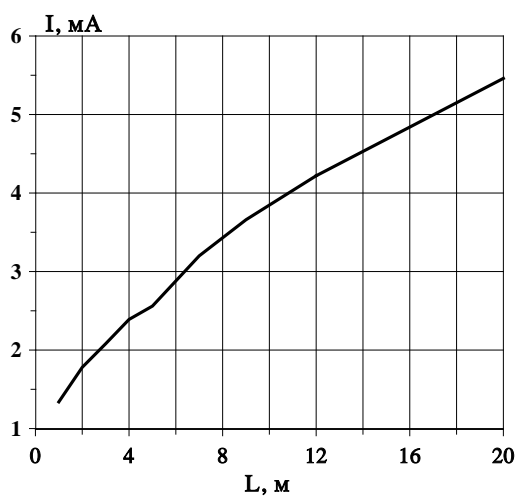


Рис. 3 Максимальная по  $\Theta$  амплитуда импульсов тока в проволоке в зависимости от  $L$  при амплитуде воздействующего импульса 1 В/м.

### Приближенный метод расчета

При нахождении приближенного решения использовалось предположение, что на каждой частоте ток затухает вдоль проволоки по экспоненциальному закону:

$$I_{nk}(\omega) \approx I_{kk}(\omega) \cdot \exp(-jk|\vec{r}_n - \vec{r}_k| - \beta|\vec{r}_n - \vec{r}_k|), \quad n, k = 1 \dots N,$$

где  $I_{nk}(\omega)$  – амплитуда тока в n-ом узле проволоки при локальном воздействии с единичной амплитудой в k-ом узле;

$\beta$  – коэффициент затухания, вычисляемый на основе найденного ранее методом моментов решения.

Амплитуды токов в узлах проволоки находим путем суммирования:

$$I_n(\omega) \approx \sum_{k=1}^N I_{nk} \cdot S_k(\omega), \quad n, k = 1 \dots N,$$

где  $S_k(\omega)$  – спектральная плотность воздействующего импульса электрического поля (тангенциальной составляющей) в k-ом узле.

На основе данного приближения были сделаны оценки наведенных токов в прямом проводнике при длинах проводника до 100 м. При этом, поскольку длины проводников значительны, учитывалось убывание амплитуды воздействующего импульсного поля по мере удаления от излучателя. Для простоты считалось, что излучатель имеет равномерную диаграмму направленности, а амплитуда импульса равна 1 В/м на расстоянии 1 м от излучателя. Амплитуды импульсов при заданных условиях воздействия достигают ~5,1 мА.

### Эффективность поражающего действия СШП ЭМИ различных источников на технические средства

Эффективность воздействия СШП импульсов в значительной степени определяется их широкополосностью, которая обеспечивает воздействие электромагнитного излучения на различные элементы электронной аппаратуры с включением различных механизмов взаимодействия[3,4,5].

Воздействие СШП ЭМИ на печатную плату может быть описано с помощью передаточной функции [3]:

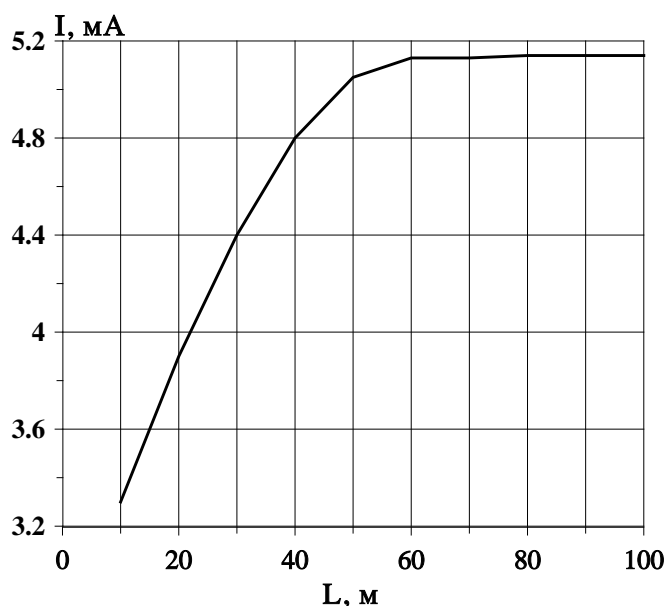


Рис. 4. Максимальная амплитуда импульсов тока, возбуждаемых в проволоке, в зависимости от длины проволоки L

$$G = \frac{F_{out}(j\omega)}{F_{in}(j\omega)},$$

где  $F_{out}(j\omega)$  – спектр выходной функции;

$F_{in}(j\omega)$  – спектр воздействия.

Эффективность воздействия может быть определена как отношение энергий:

$$\eta_E = \frac{\int_0^{\infty} |F_{out}(j\omega)|^2 d\omega}{\int_0^{\infty} |F_{in}(j\omega)|^2 d\omega}.$$

Данная величина была оценена для четырех типовых двухэкспоненциальных импульсов ЭМП, параметры которых приведены в Таблице 1, а формы показаны на последнем столбце Таблицы 1 приведены плотности энергии импульсов с амплитудой 100 кВ/м.

Для упрощения полагалось, что передаточная функция  $G(j\omega)$  равна 1 в определенном диапазоне частот и равна нулю вне него. Результаты оценки эффективности воздействия для проволочных проводников различной длины  $L$  приведены в Таблице 2. Верхняя и нижняя частоты диапазона были определены на половине высоты амплитудно-частотной характеристики проводников, нагруженных в средней точке на  $R=50$  Ом, при воздействии ЭМП с электрической составляющей  $E$ , направленной параллельно проводнику.

Анализ приведенных данных показывает, что СШП импульсы обладают высокой эффективностью воздействия на линии длиной до нескольких метров. При  $L < 1$  м они могут оказать большее влияние на объект, чем другие типы импульсов, даже, несмотря на их сравнительно малую энергетику.

Таблица 1

Типы исследуемых импульсов и их параметры

№ п/п	Тип импульса	Длительность фронта импульса	Постоянная спада импульса	$W_{вх}$ , Дж/м <sup>2</sup>
1	СШП ЭМИ	0,1 нс	2,5 нс	$7,05 \cdot 10^{-2}$
2	“Быстрый” ЭМИ	1,5 нс	80 нс	2,19
3	“Средний” ЭМИ	5 нс	300 нс	8,19
4	“Медленный” ЭМИ	10 нс	500 нс	13,72

Таблица 2

Эффективность воздействия импульсного ЭМП на проводники различной длины

$L$ , м	Полоса частот, МГц	Эффективность воздействия импульса (номера импульсов соответствуют Табл. )			
		1	2	3	4
0,1	840-2040	$2 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$
1	84-204	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-9}$
10	8,4-20,4	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$
100	0,8-2	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-3}$

Можно сделать вывод, что для печатных плат узлов системы событийного видеоконтроля с резонансными частотами между 100 МГц и 1 ГГц СШП ЭМИ оказывает наибольшее влияние по энергии (напряжению) несмотря на то, что его общая энергия значительно меньше, чем энергия других импульсов с  $E = 10$  кВ/м.

Таким образом, опасность воздействия конкретного СШП ЭМИ для заданной системы событийного видеоконтроля определяется не только амплитудой, фронтом импульса и энергией, но и эффективностью его воздействия по энергии и напряжению.

### Литература

IEC 61000-2-13: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-13: Environment – High power electromagnetic (HPEM) environments – radiated and conducted, 2004.

Крохалев Д.И., Ольшевский А.Н. Оценка воздействия сверхширокополосных импульсов электромагнитного поля на печатные платы. Сборник научных трудов МИЭМ под ред. Кечиева Л.Н., 2007

Кечиев Л.Н., Степанов П.В., Арчаков О.Н. Предотвращение катастроф электромагнитного характера в информационных системах // Технологии электромагнитной совместимости № 4(15). М., Издательский Дом «Технологии», 2005, С. 7-19.

Здухов Л.Н., Парфенов Ю.В., Петров СР., Сызранов В.С., Ульянов А.В., Янковский Б.Д.. Исследование возможности проникновения мощных импульсных помех в компьютеры по цепям электропитания и заземления // Научные труды Института теплофизики экстремальных состояний ОИВТ РАН, выпуск 3-2000, с. 153-160.

Воскобович В.В., Мырова Л. О. Некоторые вопросы создания радиорелейных систем связи, устойчивых к воздействию мощных импульсных электромагнитных помех. "Технологии ЭМС", № 2, 2002, с. 29 - 31.

## ОДНОМЕРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА

Потапов И. И., Снигур К. С.

*Хабаровск, Вычислительный центр ДВО РАН*

В докладе предложена математическая модель руслового потока, с помощью которой решается задача размыва поперечной русловой прорези. Производится сравнение полученных результатов с экспериментальными данными и расчетными данными других авторов.

### **One-dimensional model of unsteady channel process. Potapov I.I., Snigur K.S.**

The report proposed a mathematical model of channel flow, using it to solve the problem of erosion cavity. The results are compared with experimental data and the calculated data of other authors.

Предложена одномерная по пространству русловая математическая модель. Модель включает в себя: стационарные уравнения движения водного потока, определенное в рамках приближения мелкой воды, неравновесное уравнение переноса



взвешенных наносов, уравнение баланса наносов, определяющее эволюцию геометрии донной поверхности. В модели использована оригинальная равновесная формула движения влекомых наносов, учитывающая влияние морфологии дна, физико-механических и гранулометрических параметров донного материала на процесс транспорта влекомых наносов. Формула не содержит в себе феноменологических параметров.

В качестве верификации модели рассмотрена задача об изменении геометрии поперечной русловой прорези при движении над ней гидродинамического потока. Выполнено сравнение полученных решений с экспериментальными данными и расчетами других авторов.

#### Математическая формулировка задачи.

Предложенная математическая модель руслового потока включает в себя:

- уравнение мелкой воды [1]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{U^2}{2g} + \eta \right) + \frac{\tau}{g H \rho_w} = 0, \quad (1)$$

- уравнение переноса взвешенных наносов [2, 3]

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial SU}{\partial x} = \alpha \frac{W}{h} (S_* - S), \quad (2)$$

- уравнение Эйснера [4]

$$(1 - \varepsilon) \rho_s \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial G}{\partial x} = -\alpha \frac{W}{h} (S_* - S) \quad (3)$$

- уравнение потока влекомых наносов [4]

$$G = G_0 \tau^{3/2} (1 - \chi) - \frac{G_0 \tau^{3/2}}{tg \varphi \cos \gamma} \left[ \left( 1 - \frac{\chi}{2} \right) \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right], \quad (4)$$

где

$$S_* = \begin{cases} 0.2 \frac{U^3}{Wgh}, & W < u_*, \\ 0, & W \geq u_*, \end{cases} \quad u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho_w}}, \quad (5)$$

$$G_0 = \frac{4}{3} \frac{\rho_s m}{\kappa \sqrt{\rho_w} (\rho_s - \rho_w) g tg \varphi \cos \gamma}, \quad m = \begin{cases} 0, & \chi > 1, \\ 1, & \chi \leq 1, \end{cases}$$

$$\chi = \sqrt{\frac{\tau_*}{\tau}}, \quad \tau_* = \frac{9}{8} \frac{\kappa^2 d (\rho_s - \rho_w) g tg \varphi \cos \gamma}{c_x}, \quad (6)$$

$$\tau = \rho_w g \frac{U^2}{C^2}, \quad C = \frac{H^{1/6}}{n_s}.$$

Уравнения (1) - (4) замыкаются начальными

$$S(L, 0) = S_*, \quad \zeta(x, 0) = \zeta_0 \quad (7)$$

и граничными условиями

$$\zeta(L,t) = \frac{\partial \zeta}{\partial x} = J, \quad G(0,t) = G^0, \quad H(L,t) = H^0. \quad (8)$$

Здесь  $x, t$  - пространственная и временная координата соответственно,  $U$  - осредненная по глубине  $H$  скорость потока,  $Q = HU$  - расход потока,  $\eta = H + \zeta$  - уровень свободной поверхности,  $\zeta$  - уровень донной поверхности,  $\tau$  - придонные касательные напряжения,  $\rho_w$  - плотность воды,  $\rho_s$  - плотность песка,  $g$  - ускорение свободного падения,  $S$  - концентрация частиц в потоке,  $S_*$  - транспортирующая способность потока,  $W = 67.7 \frac{(\rho_s - \rho_w)d}{\rho_w}$  - гидравлическая крупность,  $d$  - диаметр частиц,  $\varepsilon$  - пористость донного материала,  $G$  - поток влекомых наносов,  $\tau_*$  - критическое донное напряжение,  $\varphi$  - угол внутреннего трения частиц,  $c_x$  - лобовое сопротивление частиц,  $\gamma$  - острый угол между нормалью к поверхности дна и вертикальной линией,  $\kappa = 0.4$  - постоянная Кармана,  $J$  - уклон донной поверхности на выходе из расчетной области,  $G^0$  - транзит донных наносов,  $H^0$  - глубина потока на выходе из расчетной области.

#### Результаты исследований

В качестве примера применимости модели в русловых расчетах была рассмотрена задача об изменении геометрии поперечной русловой прорези при движении над ней гидродинамического потока. Геометрия расчетной области, физико-механические и гранулометрические параметры задачи были взяты из работы [6]:  $L = 30$ ,  $H = 0.39$ ,  $U = 0.5$ ,  $d = 0.00017$ ,  $J = 0.0002$ ,  $\varphi = 22$ ,  $c_x = 0.5$ ,  $\varepsilon = 0.3$ ,  $\rho_s = 2610$ ,  $\rho_w = 1000$ ,  $\alpha = 0.6$ .

Результаты моделирования по предложенной модели с использованием алгоритмов [3, 5] приведены на рис.1, где кривые 1-3 определяют геометрию русловой прорези в различные моменты времени. Геометрия донной поверхности, определенная по экспериментальным данным [6], представлена на рис.1 точечными множествами 4,5. Результаты моделирования по гравитационной двумерной модели [6] представлены пунктирными кривыми 6,7.

Из сравнения графиков видно, что отклонение расчетных данных по предложенной модели и модели [6] от экспериментальных данных достигает 25 %. Но в целом по области прорези согласование решения, полученного по предложенной модели, лучше, различие с экспериментальными данными не превышает 5 %, что близко к систематической точности экспериментальных данных. Основное рассогласование расчетных и экспериментальных данных наблюдается на участке напорного склона каверны. Причем данное рассогласование является характерным для обоих численных решений и может быть объяснено одномерностью гидродинамической модели потока, не учитывающей явления рециркуляции потока в прорези.

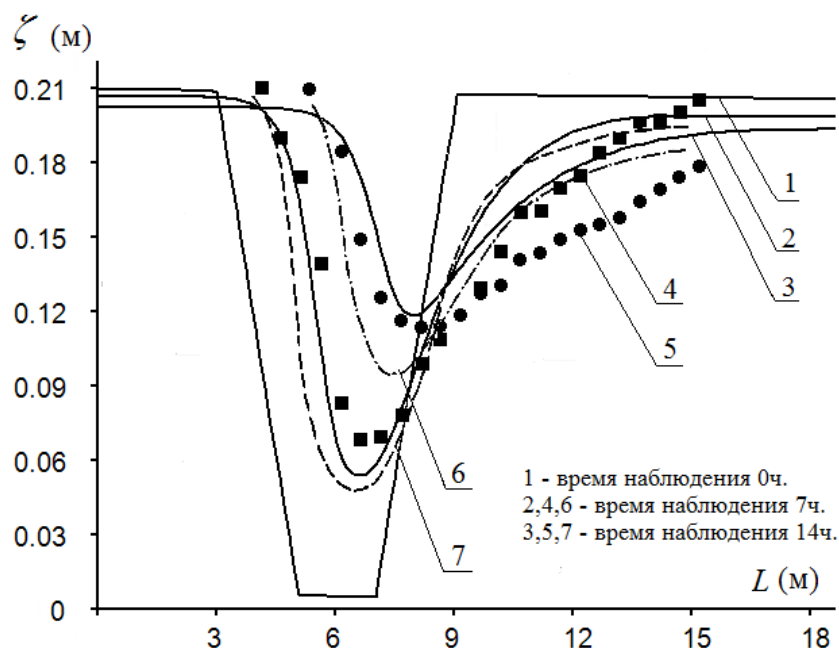


Рис.1. Сравнение экспериментальных и расчетных данных

### Заключение

Предложена математическая модель руслового потока. Рассмотрена задача, описывающая деформирование поперечной русловой прорези для песчаного дна канала. Получено в среднем хорошее согласование расчетных и экспериментальных данных, максимальное отклонение расчетных от экспериментальных данных не превышает 13%, что близко к систематической точности экспериментальных данных.

### Литература

1. Картвелишвили Н. А. Потоки в недеформируемых руслах. — Л.: Гидрометеоздат, 1973. — 279 с.
2. Караушев А. В. Теория и методы расчета речных наносов: Монография - Л.: Гидрометеоздат., 1977 - 272 с.
3. Белолипецкий В.М., Генова С. Н. Вычислительный алгоритм для определения динамики взвешенных и донных наносов в речном русле// Вычислительные технологии, Т. 9, № 2, 2004 С. 9-25.
4. Петров П.Г. Движение сыпучей среды в придонном слое жидкости// ПМТФ. 1991. № 5. С. 72 - 75.
5. Потапов И.И., Снигур К.С. Анализ деформаций несвязного дна канала в нижнем бьефе гидроузла// Вычислительные технологии. 2011. Т. 16. №4. С. 114-119.
6. van Rijn L. C., 1977. Sedimentation of dredged channels by currents and waves. Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering, 112, 541-559.

## **МЕТОД ВЫБОРА АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**

Голяев Ю.Д., Колбас Ю.Ю., Коновалов С.Ф., Соловьева Т.И., Томилин А.В.  
ОАО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»; МГТУ им. Н.Э.Баумана; МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассматривается метод всесторонней поэтапной оценки характеристик акселерометра для применения в лазерной бесплатформенной инерциальной навигационной системе нового поколения. Приводятся результаты исследований и сравнительных испытаний кремниевых и кварцевых акселерометров различных типов. Рассматриваются достоинства и недостатки акселерометров, связанные с материалом маятника, и их влияние на характеристики, определяющие класс точности инерциальной навигационной системы и ее место среди инновационных бесплатформенных систем.

**The method of accelerometer choosing for laser strapdown inertial navigation system of new generation and the results of comparative tests of various accelerometers. Golyaev Yu.D., Kolbas Yu.Yu., Konovalov S.F., Solovieva T.I., Tomilin A.V.**

The comprehensive step-by-step method of the accelerometer choosing for the laser strapdown inertial navigation system of new generation is considered. The results of Si-flex and Q-flex accelerometers research and comparative tests are presented. The advantages and the problems of the above accelerometers connected with pendulum material are described and its influence on the accelerometers accuracy parameters as well as inertial navigation systems's accuracy class and its place among innovative strapdown systems are considered.

### **Введение**

Системы ориентации и навигации являются информационной основой современных систем автоматического управления подвижными объектами.

Инерциальная навигационная система (ИНС) обеспечивает непрерывную выработку информации о курсе, координатах, скорости движения и параметрах угловой ориентации объекта, на котором установлена ИНС. В последние десятилетия наиболее распространенным типом ИНС стали бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) [1]. Они широко применяются в аэрокосмической технике.

Требования к точности БИНС постоянно повышаются. Особенно серьезные проблемы возникают, когда для оптимального и эффективного решения задач управления необходимо обеспечивать получение информации о параметрах движения с высокой точностью при работе в большом диапазоне ускорений и в жестких условиях эксплуатации, порождающих специфические погрешности датчиков БИНС – гироскопов и акселерометров.

Для компенсации погрешностей датчиков предварительно устанавливается модель их ошибок, для каждого датчика определяются коэффициенты этой модели, которые затем используются в алгоритме обработки их выходной информации в БИНС.

Для инновационных БИНС с повышенной точностью и малым временем готовности принципиально важным является то, что датчики в них работают в переходном режиме при сильно меняющемся смещении нуля как реакции на

внутренние температурные изменения; этот фактор накладывает особые требования к формированию модели погрешностей датчиков.

Таким образом, задача выбора акселерометров для таких систем становится многофакторной. В данной работе рассматривается метод всесторонней поэтапной оценки характеристик акселерометра, позволяющий сделать оптимальный выбор акселерометров для инновационных БИНС с повышенной точностью и малым временем готовности, работающих в большом диапазоне ускорений и в жестких условиях эксплуатации.

#### **Метод поэтапной оценки характеристик акселерометра**

Для того, чтобы оценить возможность применения серийно выпускаемых акселерометров в разрабатываемой БИНС или выявить необходимость их доработки для обеспечения соответствия требуемым характеристикам, необходимо провести анализ их свойств в следующей последовательности:

- изучить конструктивные особенности и свойства материалов, из которых изготавливаются детали акселерометра, для предварительной оценки их прочностных характеристик и чувствительности к температурным изменениям;
- проанализировать технологичность конструкции, серийноспособность и экономичность производства конкретного типа прибора;
- определить наиболее критичные для данного применения параметры акселерометра, от которых будет зависеть точность системы;
- разработать методики измерения этих параметров и изучить характер их изменения в диапазоне рабочих температур;
- на основании модели ошибок акселерометра разработать алгоритм компенсации воспроизводимых погрешностей акселерометра для стационарного режима работы;
- исследовать влияние внешних воздействующих факторов при работе акселерометра в стационарном режиме, компенсируя собственные погрешности; при обнаружении недопустимого роста погрешностей из-за чувствительности к определенным параметрам внешних воздействий найти методы их компенсации с помощью конструктивных решений или алгоритмической коррекции;
- исследовать поведение акселерометра в диапазоне возможных ускорений, предварительно выведя его в стационарный режим для завершения собственных тепловых процессов и компенсируя алгоритмически его собственные систематические погрешности;
- разработать алгоритм компенсации воспроизводимых погрешностей акселерометра для переходного режима его работы, что обеспечит возможность использования акселерометра при малых временах готовности.

#### **Сравнительный анализ особенностей акселерометров, обусловленных конструкционными материалами**

Наиболее перспективными для применения в системах, в которых требуется обеспечивать высокую точность при работе в большом диапазоне ускорений и в жестких условиях эксплуатации, являются компенсационные акселерометры с маятниками, изготовленными из кремния или кварца.

Конструктивные схемы кремниевых и кварцевых акселерометров схожи. Основными элементами конструкции являются маятниковый узел, состоящий из установочной рамки, упругого подвеса и лопасти, емкостной датчик угла и магнитоэлектрический датчик момента, который обеспечивает компенсацию отклонения лопасти маятника под воздействием ускорения [2,3].

Ключевую роль в различии характеристик двух типов акселерометров играет материал маятника. При этом следует иметь в виду главную особенность

конструкционных материалов маятника. Она заключается разных величинах температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) у кремния и у кварца. Очевидное преимущество кварца, имеющего меньший ТКЛР, чем у кремния, способствует получению малого дрейфа нуля в переходных тепловых режимах у кварцевых акселерометров. К тому же ТКЛР плавленого кварца практически равен ТКЛР материала магнитопровода магнитной системы акселерометра, выполненной из суперинвара 32НКД, в то время как ТКЛР кремния превышает его почти в 5 раз, что вызывает проблемы базирования кремниевых маятников на суперинваровых деталях, а использование магнитопроводящих сплавов с ТКЛР, близким к кремнию, не дает положительного эффекта из-за больших вариаций ТКЛР этих материалов при малых изменениях в составе сплавов.

В то же время кремний до последнего времени имел ряд очевидных технологических преимуществ перед кварцем, как в силу использования MEMS технологии, так и в силу дешевизны и доступности заготовок, в качестве которых используются стандартные кремниевые «вафли» электронной промышленности.

Дополнительно отметим, что кремний обладает существенно более высокой теплопроводностью и является электропроводящим материалом, что позволяет использовать лопасть кремниевого маятника как подвижного электрода емкостного датчика угла без напыления на поверхность маятника металлических электродов и токоподводов к ним.

Более детальное сравнение свойств кварца и кремния, обусловленных различием материалов, приводится в работах [3, 4].

Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день кремний является более технологичным материалом и позволяет получить более дешевую продукцию. Вместе с тем кремний уступает плавленому кварцу по возможности обеспечивать более высокие точностные характеристики приборов.

Из изложенного видно, что отдать приоритет одному или другому типу акселерометров для применения в конкретной системе не представляется возможным без проведения сравнительных испытаний приборов на основе как кремния, так и кварца.

#### **Выбор моделей акселерометров для проведения сравнительных испытаний**

Исходя из специфики применения систем, требующей обеспечения малого времени готовности после подачи питания (как следствие – отсутствие термостата) в условиях широкого диапазона ускорений и температур, для БИНС были выбраны маятниковые газонаполненные приборы. К ним относятся кварцевые акселерометры типа QA-2000, QA-3000, А-18, ВА-3, АК-6, а также вновь разработанные АК-15, А-18Т и Е-1.

#### **Определение наиболее критичных для данного применения параметров акселерометра**

Поскольку в разрабатываемых БИНС невозможна калибровка по каналам акселерометров перед началом использования, важнейшую роль приобретает невоспроизводимость параметров акселерометров, а именно масштабного коэффициента, смещения нуля и двух углов, определяющих положение базовой плоскости. Ошибки тем более возрастают после воздействия предельных повышенных и пониженных температур, поскольку при этом складываются температурные гистерезисы параметров с кратковременными и долговременными нестабильностями [5].

Именно поэтому для первичной оценки пригодности акселерометров к применению в БИНС были избраны невоспроизводимость вышеуказанных параметров после воздействия предельных как повышенных, так и пониженных температур.

Подробное исследование различных типов акселерометров приводится далее.

### Сравнительный анализ параметров акселерометров

В настоящее время имеются как серийно выпускаемые, так и вновь освоенные в производстве акселерометры, близкие по параметрам требованиям для акселерометров в БИНС: невоспроизводимость масштабного коэффициента  $9 \cdot 10^{-5}$  отн.ед., невоспроизводимость смещения нуля  $8 \cdot 10^{-5}$  g, изменение углов ориентации базовой плоскости  $\pm 40''$ . Характеристики имеющихся на российском рынке акселерометров с параметрами, близкими согласно ТУ или рекламным проспектам к указанным выше, приведены в таблице 1.

Таблица 1

#### Характеристики акселерометров по ТУ или рекламным проспектам

Наименование параметра	Ед. изм.	Требования	А-18	АК-15	ВА-3	А-18Т	АК-6	Е1	АК-18 (эксп.)
Невоспроизводимость масштабного коэффициента	Отн. ед.	$9 \cdot 10^{-5}$	$15 \cdot 10^{-5}$	$20 \cdot 10^{-5}$	$24 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Невоспроизводимость смещения нуля	g	$8 \cdot 10^{-5}$	$20 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$16 \cdot 10^{-5}$	$15 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Изменение углов ориентации базовой плоскости	"	$\pm 40$	$\pm 30$	$\pm 4$	$\pm 20$	$\pm 10$	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 5$
Диапазон измеряемых ускорений	g	$\pm 35$	$\pm 40$	$\pm 20$	$\pm 50$	$\pm 40$	$\pm 20$	$\pm 50$	$\pm 35$
Диапазон рабочих температур	°C	-50... +85	-60... +80	-60... +70	-55... +85	-50... +85	-60... +80	-55... +85	-55... +85
Материал маятника			кремний	кварц	кварц	кремний	кварц	кварц	кварц
Производитель			ИТТ	МИЭА	Электрооптика	ИТТ	Серп. завод Металлист	Китай	Серп. завод Металлист

Предварительные проверки акселерометров, представленных в таблице 1, показали, что их параметры не всегда соответствуют рекламируемым. Поэтому потребовалась разработка специальной методики для проведения их тщательного анализа в температурном диапазоне. Этой методикой предусматривается измерение невоспроизводимости параметров с высокой точностью в связи с тем, что данная характеристика не подлежит алгоритмической коррекции и окажет решающее влияние на точность канала акселерометров БИНС.

#### Методика испытаний акселерометров

При проведении испытаний на невоспроизводимость параметров была использована методика, состоящая из 5 этапов, подробно описанная в [6]. Акселерометры закреплялись на делительной головке в камере тепла и холода. Проводились измерения масштабного коэффициента, смещения нуля и углов отклонения базовой плоскости акселерометров последовательно при температурах +25 оС, -50 оС, +25 оС, +75 оС, +25 оС. При каждой температуре приборы предварительно выдерживались в камере в течение 2 часов в выключенном состоянии, затем включались, и далее через 1,5 часа после начала работы проводились измерения параметров с тем, чтобы все внутренние тепловые процессы завершились, и акселерометры определенно вышли в стационарный режим.

По пяти полученным для каждого акселерометра значениям рассчитывались температурная зависимость масштабного коэффициента, смещения нуля и углов отклонения базовой плоскости (полином второго порядка). Для трех значений при +25 оС рассчитывалась невоспроизводимость этих параметров, равная максимальному

отклонению от температурной зависимости. Такая методика позволяет учесть все температурные погрешности до третьего порядка малости и обеспечить необходимую точность измерения в камере тепла и холода, имеющей погрешность установки температуры  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

Результаты испытаний параметров акселерометров приведены в таблице 2. По каждому параметру указаны диапазоны значений, полученных для нескольких образцов акселерометров, которые одновременно участвовали в испытаниях.

Таблица 2

Характеристики акселерометров по результатам испытаний

Наименование параметра	Ед. изм.	A-18	AK-15	A-18T	AK-6	E1	AK-18
Невоспроизводимость масштабного коэффициента	Отн.ед.	$(10-15) \cdot 10^{-5}$	$(16-18) \cdot 10^{-5}$	$(3-5) \cdot 10^{-5}$	$(3-7) \cdot 10^{-5}$	$(1-24) \cdot 10^{-5}$	$(5-8) \cdot 10^{-5}$
Невоспроизводимость смещения нуля	g	$(15-19) \cdot 10^{-5}$	$(1-3) \cdot 10^{-5}$	$(15-28) \cdot 10^{-5}$	$(4-8) \cdot 10^{-5}$	$(4-6) \cdot 10^{-5}$	$(4-5) \cdot 10^{-5}$
Изменение углов ориентации базовой плоскости	"	$\pm(20-32)$	$\pm(21-24)$	$\pm(9-13)$	$\pm(3-6)$	$\pm(10-12)$	$\pm(5-6)$

### Заключение по результатам испытаний

Из всех представленных на испытания приборами ни один из серийно выпускаемых акселерометров не соответствует полностью требованиям, предъявляемым к каналу акселерометров разрабатываемой БИНС, однако в разной степени.

Акселерометр АК-6 соответствует требованиям для инновационной БИНС, за исключением диапазона измеряемых ускорений.

Акселерометр А-18 не соответствует требованиям для разрабатываемой БИНС по параметрам невоспроизводимости масштабного коэффициента, невоспроизводимости смещения нуля, изменению углов ориентации базовой плоскости; опытный образец акселерометра А-18Т не соответствует требованиям по параметру невоспроизводимости смещения нуля.

Акселерометр АК-15 не соответствует требованиям по параметрам невоспроизводимости масштабного коэффициента и диапазону измеряемых ускорений.

Акселерометр Е1 не соответствует требованиям по параметру невоспроизводимости масштабного коэффициента (пять приборов из шести). В то же время небольшая часть приборов Е1 показывает исключительно высокие точностные характеристики, что свидетельствует, с одной стороны, об удачной конструкции, являющейся копией американского кварцевого акселерометра QA-3000, а с другой – о неотработанности технологии производства этих акселерометров.

Необходимо отметить, что все испытанные акселерометры, кроме АК-6, А-18 и АК-15, реально не соответствуют указанным в рекламных проспектах и ТУ параметрам.

Следует отметить высокие точностные характеристики, продемонстрированные экспериментальными образцами акселерометра АК-18 (ОАО «Серпуховский завод «Металлист»), которые не только соответствуют требованиям БИНС, но и по некоторым параметрам (температурный диапазон, погрешность базы) превзошли лучшие мировые образцы. В случае доведения их до серийного производства разработчики получат высококачественный продукт мирового уровня.

### Выводы

Все акселерометры с маятником из кремния не соответствуют требованиям по параметру невоспроизводимости смещения нуля. Это, по-видимому, является



недостатком, принципиально присущим акселерометрам с конструктивной схемой, используемой в А-18, поскольку известны акселерометры с кремниевым маятником, имеющие высокую стабильность нуля [2,7,8].

В то же время все акселерометры с маятником из кварца соответствуют требованиям по параметрам невоспроизводимости смещения нуля и изменения углов ориентации базовой плоскости, а остальные параметры весьма близки к требуемым.

Соответствие требованию по параметрам невоспроизводимости масштабного коэффициента и диапазону измеряемых ускорений для приборов с маятником из кварца определяется искусством конструктора и является вполне достижимым, особенно при использовании современных магнитов с малым температурным гистерезисом.

Организация группового изготовления кварцевых маятников из серийно выпускаемых кварцевых заготовок (вафель) большого диаметра при минимуме ручных операций с использованием MEMS технологий позволит устранить недостаток кварца по сравнению с кремнием – невозможность использования групповых технологий и существенно уменьшит стоимость кварцевых акселерометров по сравнению со сложившимися на российском рынке ценами. При этом отсутствие операций механической обработки маятников будет способствовать увеличению точности приборов.

Поскольку наиболее приближен по точностным параметрам к требованиям инновационной БИНС именно АК-18, следует взять именно его для оснащения инновационной БИНС с рекомендацией внедрения для его производства новейших групповых технологий, обеспечивающих повышение производительности и снижение стоимости. Увеличение диапазона измерений АК-6 достигается без внесения существенных конструктивных изменений. Для уменьшения времени прогрева и повышения стабильности смещения нуля следует вынести за пределы корпуса собственно акселерометра основные тепловыделяющие элементы, прежде всего силовую часть электроники усилителя обратной связи. Проведение этих очевидных доработок позволит производить серийные отечественные акселерометры АК-18, полностью обеспечивающие требования к акселерометрическому тракту инновационной БИНС.

На следующих этапах исследований планируется провести испытания доработанных акселерометров АК-18 при механических воздействиях и в широком диапазоне ускорений, а также разработать алгоритм компенсации воспроизводимых погрешностей акселерометра для переходного режима его работы, что обеспечит дальнейшее повышение точностных характеристик акселерометра при малых временах готовности.

#### Литературы

1. N.M. Barbour, J.M. Elwell, R.H. Setterlund, G.Schmidt. Inertial instruments: where to now? // The 1st Saint Petersburg International Conference on Navigation. 1994.
2. Коновалов С. Ф., Полинков А. В., Сео Дж. Б. и др. Опыт разработки малошумящего акселерометра // Гироскопия и навигация, 2000, №3(30), С. 68-77. ISSN 0869-7035.
3. Сео Дже Бом. Оптимизация параметров и моделирование рабочих режимов в компенсационных акселерометрах типа Q-flex и Si-flex. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва, 2012 г.
4. Голяев Ю.Д., Колбас Ю.Ю., Коновалов С.Ф., Томилин А.В., Соловьева Т.И. Критерии выбора акселерометров для инерциального измерительного блока. // Сетевой электронный научный журнал «Системотехника», №10, 2012 г.

5. Соловьева Т.И., Томилин А.В. Исследование точностных характеристик акселерометров А-18 в режиме, соответствующем малым значениям времени готовности. // Вопросы оборонной техники. Научно-технический сборник, сер.9, ФГУП НТЦ «Информтехника», 2011 г., с.63 – 70

6. Голяев Ю.Д., Колбас Ю.Ю., Коновалов С.Ф., Томилин А.В., Соловьева Т.И. Исследования и сравнительные испытания акселерометров в инерциальном измерительном блоке.// Системные проблемы надежности, качества, математического моделирования и инфотелекоммуникационных технологий в инновационных проектах (ИННОВАТИКА-2012). Труды Международной конференции и Российской научной школы. Часть 1/Под ред. Кофанова Ю.Н. – Ивanteeвка М.о.: Издательство НИИ предельных технологий, 2012 г., с.38-43

7. Pat. 6073490 (USA), Int. C1.7 G 01 P 15/00. Servo accelerometer / S. F. Konovalov, G. M. Novosyolov, A. V. Polynkov, C. O. Lee, J. H. Oh, K. S. Lee; Sergey Feodosievich. – No 08/765576; 1994.

8. Pat. 6422076 B1 (USA), Int. C1.7 G 01 P 15/08. Compensation pendulous accelerometer / V. M. Prokofiev, S. F. Konovalov, Jae-Beom Seo et al; Agency For Defense Development, Taejon (KR); Sergei Feodosievich Konovalov, Moscow (RU). – No 09/598386; Jul. 23. 2002.

## **УЧЕТ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ПОТОКОВЫМ МЕТОДОМ**

Старостин И.Е.

*Москва, Экспериментальная мастерская НаукаСофт*

Рассматриваются вопросы учета случайных факторов при моделировании неравновесных процессов в замкнутых неравновесных системах потенциально-потокным методом. В состояниях, далеких от устойчивого равновесного состояния, случайные флуктуации могут качественно изменить характер динамики системы – дальнейшее качественное поведение рассматриваемой системы возможно предсказать лишь с некоторой вероятностью. Учет случайных факторов производится путем добавления в потенциально-потокные уравнения случайных сил и учетом случайных изменений матрицы восприимчивостей в зависимости от случайных изменений условий протекания неравновесных процессов.

### **Accounting for random factor in Modeling of nonequilibrium processes potentially streaming method. Starostin I.E.**

Questions of accounting of random factors in the simulation of non-equilibrium processes in closed non-equilibrium systems potentially streaming method. In states far from stable equilibrium, random fluctuations can qualitatively change the nature of the dynamics of the system - further qualitative behavior of the system can be predicted with a certain probability. Accounting for random effects produced by the addition of a potentially streaming equation random forces and considering the random change in the susceptibility of the matrix equations, depending on the course of random changes in the conditions of non-equilibrium processes.

В природе часто встречаются далекие от равновесия системы, обменивающиеся с другими системами веществом и энергией. В таких системах состояния, далекие от

равновесия, могут терять свою устойчивость и переходить к одному из возможных состояний. Неравновесные процессы и граничные условия не единственны в определении неравновесного состояния, к которому приходит система. Движимая внутренними флуктуациями и другими малыми воздействиями, система покидает неустойчивое состояние и переходит к одному из многих новых возможных состояний. Эти новые состояния могут быть высокоорганизованными. В мире неустойчивости и эволюции к этим новым состояниям решать «судьбу» системы могут очень малые факторы, часто выходящие за экспериментальный контроль. [1, 2]

Такие системы не могут быть описаны детерминированными моделями; для описания этих систем необходимо учитывать случайные факторы. Детерминированные математические модели не могут описать неустойчивые движения таких систем, т.к., как отмечалось выше, случайные факторы качественно меняют динамику системы, определяемую детерминированными математическими моделями. Поэтому для описания динамики таких неравновесных систем необходимо применять не системы обыкновенных дифференциальных уравнений, а системы обыкновенных дифференциальных стохастических уравнений [3]. Такие системы получаются путем добавления в правую часть детерминированных ОДУ случайных функций состояния; решением таких систем является случайная функция времени [3]. Случайные функции имеют статистические характеристики, такие как математическое ожидание, среднее квадратичное отклонения, приведенные в [3], где и расписаны подробно свойства этих характеристик.

Для моделирования неравновесных процессов в неравновесных системах в работах [4, 5] был разработан потенциально-поточный метод моделирования неравновесных процессов. В соответствие с этим методом в рассматриваемой неравновесной системе определяются термодинамические силы, движущие неравновесные процессы в рассматриваемой системе [4 – 8], и матрица восприимчивостей к этим движущим силам, зависящая от состояния рассматриваемой неравновесной системы [4, 5]. Эта матрица в частных случаях линейных околоравновесных состояний сводятся к матрице Онзагера, не зависящей от состояния рассматриваемой системы [4 – 8]. Потенциально-поточный метод моделирования неравновесных процессов включает в себя декомпозицию неравновесной системы на простые подсистемы, для которых матрицы восприимчивостей известны из эксперимента [5]; матрица восприимчивостей всей системы определяется на основе матриц восприимчивостей простых подсистем рассматриваемой системы [5].

В соответствие с потенциально-поточным методом система потенциально-поточных уравнений динамики неравновесных процессов имеет вид [4, 5]:

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{x}}{dt} &= A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})\vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) + \left(\frac{d\vec{x}}{dt}\right)_{\text{внеш}}, \vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) = -\vec{\nabla}F(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \\ \frac{d\vec{y}}{dt} &= \left(\frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_1} \quad \dots \quad \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_m}\right)_{\vec{P}=\vec{P}(\vec{x}, \vec{y})} A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})\vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) + \left(\frac{d\vec{y}}{dt}\right)_{\text{внеш}} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$  - динамические координаты системы (параметры, определяющие состояние рассматриваемой системы), причем  $\vec{x}$  - независимые динамические координаты системы (не связанные уравнениями баланса), а  $\vec{y}$  - зависимые динамические координаты системы (связанные с независимыми переменными  $\vec{x}$  уравнениями баланса);  $\vec{y} = \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})$  - уравнения баланса (энергии, массы, и.т.д), справедливые для замкнутой системы, а  $\vec{P}$  - сохраняющиеся в замкнутой системе величины (энергия, масса соответственно);  $\left(\frac{d\vec{x}}{dt}\right)_{\text{внеш}}$ ,  $\left(\frac{d\vec{y}}{dt}\right)_{\text{внеш}}$  - составляющие скоростей изменения параметров состояния системы, обусловленные взаимодействием

системы с внешними подсистемами;  $\vec{U}$  - условия, в которых находится рассматриваемая система (например, температура химически реагирующей системы, влажность, и.т.д);  $F(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$  - свободная энергия рассматриваемой неравновесной системы;  $\vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$  - термодинамические силы, действующие в рассматриваемой неравновесной системе (градиент  $\vec{\nabla}$  в (1) берется по  $\vec{x}$ , с учетом уравнений баланса  $\vec{y} = \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})$  [4, 5]);  $A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$  - матрица восприимчивостей к термодинамическим силам в рассматриваемой неравновесной системе (положительно-определенная [4, 5]) [4, 5]. Как видно из (1), рассматриваемая система в случае линейного околоравновесного состояния сводится к системе уравнений Онзагера [4 – 8] – системе уравнений (1), в котором матрица восприимчивостей  $A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$  неизменна. В случае явлений тепло- и массопереноса – также к соответствующим уравнениям уравнениям тепло- и массопереноса. Уравнение (1) также сводится к некоторым уравнениям динамики неравновесных процессов, приведенных в [8]. В работах [9, 10] потенциально-потокосый метод применен для моделирования динамики химических превращений в закрытых химически реагирующих системах.

Однако система потенциально-потокосых уравнений (1) не позволяет учесть случайные факторы, которые, как отмечалось выше, являются факторами, определяющими динамику неравновесной системы в ее неустойчивых состояниях. Целью настоящей работы является создание на основе потенциально-потокосого метода, предложенного в [4, 5], аппарата моделирования неравновесных систем, учитывающего случайные факторы.

Для учета случайных факторов, как отмечалось выше и в [3], необходимо в правую часть системы (1) ввести случайную функцию состояния. В работе [8] в правую часть уравнений, аналогичных (1), были введены случайные силы  $\vec{X}_{случ}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}, \omega)$ , где  $\omega$  - вероятность того, что случайная сила принимает конкретное значение (аналогично случайным функциям, приводимым в [3]). С введением случайных сил в соответствие с

$$\vec{X}_{случ}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}, \omega) = A^{-1}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \left( \frac{d\vec{x}}{dt} \right)_{случ}, \quad (2)$$

где  $\left( \frac{d\vec{x}}{dt} \right)_{случ}$  - случайная составляющая скорости протекания неравновесных процессов, уравнение (1) согласно (2) принимает вид

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \left( \vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) + \vec{X}_{случ}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}, \omega) \right) + \left( \frac{d\vec{x}}{dt} \right)_{внеш},$$

$$\vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) = -\vec{\nabla}F(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}), \quad (3)$$

$$\frac{d\vec{y}}{dt} = \left( \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_1} \dots \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_m} \right)_{\vec{P}=\vec{P}(\vec{x}, \vec{y})} A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) + \left( \frac{d\vec{y}}{dt} \right)_{внеш}$$

Определение случайных сил (2) имеет смысл в силу того, что матрица  $A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$  положительно определенная, а значит, невырожденная.

Система (3) в отличие от системы (1), является стохастической дифференциальной, а потому позволяет учесть случайные факторы. Возникает вопрос, а почему в систему (3) включены только случайные термодинамические силы, а случайные составляющие матрицы восприимчивостей не включены?

Для ответа на этот вопрос необходимо отметить, что случайные отклонения скорости протекания неравновесных процессов от детерминированной модели (в частности от модели (1)) обусловлены как флуктуациями условий  $\vec{U}$  протекания неравновесных процессов, что имеет место в любой реальной рассматриваемой системе, так и внутренними флуктуациями. Внутренние флуктуации системы (внутренний шум системы) обусловлены тепловым движением частиц в этих системах

[11, 12]. Это движение в общем случае описывается методом квантовой статистики, которая в частных случаях сводится к классической статистике [11]. Поэтому в эти флуктуации также входят квантово-механические эффекты [11].

Именно тепловое движение частиц вызывает эти отклонения системы, в том числе тепловое движение частиц может вызвать случайные отклонения величин  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$  (макроскопических величин) от их равновесных значений. Т.е. флуктуационные отклонения макроскопических параметров могут даже вызвать увеличение свободной энергии в замкнутой системе (т.е. в системе, находящейся при фиксированных внешних условиях, например, изолированной системе, изобарно-изотермической системе, изохорно-изотермической системе, изобарно-изотермической системе [4, 5]). Однако вероятность такого случайного увеличения свободной энергии в замкнутой системе, соизмеримого с детерминированным уменьшением свободной энергии, пренебрежимо мала [12], такие ситуации имеют место только в масштабах времени, соизмеримых с масштабом времени Вселенной [12]. Поэтому, из вышесказанного следует необходимость введения случайных сил, вызывающих эти внутренние флуктуации, как и было сделано в работе [8] для случаев, описанных в этой работе.

В случае линейной околоравновесной области матрица Онзагера вводится на основании введенной Онзагером гипотезы затухания флуктуаций (внутренних флуктуаций), истолкованной Казимиром [7, 11]. В эту гипотезу входят средние значения скорости изменения случайных параметров (обусловленных внутренними флуктуациями), поэтому матрица Онзагера изначально вводится для усредненных значений случайных скоростей изменения параметров [7, 11]. Говорить о случайных отклонениях среднего значения бессмысленно согласно определению среднего значения случайной величины [3], поэтому говорить о случайных отклонениях Онзагеровской матрицы, обусловленных внутренними флуктуациями, также не имеет смысла. Матрица Онзагера, таким образом, характеризует детерминированную составляющую динамики протекания неравновесных процессов, не обусловленную случайными изменениями внешних параметров  $\vec{U}$ . Поэтому в околоравновесных состояниях в работе [8] и вводятся случайные силы, а случайные составляющие матрицы Онзагера не вводятся.

Аналогично, как было отмечено в работах [4, 5] матрица восприимчивостей  $A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$ , сводящаяся в случае линейной околоравновесной области к матрице Онзагера [4, 5], вводится также на основе детерминированной составляющей скорости протекания неравновесных процессов (для заданных значений внешних параметров  $\vec{U}$ ) - усредненного значения случайной скорости протекания неравновесных процессов, для заданных значений внешних параметров  $\vec{U}$ . Отсюда, матрица восприимчивостей  $A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$  аналогично матрице Онзагера характеризует детерминированную составляющую динамики протекания неравновесных процессов для заданных значений внешних параметров  $\vec{U}$ . Отсюда, для заданных значений параметров  $\vec{U}$  в систему (3) входят только случайные термодинамические силы, а случайные составляющие матрицы восприимчивостей не входят.

Стохастические изменения внешних параметров  $\vec{U}$  вызывают соответствующие изменения матрицы восприимчивостей, термодинамических сил, в том числе и случайных. Из этих случайных изменений и формируется случайная составляющая скорости, обусловленная случайным изменением внешних параметров. Это и отражено в системе уравнений (3).

Как было отмечено выше, случайные флуктуации скорости качественно определяют характер динамики системы в областях неустойчивости системы, а также в

областях с очень малым запасом устойчивости. Поэтому, для анализа влияния флуктуаций на качественный характер движения системы необходимо исследовать движение системы на устойчивость [13]. Для исследования устойчивости могут применяться методы теории устойчивости (первый и второй методы Ляпунова) [13, 14], а также разработанная в работах [15 – 18] методика качественного анализа динамики протекания неравновесных процессов.

В соответствие с этой методикой качественный анализ динамики протекания неравновесных процессов осуществляется путем введения внешних термодинамических сил на основе скорости  $\left(\frac{d\vec{x}}{dt}\right)_{\text{внеш}}$ , разложение этой внешней силы на потенциальную и соленоидальную составляющие, и введения на основе этого разложения обобщенной свободной энергии. Фазовые кривые входят внутрь поверхностей уровня обобщенной свободной энергии, которые смещаются в результате обратной связи [15 – 18]. Благодаря этому стационарные состояния теряют устойчивость, в системе возникают в системе автоколебания. В работах [15 – 18] показано, что анализируя движение фазовой точки внутрь поверхностей уровня обобщенной свободной энергии, в том числе и направление этого движения относительно поверхностей уровня, которое определяется матрицей восприимчивостей, и смещение этих поверхностей уровня в результате обратной связи, можно проанализировать качественный характер динамики рассматриваемой системы, а также, как отмечено в работе [17], проанализировать устойчивость системы. В работе [18] также показано, что потенциально-потокковая структура уравнений (1) дает возможность аналогичным образом проанализировать динамику части фазовых переменных, исходя из динамики оставшейся части фазовых переменных, что дает возможность проанализировать переходные процессы.

В соответствие с [15 – 17] внешние термодинамические силы  $\vec{X}^{(e)}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$  вводятся в соответствие с

$$\vec{X}^{(e)}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) = A^{-1}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \left(\frac{d\vec{x}}{dt}\right)_{\text{внеш}}. \quad (4)$$

Отметим, что введенные в соответствие с (2) случайные термодинамические силы  $\vec{X}_{\text{случ}}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}, \omega)$  не являются ни внешними термодинамическими силами, ни внутренними, т.к. они, как было отмечено выше, обусловлены внутренними флуктуациями системы. Поэтому их в дальнейшем необходимо учитывать отдельно. Согласно (4) уравнение (1) примет вид

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{x}}{dt} &= A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \left( \vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) + \vec{X}^{(e)}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \right), \quad \vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) = -\vec{\nabla}F(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \\ \frac{d\vec{y}}{dt} &= \left( \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_1} \quad \dots \quad \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_m} \right)_{\vec{P}=\vec{P}(\vec{x}, \vec{y})} A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) + \left(\frac{d\vec{y}}{dt}\right)_{\text{внеш}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Разложив внешние термодинамические силы  $\vec{X}^{(e)}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U})$  на потенциальную и соленоидальную составляющие в соответствие с основной теоремой векторного анализа [19]

$$\vec{X}^{(e)}(\vec{x}, \vec{y}(\vec{x}, \vec{P}), \vec{U}) = -\vec{\nabla}_{\vec{x}}F^{(e)}(\vec{x}, \vec{y}(\vec{x}, \vec{P}), \vec{U}) + \vec{X}_{\text{сол}}^{(e)}(\vec{x}, \vec{y}(\vec{x}, \vec{P}), \vec{U}), \quad (6)$$

где  $F^{(e)}(\vec{x}, \vec{P}, \vec{U})$  - потенциал (потенциальная энергия) потенциальной составляющей поля внешних сил  $\vec{X}^{(e)}(\vec{x}, \vec{P}, \vec{U})$ ;  $\vec{X}_{\text{сол}}^{(e)}(\vec{x}, \vec{P}, \vec{U})$  - соленоидальная составляющая поля внешних сил  $\vec{X}^{(e)}(\vec{x}, \vec{P}, \vec{U})$  [15 – 18], введем в соответствие с [15 – 18] обобщенную свободную энергию  $\tilde{F}(\vec{x}, \vec{x}^*, \vec{P}, \vec{U})$ , используя кибернетическую схему замещения неравновесных процессов, приведенную в [15, 16] в соответствие с

$$\tilde{F}(\vec{x}, \vec{x}^*, \vec{P}, \vec{U}) = F(\vec{x}, \vec{P}, \vec{U}) + F^{(e)}(\vec{x}, \vec{P}, \vec{U}) - \vec{X}_{\text{сол}}^{(e)T}(\vec{x}^*, \vec{P}, \vec{U})\vec{x} + G(\vec{x}^*, \vec{P}, \vec{U}), \quad (7)$$

где  $G(\vec{x}, \vec{P}, \vec{U})$  - произвольная функция. Согласно (7) уравнение (5) примет вид

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{x}}{dt} &= -A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \vec{\nabla}_{\vec{x}} \tilde{F}(\vec{x}, \vec{x}^*, \vec{P}, \vec{U}), \vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) = -\vec{\nabla} F(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}), x = \vec{x}^*, \\ \frac{d\vec{y}}{dt} &= \left( \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_1} \quad \dots \quad \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_m} \right)_{\vec{P}=\vec{P}(\vec{x}, \vec{y})} \left( \frac{d\vec{x}}{dt} - \left( \frac{d\vec{x}}{dt} \right)_{\text{внеш}} \right) + \left( \frac{d\vec{y}}{dt} \right)_{\text{внеш}} \end{aligned} \quad (8)$$

который был использован в работах [15 – 18] для качественного анализа динамики протекания неравновесных процессов и из которого следует вышесказанное относительно свойств обобщенной свободной энергии и фазовых кривых [15 – 17].

Уравнение (8) полностью аналогично уравнению (1); оно не позволяет учесть стохастическую составляющую динамики неравновесных процессов. Проведя преобразования уравнения (3), аналогичные преобразованиям (4) – (8), получим потенциально-потокую систему

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{x}}{dt} &= A(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) \left( -\vec{\nabla}_{\vec{x}} \tilde{F}(\vec{x}, \vec{x}^*, \vec{P}, \vec{U}) + \vec{X}_{\text{случ}}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}, \omega) \right), x = \vec{x}^*, \\ \vec{X}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}) &= -\vec{\nabla} F(\vec{x}, \vec{y}, \vec{U}), \\ \frac{d\vec{y}}{dt} &= \left( \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_1} \quad \dots \quad \frac{\partial \vec{y}(\vec{x}, \vec{P})}{\partial x_m} \right)_{\vec{P}=\vec{P}(\vec{x}, \vec{y})} \left( \frac{d\vec{x}}{dt} - \left( \frac{d\vec{x}}{dt} \right)_{\text{внеш}} \right) + \left( \frac{d\vec{y}}{dt} \right)_{\text{внеш}} \end{aligned} \quad (9)$$

эквивалентную системе (3) и учитывающую случайные факторы. Система (9) дополняет систему (8) случайной силой, обусловленной внутренними флуктуациями. Как видно из системы (9) профиль обобщенной свободной энергии также определяется обратной связью и внешними параметрами  $\vec{U}$ , а движение фазовой точки в среднем осуществляется внутрь поверхностей уровня обобщенной свободной энергии. Но в силу случайной составляющей возможно движение фазовой точки также извне поверхностей уровня обобщенной свободной энергии, но, как было сказано выше, вероятность такого движения пренебрежимо мала.

Следует также отметить, что, как видно из (9), смещение фазовой точки определяется в отличие от детерминированной модели (8) не только профилем линий уровня обобщенной свободной энергии и матрицей восприимчивостей, задающей направление движения фазовой точки относительно поверхностей уровня обобщенной свободной энергии, но и случайными термодинамическими силами. Следующее смещение определяет смещение профиля обобщенной свободной энергии, определяемой обратной связью; оно определяется смещением фазовой точки. Таким образом, в состояниях рассматриваемой системы, в которой различные смещения от детерминированного закона движения фазовой точки порождают качественно различные поведения системы, вероятности той или иной эволюции системы определяются распределением вероятностей случайной силы.

Таким образом, для качественного анализа и моделирования динамики протекания неравновесных процессов с учетом случайных факторов, необходимо ввести случайные силы и решить полученные стохастические дифференциальные уравнения. Решая эти стохастические дифференциальные уравнения, необходимо оценить также запас устойчивости рассматриваемого детерминированного решения (если оно устойчиво). В случае достаточно устойчивого движения необходимость в учете случайных факторов отпадает; в случае же неустойчивого движения или устойчивого движения с достаточно малым запасом устойчивости флуктуации определяют дальнейшую эволюцию системы.

Математическая модель (3) и (9) представляет, таким образом, полную математическую модель динамики протекания неравновесных процессов. Она дает возможность полностью воспроизвести рассматриваемую неравновесную систему (при наличии достаточного запаса экспериментальных данных [5]) в том числе и в областях

фазового пространства, сколь угодно отдаленных от равновесного состояния, т.к. в этих областях большое значение имеют случайные факторы. Случайные факторы имеют особенное важное значение в системах, являющихся объектом изучения биофизики, состояние которых далеко от равновесного [20, 21] – именно благодаря такой отдаленности состояния от равновесного эти системы высоко упорядочены [1, 2].

### Литературы

1. **Пригожин И., Кондепуди Д.** Современная термодинамика: от тепловых двигателей до диссипативных структур. – М.: Мир, 2002. – 462 с.
2. **Эбелинг В.** Образование структур при необратимых процессах: введение в теорию диссипативных структур. – М.: Мир, 1979. – 280 с.
3. **Волков И.К., Зуев С.М., Цветкова Г.М.** Случайные процессы. / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 3-е изд. испр. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 448 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XVIII).
4. **Старостин И.Е.** Потенциально-потокосые (квазиградиентные) имитационные математические модели неравновесных процессов // Моделирование неравновесных систем. Материалы тринадцатого всероссийского семинара. / Под ред. В.В. Слабко; Отв. за вып. Г.М. Садовская; – Красноярск: Изд-во Сибирского федерального университета, 2010. – 258 с.
5. **Халютин С.П., Старостин И.Е.** Потенциально-потокосый метод моделирования неравновесных процессов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – Пенза: Издательство ПГУ, 2012. Т. 2 – С. 25 – 35.
6. **Агеев Е. П.** Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 136 с.
7. **Гроот. С.Р.** Термодинамика необратимых процессов. - М.: Гос.изд.техничко-теоретической литературы, 1956. – 281 с.
8. **Бахарева И. Ф.** Нелинейная неравновесная термодинамика. – Саратов: Издательство саратовского университета. 1976. – 150 с.
9. **Быков В.И., Старостин И.Е.** Квазиградиентные модели динамики закрытых химических систем // Химическая физика, 2012. Т. 31, № 1:№ 1.-С.38-42.
10. **Быков В.И., Старостин И.Е.** Квазиградиентные модели динамики химических превращений в закрытых химически-реагирующих системах // Сложные системы. – М.: Издательство МГУ, 2012. № 4. – С. 59 – 77.
11. **Квасников И.А.** Термодинамика и статистическая физика. Т. 3. Теория неравновесных систем. Изд. 2-е, суц. перераб. и доп. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 448 с. В 3-х т.
12. **Сивухин Д.В.** Общий курс физики. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Изд-во «Наука», 1990. – 591 с. В 5-ти т.
13. **Пригожин И., Гленсдорф П.** Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. – М.: Мир, 1973. – 280 с.
14. **Демидович Б.П.** Лекции по математической теории устойчивости. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1967. – 470 с.
15. **Быков В.И., Халютин С.П., Старостин И.Е.** Качественный анализ динамики процессов в неравновесных системах на основе потенциально-потокосого метода // Труды международного семинара «Надежность и качество – 2012». в 2 т. – Пенза: Издательство ПГУ, 2012. 1 т. – С. 488 – 491.
16. **Быков В.И., Старостин И.Е., Халютин С.П.** Анализ формирования диссипативных структур в сложных сосредоточенных системах на основе



потенциально-поточного метода. Кибернетический подход. // Сложные системы. – М.: Издательство МГУ, 2012. № 5. – С. 72 – 89.

17. **Старостин И.Е.** Анализ устойчивости неравновесных систем потенциально-поточным методом с использованием кибернетического подхода. // Моделирование неравновесных систем. Материалы пятнадцатого всероссийского семинара. / Под ред. В.В. Слабко; Отв. за вып. М.Ю. Сенашова; – Красноярск: Изд-во Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, 2012. – 246 с.

18. **Быков В.И., Халютин С.П., Старостин И.Е.** Качественный анализ динамики переходных процессов в неравновесных системах на основе потенциально-поточного метода // Труды международного семинара «ИНФО – 2012». М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2012. С. 232 – 238.

19. **Кумпяк Д.Е.** Векторный и тензорный анализ: учебное пособие. – Тверь: Изд-во ТГУ, 2007. – 160 с.

20. **Рубин А.Б.** Биофизика. Т. 1. Теоретическая биофизика. – М.: Высшая школа, 1997. – 443 с. – в 2-х т.

21. **Рубин А.Б.** Биофизика. Т. 2. Биофизика клеточных процессов. – М.: Высшая школа, 1997. – 443 с. – в 2-х т.

## **РАЗЪЮСТИРОВКИ НЕПЛОСКИХ КОЛЬЦЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ**

Гуртовая П.В., Савельев И.И., Стахмич Ю.В.  
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ*

В статье показано применение метода ABCD-матриц для расчета пространственных параметров неплоского кольцевого оптического резонатора, имеющего те или иные деформации осевого контура.

### **Misalignments of nonplanar ring optical resonator. Gurtovaya P.V., Saveliev I.I., Stakhmich Yu.V.**

In article application of a method of ABCD-matrixes for calculation of spatial parameters of the nonplanar ring optical resonator having those or other deformations of an axial contour is shown.

Неточное изготовление, разъюстировка в процессе работы отражающих и преломляющих элементов резонатора, введение в резонатор дополнительных оптических компонентов — все эти «возмущения» приводят к деформации его осевого контура и его уходу от оси элементов резонатора. Это вызывает рост дифракционных потерь, снижение мощности, появление невзаимности встречных направлений и ряд других нежелательных следствий.

Любая конкретная погрешность сказывается по-разному в различных резонаторах. В то же время различные погрешности, приводящие к одинаковым деформациям осевого контура, эквивалентны по величине вызываемого ими эффекта. Очевидно, что именно деформация однозначно определяет указанные эффекты. Анализ деформаций контура в зависимости от различных «возмущающих» моментов (в линейном приближении) составляет предмет настоящей работы.

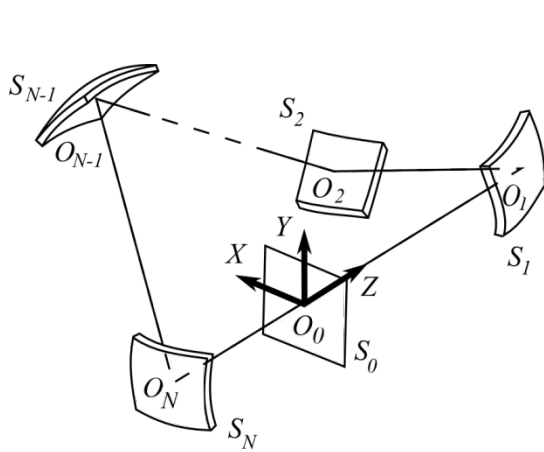


Рис. 1.

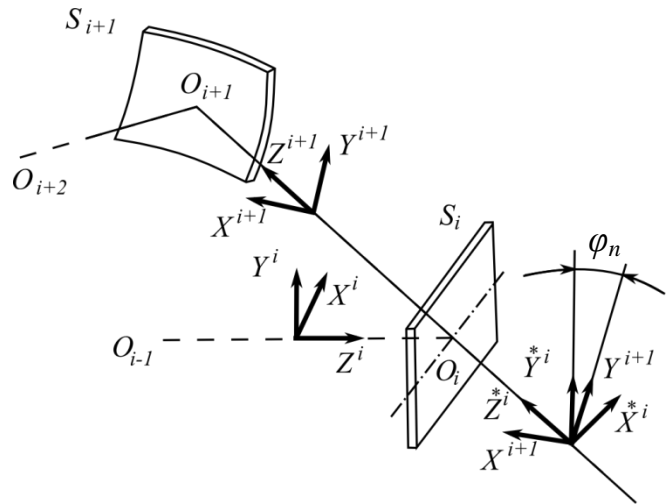


Рис. 2.

Рассмотрим кольцевой оптический резонатор, осевой контур которого образует пространственный  $N$ -угольник (рис. 1). Поскольку оптический контур резонатора имеет излом, то при отражении в зеркале  $S_i$  система координат  $\{X^i, Y^i, Z^i\}$   $i$ -го плеча (между зеркалами  $S_{i-1}$  и  $S_i$ ) будет переходить в систему координат  $i+1$ -го плеча, повернутую относительно оси  $Z$  на угол  $\varphi_i$  разворота плоскостей падения зеркал  $S_i$  и  $S_{i+1}$  (рис. 2, звездочкой отмечены координаты «отраженной» системы).

Воспользуемся методом ABCD-матриц, подробно описанным в [1].

Пусть

$$\vec{R}_0 = \begin{pmatrix} x \\ y \\ \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \quad (1),$$

- лучевой вектор на опорной плоскости  $O_0$  рассматриваемого резонатора, расположенной в непосредственной близости от зеркала  $S_1$ . Тогда можно записать [1]:

$$\vec{R}'_1 = \hat{M}_{R1} \vec{R}_0 + \Delta_1 \quad (2),$$

где

$$\hat{M}_{R1} = \hat{M}_{RP} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

или

$$\hat{M}_{R1} = \hat{M}_{RS} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{2}{R \cdot \cos \theta} & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -\frac{2 \cdot \cos \theta}{R} & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

- матрица плоского или сферического зеркала соответственно в зависимости от формы зеркала  $S_l$  [1],  $\Delta_l$  - вектор ошибки для 1 зеркала, который представляет собой сдвиг выходного лучевого вектора при условии, что входной луч является осевым. Впервые вектор  $\Delta$  был введен в работе [2] и, применительно к нашему представлению лучевых векторов, может быть записан в виде:

$$\Delta_1 = \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta y_1 \\ \Delta \alpha_1 \\ \Delta \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 \cdot \sin \theta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{f_{x_1}} \cdot \cos \theta & 0 & -\frac{1}{f_{x_1}} \cdot \sin \theta & 0 & 2 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{f_{y_1}} & 0 & 2 \cdot \cos \theta & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \xi_1 \\ \Delta \eta_1 \\ \Delta \zeta_1 \\ \delta \xi_1 \\ \delta \eta_1 \\ \delta \zeta_1 \end{pmatrix} \quad (5).$$

Здесь  $\Delta$  - линейное смещение зеркала,  $\delta$  - поворот зеркала вокруг соответствующей оси (см. рис. 3),  $f_x$  и  $f_y$  - фокусы зеркала в плоскостях  $x$  и  $y$ ,  $\theta$  - угол падения луча на зеркало.

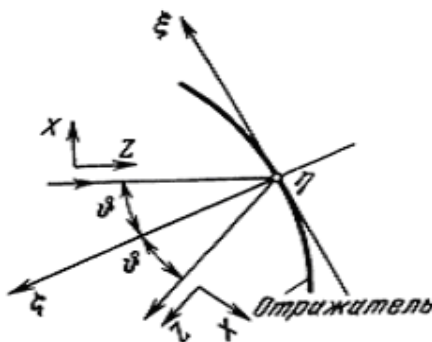


Рис 3. К введению системы координат  $\xi, \eta, \zeta$  для определения смещений и поворотов отражателя

После отражения от зеркала лучевой вектор  $\vec{R}_1$  необходимо умножить на матрицу поворота луча

$$\hat{S}(\varphi)_1 = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 & \sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \varphi_1 & \sin \varphi_1 \\ 0 & 0 & -\sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

и матрицу его перемещения [1]

$$\hat{M}_{T1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & a_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7).$$

Получим:

$$\vec{R}_1 = \hat{M}_{T1} \hat{S}(\varphi)_1 \vec{R}'_1 \quad (8).$$

Подставим (2) в (8):

$$\vec{R}_1 = \hat{M}_{T1} \hat{S}(\varphi)_1 \hat{M}_{R1} \vec{R}'_1 + \hat{M}_{T1} \hat{S}(\varphi)_1 \Delta_1 \quad (9).$$

По аналогии для следующих зеркал:

$$\vec{R}'_2 = \hat{M}_{R2} \vec{R}_1 + \Delta_2 \quad (10),$$

$$\begin{aligned} \vec{R}_2 = & \hat{M}_{T2} \hat{S}(\varphi)_2 \hat{M}_{R2} \hat{M}_{T1} \hat{S}(\varphi)_1 \hat{M}_{R1} \vec{R}'_1 + \\ & + \hat{M}_{T2} \hat{S}(\varphi)_2 \hat{M}_{R2} \hat{M}_{T1} \hat{S}(\varphi)_1 \Delta_1 + \hat{M}_{T2} \hat{S}(\varphi)_2 \Delta_2 \end{aligned} \quad (11),$$

$$\vec{R}'_3 = \hat{M}_{R3} \vec{R}_2 + \Delta_3 \quad (12)$$

и т.д. Проведя аналогичные преобразования и обобщив выражения для  $N$  зеркал, получим:

$$\vec{R}_N = \sum_{i=0}^N \left( \left( \prod_{j=i}^N A_j \right) \cdot G_i \right) \quad (13),$$

где

$$G_i = \begin{cases} \vec{R}'_0 & \text{при } i = 0, \\ \hat{M}_{Ri}^{-1} \cdot \Delta_i & \text{при } i > 0 \end{cases} \quad (1),$$

$$A_j = \begin{cases} E & \text{при } j = 0, \\ \hat{M}_{Tj} \hat{S}(\varphi)_j \hat{M}_{Rj} & \text{при } j > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\prod_{j=i}^N A_j = A_N \cdot A_{N-1} \cdot \dots \cdot A_i \quad (3)$$

или, в рекуррентном виде:

$$\vec{R}'_i = \hat{M}_{Ti} \hat{S}(\varphi)_i \left( \hat{M}_{Ri} \vec{R}'_{i-1} + \Delta_i \right) \quad (14).$$

Учитывая, что осевой луч в лазерном резонаторе самосопряжен, можно утверждать, что

$$\vec{R}_N = \vec{R}_0 \quad (15).$$

Исходя из этого можно записать:

$$\vec{R}_0 = \left( \sum_{i=1}^N \left( \left( \prod_{j=i}^N A_j \right) \cdot G_i \right) \right) \left( E - \prod_{i=1}^N A_j \right)^{-1} \quad (16),$$

где:

$$\prod_{j=i}^N A_j = A_N \cdot A_{N-1} \cdot \dots \cdot A_i \quad (17),$$

$$\prod_{i=1}^N A_i = A_N \cdot A_{N-1} \cdot \dots \cdot A_1 \quad (18).$$

### Литература

1. И.И. Савельев, Ю.В. Стахмич. Обобщение метода ABCD – матриц на случай неплоского кольцевого оптического резонатора // Труды IX Межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в

космической технике, электронике, экологии и медицине» / под ред. профессора Б.С. Ишханова и Л.С. Новикова / МГУ. – 2008. – С. 79 – 83.

2. Е.Ф. Ищенко. Открытые оптические резонаторы. - М.: Советское радио, 1980. – 208 с.

## ИНТЕНСИВНОСТЬ И ФАЗА ПОЛЯ ПОПЕРЕЧНЫХ МОД СТИГМАТИЧНОГО ПЛОСКОГО И НЕПЛОСКОГО РЕЗОНАТОРА

Савельев И.И., Стахмич Ю.В.  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В статье проанализированы зависимости интенсивности и фазы поля первых поперечных мод от поперечных координат. Показано, что в определённых приближениях распределение поля можно представить в виде суперпозиции произведений векторов, задающих состояние поляризации и не зависящих от поперечных координат, на скалярные функции, дающие поперечное распределение поля.

### **Intensity and phase of a field of cross-section modes of planar and nonplanar stigmatic resonator. Saveliev I.I., Stakhmich Yu.V.**

In the article dependences of an intensity and a phase of a field of the first cross-section modes on cross-section co-ordinates are analysed. It is shown that in defined approximation it is possible to present field distribution in the form of superposition of products of the vectors setting a condition of the polarisation and not dependent on cross-section co-ordinates, on the scalar functions, giving cross-section distribution of a field.

Кольцевым неплоским резонаторам посвящено значительное число работ [1-3], однако в большинстве из них рассматриваются характеристики продольных мод. Поперечные моды стигматического неплоского кольцевого оптического резонатора исследуются в работе [4], однако в ней описывается только интенсивность поля.

В настоящей работе показаны распределения как скалярных амплитуд, так и фаз поля поперечных мод резонатора, описанного в работе [4].

Используя метод *ABCD*-матриц, обобщённый на случай неплоского резонатора в работе [5], можно получить матрицу полного обхода резонатора. Найдя собственные числа этой матрицы, можно получить спектр частот поперечных мод стигматического неплоского резонатора:

$$\nu_{mn} = \frac{c}{2\pi L} \{2\pi l + (m + n + 1)\Theta + (m - n \pm 1)\Phi\},$$

где  $L$  – периметр резонатора,  $m$ ,  $\Phi$  – угол поворота изображения после полного обхода лучом резонатора, рад,  $l$  – целое число волн, укладываемых вдоль оси резонатора,  $c$  – скорость света, м/с,  $m$ ,  $n$  – поперечные индексы мод,  $\Theta$  – характеристический угол.

Зная собственные векторы матрицы *ABCD*, можно построить распределение поля поперечных мод резонатора:

$$\psi_{mn} = \psi_{00} H_{mn}(t, \nu),$$

где  $\psi_{00}$  – функция распределения поля для моды ТЕМ<sub>00</sub>. Вид функции  $\psi_{00}$  для стигматического резонатора:

$$\psi_{00} = \frac{1}{\sqrt{2L}} \exp\left(-\frac{k \sin \Theta (x^2 + y^2)}{2L}\right) \exp i\left(\frac{k(x^2 + y^2)}{4f} + \frac{\pi}{4}\right),$$

где  $k$  – волновое число,  $L$  – периметр резонатора,  $m$ ,  $x$ ,  $y$  – координаты точки на рассматриваемой плоскости, перпендикулярной направлению распространения луча,  $m$ ,  $n$  – поперечные индексы мод,  $f$  – фокусное расстояние линзы,  $m$ ,  $\Theta$  – характеристический угол,  $H_{mn}(t, v)$  – обобщенный двумерный полином Эрмита [6]:

$$H_{mn}(t, v) = t_1^m t_2^n - \left[ \frac{1}{2} \frac{m(m-1)}{1} v_{11} t_1^{m-2} t_2^n + \frac{mn}{1} v_{12} t_1^{m-1} t_2^{n-1} + \frac{1}{2} \frac{n(n-1)}{1} v_{22} t_1^m t_2^{n-2} \right] + \dots$$

Параметры полиномов Эрмита для стигматического резонатора:

$$t = i2k \sin \theta \begin{bmatrix} x + iy \\ x - iy \end{bmatrix},$$

$$v = 4kL \sin \theta \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Функция распределения поля в резонаторе комплексная, физический смысл имеют квадрат ее модуля (интенсивность поля) и аргумент (фаза поля).

Были аналитически получены выражения для амплитуды и фазы поля мод  $TEM_{00}$ ,  $TEM_{01}$ ,  $TEM_{10}$  и  $TEM_{20}$ . Используя полученные выражения, были проведены численные расчеты интенсивностей и фаз для случая плоского и неплюского стигматического резонатора со следующими параметрами: расстояние между зеркалами резонатора  $a = 0.04$  м, фокусное расстояние линзы  $f = 1.2$  м, длина волны  $\lambda = 0.63 \cdot 10^{-6}$  м, интервалы декартовых координат на плоскости, перпендикулярной направлению распространения луча  $x = [-0.002; 0.002]$ ,  $y = [-0.002; 0.002]$

Зависимости интенсивностей исследованы в работе [4], где было показано, что зависимости интенсивностей мод в плоских и неплюских резонаторах заметно отличаются. Если в плоских резонаторах они имеют зеркальную симметрию относительно поперечных осей, то в неплюских резонаторах они приобретают осевую симметрию.

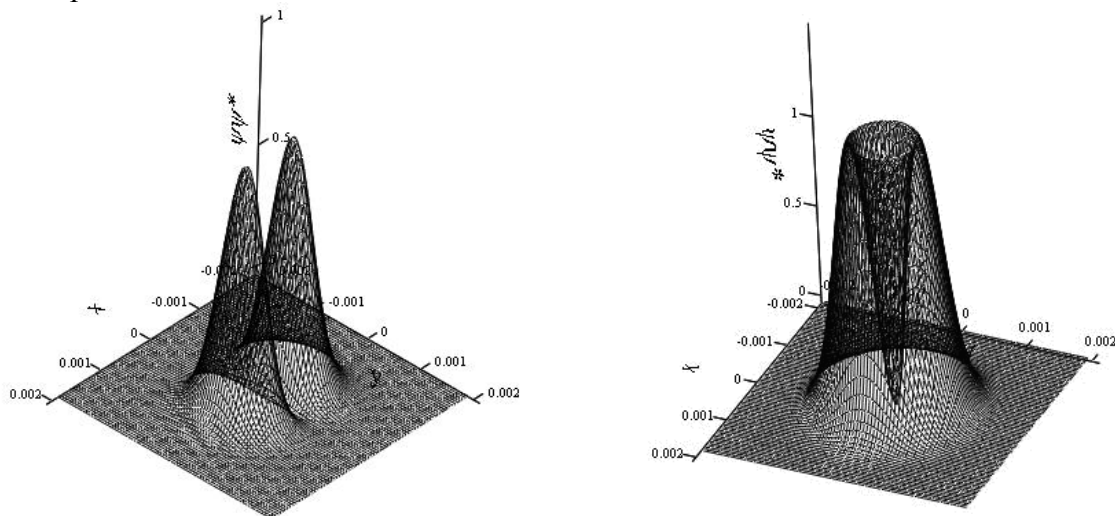


Рис. 1. График распределения интенсивности поля для  $TEM_{10}$  для плоского (слева) и

*неплоского (справа) резонатора*

Распределение фаз в ещё большей степени зависит от неплоскостности резонатора. Если для основной и симметричных по поперечным индексам  $m$  и  $n$  мод эти отличия малозаметны (рис. 2), то для мод высшего порядка они могут отличаться радикально (рис. 3, 4).

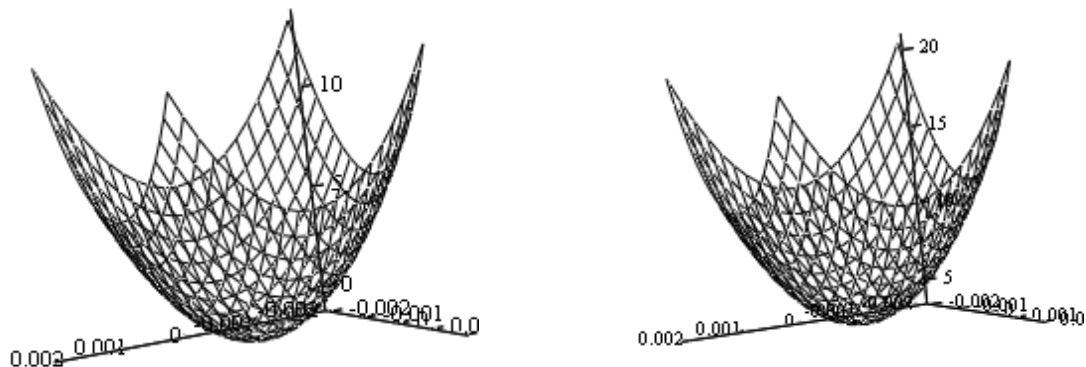


Рис. 2. График распределения фазы поля для  $TEM_{00}$  для плоского (слева) и неплоского (справа) резонатора

Вообще говоря, реальные функции распределения поля мы должны представить в виде комбинаций собственных функций, вырожденных по частоте, с учетом поляризации:

$$E = \Psi_{mn} \vec{p}_1 \pm \Psi_{mn} \vec{p}_2.$$

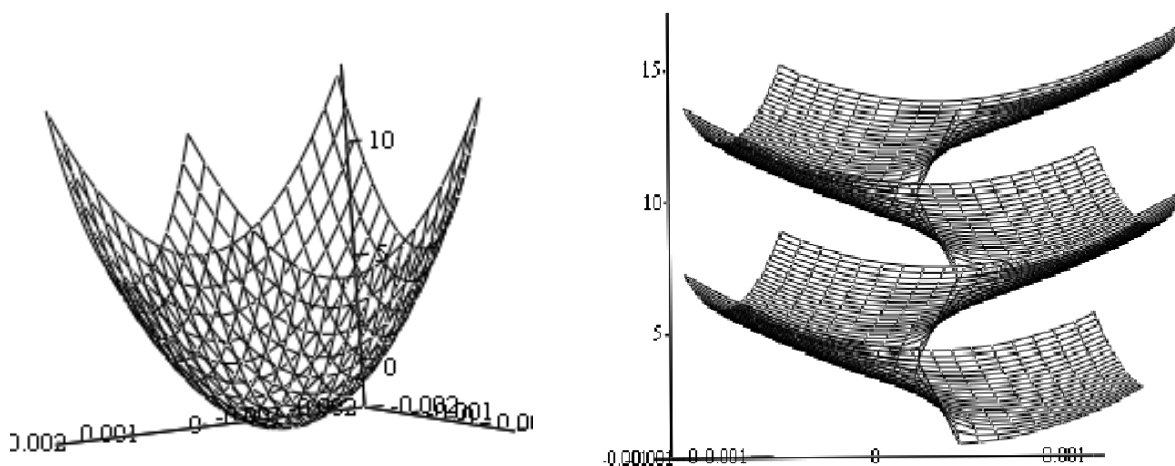


Рис. 3. График распределения фазы поля для  $TEM_{01}$  для плоского (слева) и неплоского (справа) резонатора

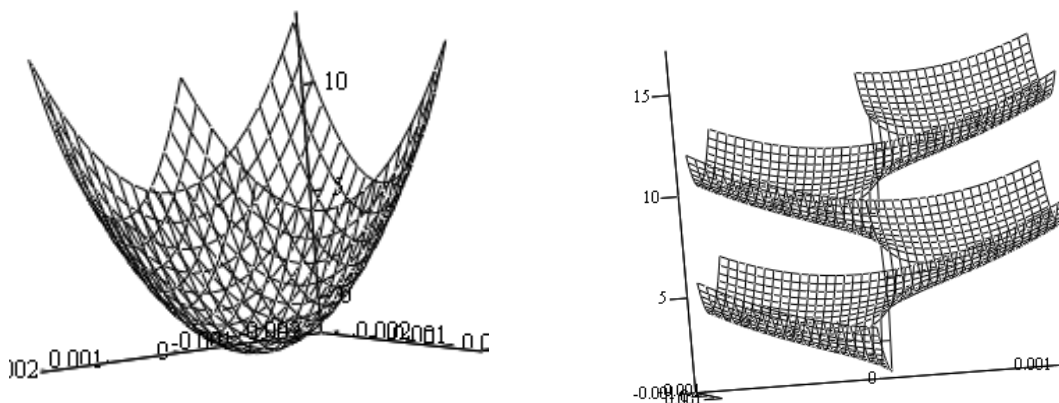


Рис. 4. График распределения фазы поля для  $TEM_{10}$  для плоского (слева) и неплоского (справа) резонатора

Учитывая, что комбинировать собственные функции мы можем только в случае равных частот, то комбинацию функций мы можем получить только для  $E_{10}$ , что следует из (1). Соответственно, в зависимости от поляризационного вектора  $p$ , мы получим 2 волновых комбинации:  $E_{101}$  и  $E_{10-1}$ :

$$E_{101} = \psi_{01} \vec{p}_1 + \psi_{10} \vec{p}_{-1} = \psi_{01} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} + \psi_{10} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix},$$

$$E_{10-1} = \psi_{01} \vec{p}_1 - \psi_{10} \vec{p}_{-1} = \psi_{01} \begin{bmatrix} 1 \\ -i \end{bmatrix} - \psi_{10} \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix}.$$

Тогда распределение фазы для  $TEM_{10}$  в неплоском резонаторе будет иметь вид как на рис. 5, справа.

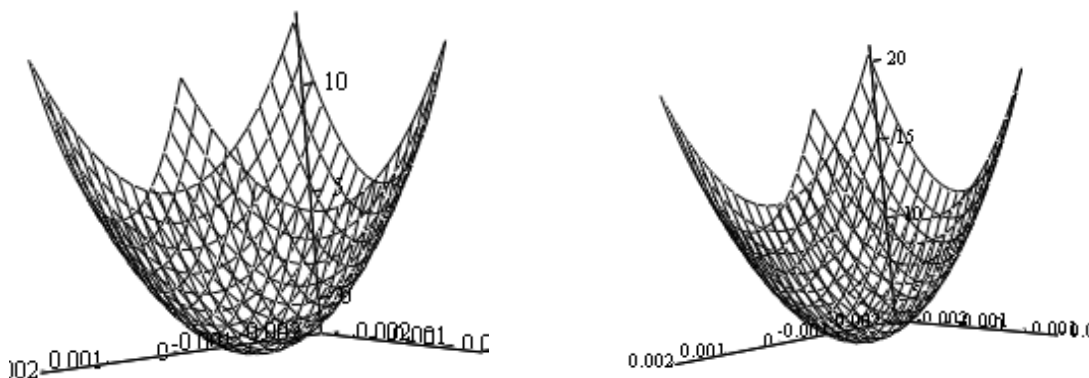


Рис. 5. График распределения фазы поля для  $TEM_{10}$  для плоского резонатора (слева) и для неплоского резонатора с учетом поляризации (справа)

При этом поляризация для  $E_{101}$  и  $E_{10-1}$  будет иметь вид, приведенный на рис. 6.



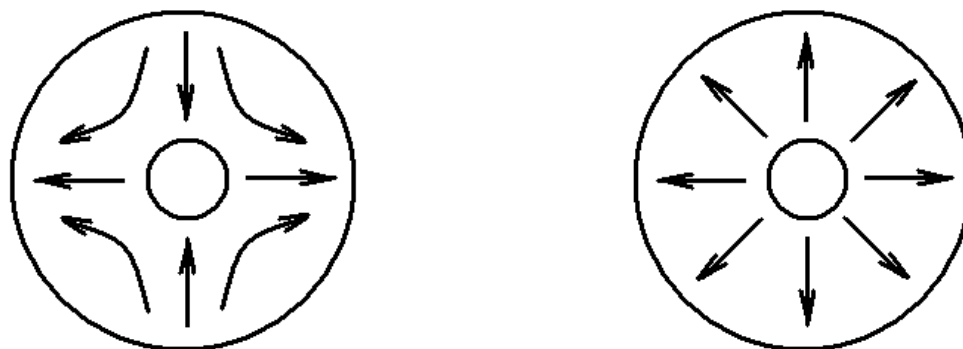


Рис. 6. Поляризация для  $E_{101}$ , (слева) и для  $E_{10-1}$  (справа)

### Литература

1. М.М. Попов. Резонаторы для лазеров с развёрнутыми направлениями главных кривизн. Метод параболического уравнения // Оптика и спектроскопия. – 1968. - Т. 25, №2.
2. J.A. Arnaud. Nonorthogonal Optical Waveguides and Resonators // The Bell Technical Journal. – 1970. – Vol. 49, № 11. - P. 2311 - 2348.
3. И.И. Савельев, А.М. Хромых. Продольные моды объемного кольцевого резонатора // Квантовая электроника. – 1976. - Т. 3, выпуск 7. - С. 1517- 1526.
4. П.В. Молчанов, И.И. Савельев, Ю.В. Стахмич. Пространственное распределение электромагнитного поля и спектр частот поперечных мод стигматичного неплоского кольцевого оптического резонатора // Труды X Межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» / под ред. профессора Б.С. Ишханова и профессора Л.С. Новикова / МГУ. – 2009. – С. 38 – 42.
5. И.И. Савельев, Ю.В. Стахмич. Обобщение метода ABCD – матриц на случай неплоского кольцевого оптического резонатора // Труды IX Межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине» / под ред. профессора Б.С. Ишханова и профессора Л.С. Новикова / МГУ. – 2008. – С. 79 – 83.
6. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Пер. с. англ. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЭМС-УСТРОЙСТВ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ НАКАТОМ УПРУГИХ ЛЕНТ НА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПЛЕНКУ

Устинов В.Ф., Степанов А.С.  
Москва, «НИУ «МЭИ»

Разработана методика построения характеристик реверсивного микродвигателя вращения с электростатическим накатом упругих лент на сегнетоэлектрическую пленку. Определены допустимые области основных параметров сенсорного устройства. Для линейной модели сенсорного устройства приведен анализ чувствительности прибора.

**Research of the dynamics MEMS devices with electrostatic rolling flexible petals on a ferroelectric film. Ustinov V.F., Stepanov A.S.**

Developed procedure construction characteristic of reversible rotation micromotor with electrostatic rolling metallic flexible petals on the surface of the ferroelectric film. Evaluate accessible region of basic the parameters sensor device. The linear model is a sensitivity device sensitivity analysis.

Российскими учеными из сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН) был предложен новый принцип преобразования энергии, основанный на эффекте обратимого электростатического наката тонких металлических лент на поверхность сегнетоэлектрической пленки. Проведенные исследования выявили основные преимущества этого эффекта: высокое быстродействие, обратимость и технологичность. На основании полученных результатов учеными было рассмотрено применение указанного эффекта в ряде устройств: планарный микродвигатель [1], микроклапаны [2], микроинжекторы микроструй жидкости [3],

В настоящей работе исследуется динамика реверсивного микродвигателя вращения [4], и сенсорного устройства [5] с системой емкостных микроактюаторов с электростатическим накатом упругих лент на сегнетоэлектрическую пленку. Микродвигатель может найти применение в построении микропозиционеров, микрооптических устройств, микророботехнических систем медицинского назначения. Функционирование сенсорного устройства возможно в качестве измерителя силового, кинематического возмущений в прямом и в компенсационном режимах. Данное устройство может использоваться в создании блоков измерения ускорений для малых космических летательных аппаратов, в системах навигации мобильных роботов, датчиков давления.

При математическом моделировании движения микроактюатор представляется в виде комбинации слайдера с гибкой пластиной (лентой), находящейся в состоянии цилиндрического изгиба под действием электростатического давления. Учет неоднородности электрического поля при определении электростатической нагрузки реализован на основе физической модели, в которой силовые линии поля близки к окружности [6].

Для нахождения реакций лент на подвижный элемент микроактюатора при их накате на сегнетоэлектрическую пленку решена сингулярно возмущенная краевая задача [7], нелинейность которой определяется электростатическим давлением и большими деформациями. Решение системы уравнений краевой задачи построено в виде асимптотических разложений, содержащих комбинации функций медленных и быстрых переменных (пограничные функции). Для разложений и построения пограничных функций используются два малых параметра: нормализованная величина изгибной жесткости и толщина сегнетоэлектрической пленки.

Для исследования динамик микродвигателя и сенсорного устройства применяются результаты двух приближений решения нелинейной краевой задачи.

Разработана методика построения характеристик микродвигателя. Исследован процесс разгона и квазиустановившийся режим [5] микродвигателя.

По результатам анализа переходных процессов при внезапном приложении внешнего воздействия построены области возможных значений основных параметров сенсорного устройства исходя из значений максимальных механических напряжений, углов поворота сечений лент, времени переходного процесса и уровня нелинейности для параметра чувствительности устройства, представляющее собой отношение добавочного напряжения, необходимого для возвращения чувствительного элемента в исходное положение, к величине внешнего воздействия. Для принятого в современных МЭМС-устройствах уровня нелинейности параметра чувствительности менее 0,1% построена линейная модель системы, исключая необходимость использования

методов осреднения, на основе которой оценено влияние базовых параметров на изменение параметра чувствительности.

Определены области допустимых значений основных параметров сенсорного устройства исходя из значений допустимых механических напряжений и максимальных углов поворота сечений лент, а также от величины линейной зоны для параметра чувствительности, представляющее собой отношение добавочного напряжения, необходимого для возвращения чувствительного элемента в исходное положение, к величине внешнего воздействия. В указанной зоне построена линейная модель сенсорного устройства. Установлены влияния базового напряжения и базового угла наклона лент на величину параметра чувствительности системы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-08-01072-а).

### Литература

1. **Baginsky I.L., Kostsov E.G.** High-energy capacitive electrostatic micromotors // Journal of micromechanical and microengineering. 2003. Vol. 13. P. 190–200.
2. **Косцов Э.Г., Камышлов В.Ф.** Быстродействующие электростатические микроклапаны // Нано- и микросистемная техника. 2006. № 12. С. 57-59.
3. **Ахметов Д.Г., Косцов Э.Г., Соколов А.А.** Микроэлектромеханические электростатические высокопроизводительные инжекторы микроструй жидкости // Нано- и микросистемная техника. 2008. № 1. С. 53-60.
4. **Реверсивный** электростатический микродвигатель вращения: пат. на пол. мод. 123269 Рос. Фед.: МПК<sup>51</sup> H02N1/00 / В. Ф. Устинов, А.С. Степанов: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ». – 2012115230/07; заявл. 18.04.2012; опубл. 20.12.2012.
5. **Устинов В.Ф., Степанов А.С.** Исследование динамики моделей микромеханических устройств с электростатическим накатом // Сборник расширенных тезисов Международной молодежной научно-практической конференции «Мобильные роботы и мехатронные системы», посвященной 300-летию М.В. Ломоносова и 90-летию со дня рождения акад. Д.Е. Охоцимского. Под редакцией проф. Ю.Г. Мартыненко. – М: Изд-во Московского университета. 2011. С. 154-160.
6. **Устинов В.Ф., Степанов А.С.** Моделирование динамики электростатического планарного микродвигателя // Вестник МЭИ. 2010. №4. С. 12-19.
7. **Устинов В.Ф., Степанов А.С.** Анализ динамики разгона и квазиустановившегося режима электростатического планарного устройства // Вестник МЭИ. 2012. №1. С. 78-84.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛУНЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОЛУЧАЕМОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Титов А.Ю.  
*МИЭМ НИУ ВШЭ*

Представлены результаты исследования параметров шероховатости имитационной модели лунчатой поверхности, полученной в результате электроэрозионной обработки. Приведены графики зависимостей этих параметров от энергии импульса единично разряда. Проведён сравнительный анализ полученных результатов с эмпирическими данными, полученными при исследовании реальной поверхности.

**Simulation of holed surface obtained by electrical discharge machining. Titov****A.Yu.**

The results of investigation of roughness parameters of simulation model of holed surface obtained by electrical discharge machining are presented. The plots of dependences of these parameters on the pulse energy sporadically discharge are shown. A comparative analysis of the results with empirical data obtained in the study of the real surface is run.

**Введение**

В данной работе рассматривается имитационная модель электроэрозионного формообразования. Здесь используется метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы при электроэрозионной обработке так, как они проходили бы в действительности. В программе, реализованной в программном пакете *MATLAB*, взаимодействующие электроды представлены в виде двумерных массивов анода –  $A(m,m)$  и катода –  $K(m,m)$ . Количество элементов  $m$  в массиве соответствует размеру электродов в выбранном масштабе, например один элемент соответствует 1 микрометру. Значения чисел в каждом элементе массива соответствуют местной высоте электрода и местному межэлектродному расстоянию. Таким образом поверхности электродов разбиваются на элементарные площадки, каждая из которых имеет адрес – координаты в соответствующих массивах. В среде *MATLAB* электроды могут быть визуализированы. Система программным путем инициирует некоторый вероятностный процесс, имитирующий возникновение разрядов. При этом необходимо совместить два вероятностных процесса: случайный характер задержки пробоя во времени и вероятностный характер расположения разрядов на плоскости. Первоначально задаётся некоторая фиксированная величина энергии разряда. [1]

В основу построения имитационной модели положены физические принципы генерации электрического разряда, определение места электрического пробоя, процессы термического разрушения материала (процессы плавления и испарения), способы эвакуации продуктов электрической эрозии. Многочисленные исследования поверхности после электроэрозионной обработки и экспериментальных данных [2] выявили многие закономерности при описании формы единичной лунки (рис. 1). Предполагается, что лунка имеет форму шарового сегмента, соответственно, имеет два характеризующих её параметра – диаметр и глубину, их отношение известно как коэффициент формы лунки. Для различных металлов имеется эмпирическое значение коэффициента формы лунки. В данной работе в качестве материала рассматривается медь, для неё положено значение  $k = 5$ . По краям лунка окаймлена валиком, объём которого оставляет около 20% от общего объёма удалённого металла.

На самом деле, как видно на рис. 1, форма лунки, вообще говоря, не является идеально сферической. Искажение формы лунки зависит от ряда факторов. Одним из них является силовое воздействие струй паров, которое не только формирует металл валика, окаймляющего лунку, но и обуславливает крайне неравномерное перемещение микрообъёмов ещё не застывшего металла лунки. Кроме того, на поверхность лунки в большом количестве попадают микропорции металла электрода-инструмента и обрабатываемой заготовки, что также приводит к искажению профиля лунки. [2]

В модели предполагается, что поверхность изначально идеально гладкая. В процессе воздействия импульса одного электрического разряда по поверхности образуется

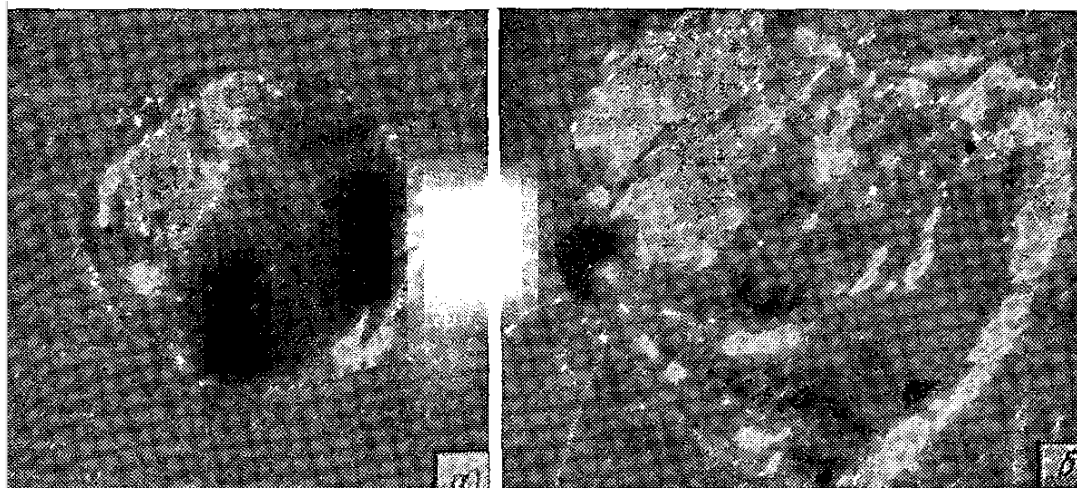


Рис. 1. Фотография единичной лунки, образовавшейся при обработке стали 4X13  $I_{cr} = 50$  А,  $f = 1$  кГц (X35) (а); сталь Ст3  $I_{cr} = 20$  А,  $f = 1$  кГц (X70) (б)

единичная лунка (рис. 2). Поверхность, полученная в результате воздействия нескольких импульсов электрического разряда образуется путём перекрывания подобных единичных лунок между собой, и является объектом исследования в данной работе. При этом параметры процесса воздействия каждого разряда определяются также в зависимости от рельефа поверхности, полученной в результате совокупного воздействия всех предыдущих разрядов, т.е. итерационно.

В данной работе с помощью модели было проведено сравнение результатов моделирования с существующей гипотезой о зависимости параметров шероховатости от энергии импульса. Для этого определялись параметры шероховатости  $R_a$  и  $R_z$ , а также среднее межэлектродное расстояние для лунчатой поверхности при воздействии на неё 200 разрядов, т.е. при перекрытии 200 лунок. Расчёт был проведён для диапазона энергий от 1 до 10 мДж.

На рис. 3 приведена модель единичной лунки для квадратного участка детали размером 50 мкм при высокой степени разрешения, равной 10. Под степенью разрешения здесь и в дальнейшем мы будем понимать число дискретных единиц модели, соответствующих одному микрометру. В данном случае, например, одна дискретная единица соответствует 0,1 мкм. Энергия импульса 500 мкДж. Координаты центра электрического пробоя для единичной лунки заданы фиксированными, равными центру массива (250; 250).

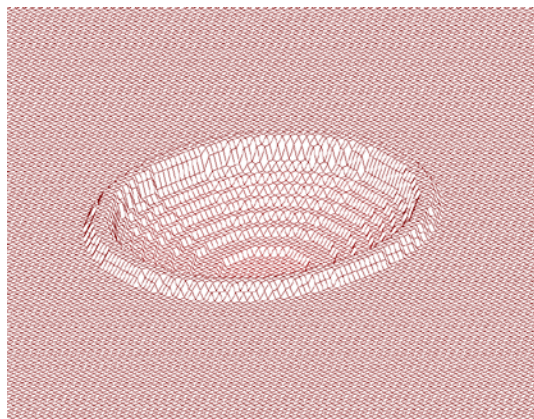


Рис. 2 Модель единичной лунки

### Сведения о единичной лунке.

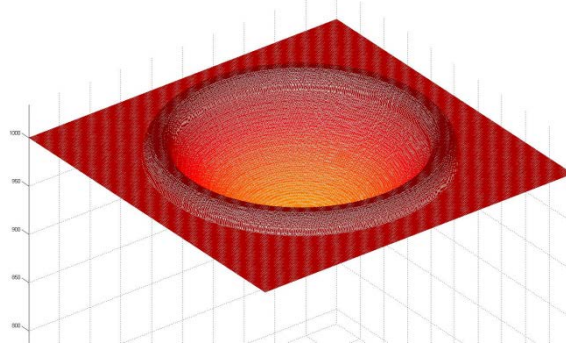


Рис. 3 Модель единичной лунки при высокой степени разрешения

В основу была положена матрица, значение каждого элемента которой соответствовало отклонению координаты высоты от первоначального значения (исходной поверхности) в соответствующей точке. Рассчитывался объём лунки как линейная функция энергии импульса ( $V_{л} = k_{ев} * E_{л}$ ), исходя из которого вычислялись геометрические параметры лунки: глубина  $h_{л} = [24V_{л}/\pi(3K_f + 4)]$ , где  $K_f$  - коэффициент формы и радиус  $r_{л} = K_f h_{л}/2$

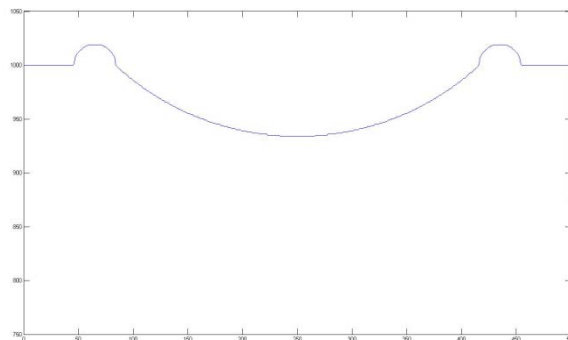


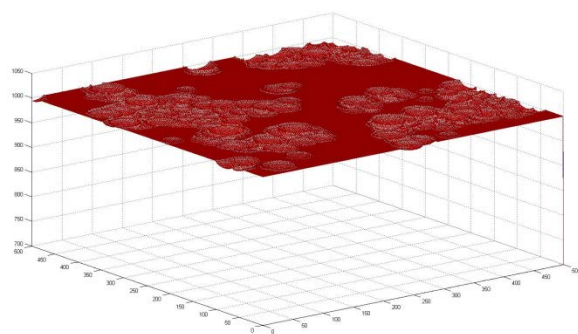
Рис. 4 Профиль единичной лунки (1 ед = 100 нм, E = 0,5 мДж)

В программе также определяется значение среднего межэлектродного расстояния, как разность суммы всех элементов матрицы катода и суммы всех элементов матрицы анода, делённая на площадь поверхности детали.

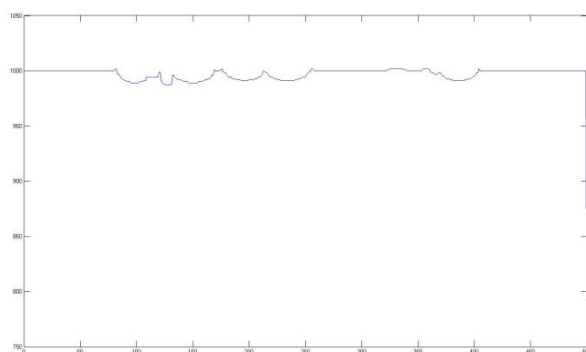
#### Моделирование поверхности.

Здесь рассматривается вопрос, как будут зависеть параметры шероховатости поверхности при наложении лунок друг на друга с последующим образованием поверхности? Для исследования этого вопроса было проведено моделирование поверхности при том же диапазоне энергий (1 – 10 мДж) и степени разрешения 1 ед. = 1 мкм. Учитывался тот факт, что не вся энергия импульса расходовалась на образование каждой из единичных лунок. Так что при одних и тех же условиях можно было получить совершенно разные параметры моделирования. Тем не менее, для каждого значения энергии, оно было проведено только один раз. Исследовались параметры шероховатости  $R_a$  и  $R_z$ . и  $R_{max}$ . Первые два определялись стандартным образом по профилю, полученному при сечении поверхности плоскостью, проходящей через центр детали и параллельной одной из её боковых стенок. Что касается  $R_{max}$ , то он был определён по профилю, полученному при сечении плоскостью, проходящей через наибольший выступ и наименьшую впадину поверхности и перпендикулярной ей, как разность максимального и минимального элементов матрицы анода.

Для наглядности, приводятся некоторые модели поверхности при энергиях 1, 3, 7 и 10 мДж и их профили:

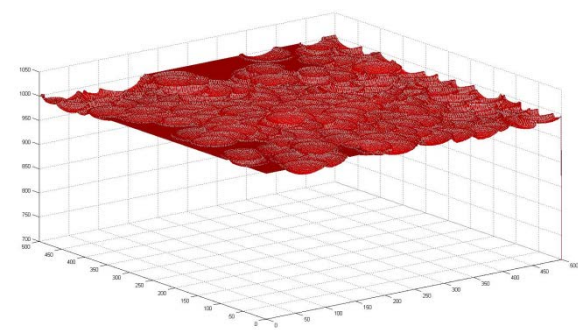


а)

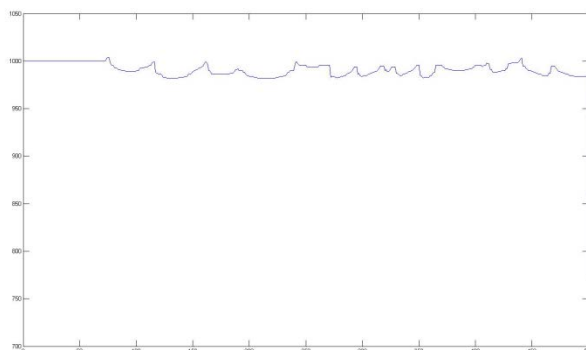


б)

Рис. 4. Модель лунчатой поверхности при числе разрядов 200 и энергии импульса 1 мДж. а) – модель, б) – профиль

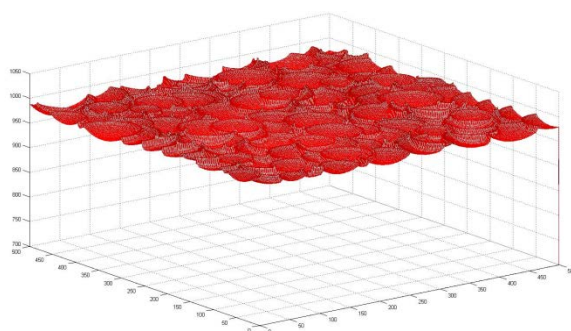


а)

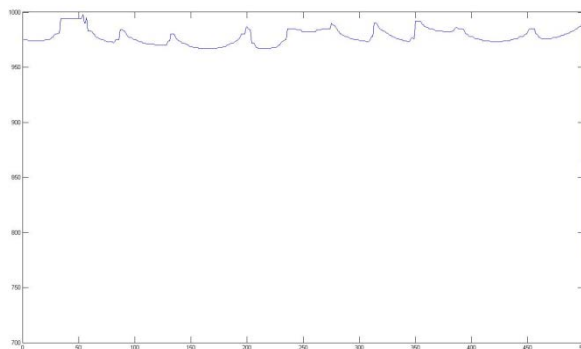


б)

Рис. 5. Модель лунчатой поверхности при числе разрядов 200 и энергии импульса 3 мДж. а) – модель, б) – профиль

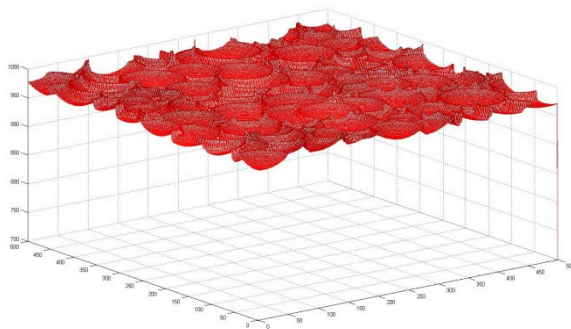


а)

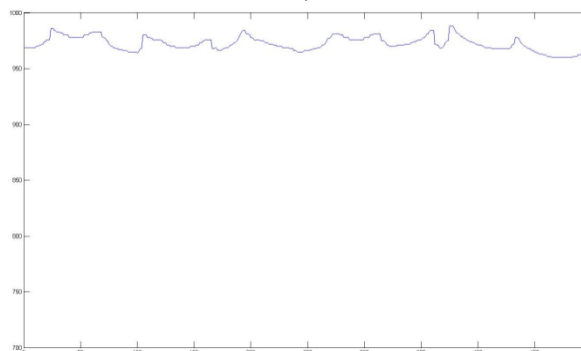


б)

Рис. 6. Модель лунчатой поверхности при числе разрядов 200 и энергии импульса 7 мДж. а) – модель, б) – профиль



а)



б)

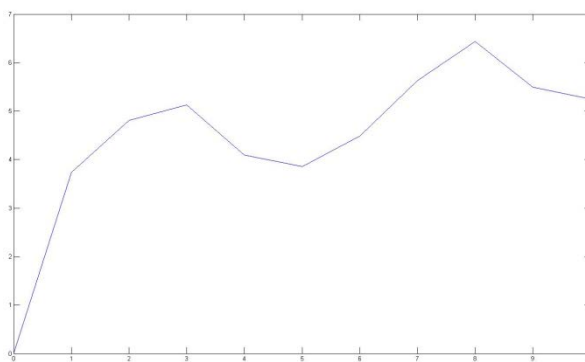
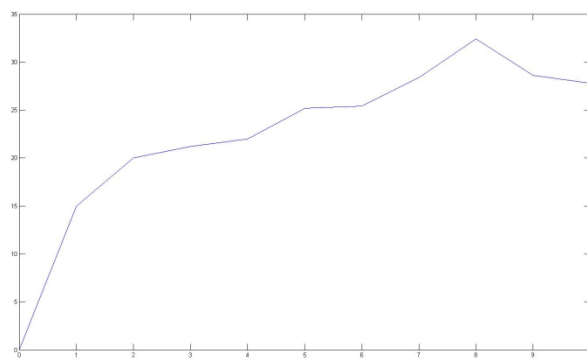
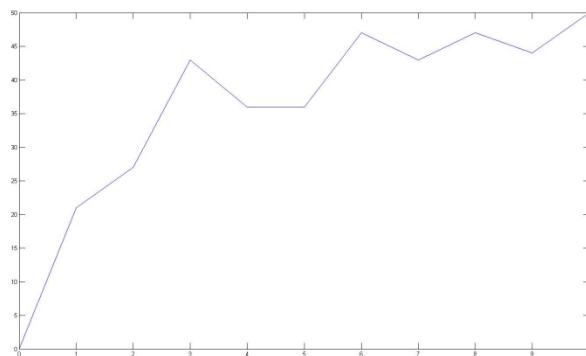
Рис. 7. Модель лунчатой поверхности при числе разрядов 200 и энергии импульса 10 мДж. а) – модель, б) – профиль

Результаты вычислений и сопутствующие графики приведены ниже

Таблица 1. Параметры лунчатой поверхности (200 разрядов)



Энергия, мДж	$R_a$	$R_z$	$R_{max}$
1	3,7337	15	21
2	4,8076	20	27
3	5,1247	21,2	43
4	4,0989	22	36
5	3,8603	25,2	36
6	4,4847	25,4	47
7	5,6354	28,4	43
8	6,4327	32,4	47
9	5,4987	28,6	44
10	5,2482	27,8	50

Рис. 8. Зависимость  $R_a$  от энергии импульсаРис. 9. Зависимость  $R_z$  от энергии импульсаРис. 10. Зависимость  $R_{max}$  от энергии импульса

Прежде всего обратим внимание на то, что  $R_a$  изменяется стохастическим образом, что говорит о случайности воздействия большей энергией импульса на точность обработки. Кроме того, можно заметить и ещё одно обстоятельство. Дело в том, что  $R_a$  не сильно изменяется в своих пределах. Иными словами, он колеблется вокруг устойчивого значения около 5 мкм, хотя и здесь можно усмотреть слабую тенденцию к росту параметра. Такая ситуация, характерная для выбранного нами диапазона значений энергий, остаётся тем не менее неясной при больших значениях энергий, когда происходит падение частоты разрядов. Следует проводить дополнительные исследования, чтобы ответить на вопрос, как энергия импульса влияет на точность обработки и, в частности, на параметр  $R_a$ .

Согласно эмпирической формуле [2]

$$R_z = k_3 W_{и}^x t_{и}^y,$$

где  $k_3$  – коэффициент, зависящий от материала электрода,  $W_{и}$  – энергия импульса,  $t_{и}$  – длительность импульса,  $x$  и  $y$  – подгоночные коэффициенты. В нашем случае длительность импульса постоянна, так что остаётся пропорциональность степенной функции энергии импульса. Из рис. 21 видно, что, хотя видны определённые, иногда значительные колебания параметра, характер зависимости всё же близок к степенному. Колебания вызваны прежде всего разбросом эффективной энергии лунок и случайностью координат электрического пробоя (пробой возможен не по вершинам). Как было сказано, если провести аналогичное моделирование, результаты вследствие случайности переходных параметров, могут оказаться совсем другие. И если составить среднее арифметическое из большого числа аналогичных зависимостей, то степенной характер общей зависимости может выявиться более чётко.

Наряду с экспериментальными исследованиями высота неровностей профиля шероховатости обработанной поверхности определялась и расчётным путём, исходя из параметров лунки. Из геометрических построений с учётом взаимного перекрытия лунок равных размеров Б.Н. Золотых [2] определил максимальную высоту неровности профиля:

$$R_{\max} = \beta^2 r_{л}^2 h_{л} / 3(r_{л}^2 + h_{л}^2) = \beta^2 k_{fл} / 3(k_f^2 + 1),$$

где  $\beta$  – коэффициент перекрытия лунок.

Поскольку радиус каждой лунки определяется лишь эффективной энергией импульса, то степенная зависимость на рис. 22 нарушается, причём в более значительной степени, чем у  $R_z$ . Это связано также с малой дискретностью высоты валика и лунки: погрешности округления могли давать отклонения в ту или иную сторону. Кроме того, случайные переходные параметры моделирования также оказали влияние на график. Большое число погрешностей в совокупности привело к скачкообразному характеру при некоторых значениях энергии. Тем не менее, степенная зависимость может быть отслежена и здесь. Так что можно с определенной долей уверенности предположить, что зависимости, верные для единичной лунки (за исключением  $R_a$ ), более-менее верны и для случая лунчатой поверхности.

### Литература

1. Енин А.Д. Овсянников Б.Л. Имитационное моделирование процесса электроэрозионного формообразования. Статья ред. 2009
2. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. Москва. “Машиностроение”. 1980.

## СОЦИАЛИЗАЦИЯ РОБОТОВ

Труфанова М.К.

*Стахановский учебно-научный институт горных и образовательных технологий  
(Стаханов) Украинской инженерно-педагогической академии (Харьков)*

Рассмотрены определения и примеры, относящиеся к социализации людей и роботов. Материал статьи направлен на исследования в области, предложенного нового научного направления – педагогика роботов.

### **Robots socialization. Trufanova M.K.**

Definitions and examples related to people and robots socialization are considered. The material is intended for research in the sphere of new scientific field - robots pedagogy.

С того времени, как человек научился думать, он научился работать. Для осуществления продуктивной работы ему понадобилось взаимодействие с себе подобными. Именно поэтому сформировалось человеческое общество, основанное на совместном труде. Смысл термина «социализация» состоит в усвоении индивидом образцов поведения, психологических установок, социальных норм и ценностей, знаний, навыков, позволяющих ему успешно жить в обществе [1]. Социализация постепенно превращала человека в социально приспособленного индивида. На данный момент социализация выполняет в обществе три основных задачи:

интегрирует индивида в общество, а также в различные типы социальных общностей через усвоение им элементов культуры, норм и ценностей;

способствует взаимодействию людей вследствие принятия ими социальных ролей;

сохраняет общество, производит и передает культуру поколений через убеждения и показ соответствующих образцов поведения [2].

В процессе социализации у человека формируются социальные качества, знания, умения, соответствующие навыки, что дает ему возможность стать дееспособным участником социальных отношений. Социализация происходит как в условиях стихийного воздействия на личность разных обстоятельств жизни, так и при условии целенаправленного формирования личности.

На кафедре информационных технологий Стахановского учебно-научного института горных и образовательных технологий под руководством доцента Карчевского В.П. предложена новая модель взаимосвязи педагогики людей и педагогики роботов [3,4,5].

Из этой модели вытекает связь педагогики роботов не только с педагогикой людей, общественными (опосредованная связь), естественными и техническими науками, как в известной модели В.М. Кедрова, но и связь обеих педагогик с гипотетическими науками о сообществах роботов, связь общественных наук и наук о сообществах роботов.

Важно, что при составлении модели наглядно проявилась идея необходимости существования не только интеллектуальных роботов, но и их сообществ как аналога человеческого общества. Включение в предлагаемую модель наук о сообществах роботов необходимо для того, чтобы подчеркнуть особенность исследований проблемы сознания роботов. Один из аспектов этой проблемы – самый существенный – заключается в том, что сознание, будучи функцией, сложно организованного мозга, вне социальной среды людей и роботов ни возникнуть, ни существовать, ни рассматриваться не может. Вычислительные машины, компьютеры, современные

роботы уже сейчас переступают важный порог, за которым они кажутся людям разумными. Эволюция роботов только начинается, эволюция людей продолжается.

Рассмотрим далее обзор достижений робототехники в указанном направлении.

В робототехнике, как и в обычной жизни человека - взаимодействие с себе подобными помогает освоиться и получать много полезной информации, навыков и знаний, которые будут передаваться дальше от одного робота к другому [6].

Группой роботов будем называть совокупность однотипных, то есть имеющих одинаковую конструкцию, одинаковое функциональное назначение и функциональные возможности, или разнотипных, имеющих разную конструкцию, разное функциональное назначение и, соответственно, разные функциональные возможности, роботов, объединенных общей целевой задачей. В первом случае группа называется однородной или гомогенной, а во втором – неоднородной или гетерогенной.

Международная группа специалистов по искусственному интеллекту и предпринимателей из Таллиннского технического университета, Эстония, завершила проект по разработке роботов, способных совместно работать над заданной им задачей.

В создании роботов ученым помогла схема, по которой общаются между собой насекомые, передающие друг другу сигналы посредством окружающей среды. Ученые предполагают, что их изобретение будет использоваться во время космических исследований, где роботы могли бы изучать и наносить на карту условия местной среды, подготавливая почву для прибытия туда человека.

Сегодня более дюжины компаний в Японии и Южной Корее занимаются созданием роботов-компаньонов, которые облегчают жизнь пожилым и больным людям. К примеру, робот My Spoon, созданный компанией Secom, помогает инвалидам есть пищу со стола, а робот от фирмы Sanyo моет обездвиженных пациентов. В больницах разных стран мира используется около 120 роботов для осмотра больных [7].

Преимущества группового применения роботов очевидны. Во-первых, это больший радиус действия, во-вторых, расширенный набор выполняемых функций, и, наконец, более высокая вероятность выполнения задания, достигаемая за счет возможности перераспределения целей между роботами группы в случае выхода из строя некоторых из них. Поэтому такие сложные задачи как, например, масштабное исследование и зондирование поверхности других планет, сборка сложных конструкций в космосе и под водой, участие в боевых и обеспечивающих операциях, разминирование территорий и т.п., могут быть эффективно решены роботами только при их групповом взаимодействии.

Особую важность проблема группового взаимодействия роботов принимает в такой перспективной области современной робототехники, каковой является микроробототехника.

Однако при групповом применении роботов возникает ряд новых проблем, и, прежде всего, это проблема организации взаимодействия роботов в группах при решении сложной целевой задачи и проблема коммуникации, связанная с организацией взаимодействия роботов.

Решение данных проблем позволит, во-первых, значительно расширить области применения роботов, во-вторых, вплотную приблизиться к решению проблемы массового применения микророботов в составе больших групп, насчитывающих тысячи и десятки тысяч микророботов. Применение групп роботов, способных выполнять сложные работы, например, при ликвидации последствий природных или техногенных катастроф, рост числа которых наблюдается в последнее время, в свою очередь, позволит снизить риск для людей в условиях вредных или даже опасных сред,

сократить затраты, связанные с обеспечением безопасности, увеличить производительность предприятий и т.п.

Для достижения конкретной цели, стоящей перед группой роботов, в случае детерминированной среды каждый робот может выполнять заранее определенную последовательность действий. В случае же недетерминированной, динамической среды эта последовательность должна быть найдена системой управления группой роботов в процессе достижения цели. Причем действия роботов группы, очевидно, должны быть определенным образом скоординированы, согласованы. Таким образом, возникает задача управления группой роботов. Эта задача заключается либо в реализации системой управления роботами заранее найденной последовательности действий всех роботов группы, либо в отыскании такой последовательности и ее реализации в процессе достижения поставленной цели [8].

По мере эволюции роботов происходит сближение функций человека и робота и их теснейшее переплетение в трудовом процессе. Так, например, при использовании роботов первого поколения роль человека сводится лишь к обучению робота требуемым программам движения и - к общему контролю за его функционированием. При управлении роботами второго поколения в супервизорном режиме человек уже осуществляет визуальный анализ и распознавание обстановки в среде обитания робота, а также целеуказание, контроль и в случае необходимости (например, в аварийной ситуации) ручное управление роботом. Взаимодействие между человеком и роботами третьего поколения можно себе представить как активный диалог на некотором языке, понятном роботу. Перечисленные обстоятельства приводят к необходимости приспособления человека к роботу, т. е. к обучению его правилам поведения и обращения с роботом, выработке навыков эксплуатации робота, изучению средств связи, техники безопасности, контроля и ручного управления роботом. Для решения этой проблемы применяются специальные тренажеры типа «человек — робот». И, тем не менее, нужно констатировать, что проблеме приспособления человека к роботу эргономика уделяет незаслуженно мало внимания. Говоря о взаимодействии человека и робота, уместно вспомнить о трех законах систем «человек — робот», сформулированных американским писателем-фантастом и ученым А. Азимовым [9].

Ученые планируют создать водоплавающих роботов, которые смогут органично вписаться в среду, чтобы потенциально способствовать защите подвергаемых опасности животных и контролировать процесс активности вредителей.

Робот, созданный исследователями из Политехнического института Нью-Йоркского университета, США, и Istituto Superiore di Sanità, Италия, внешне представляет собой 15-сантиметровую рыбу, раскрашенную водостойкой нетоксичной краской характерными синими полосами, как у настоящей перцины. Хвостом робота механически управляют исследователи, которые имитируют движения настоящей рыбы.

Когда робота поместили в 65-литровый резервуар с рыбой, он моментально привлек внимание как отдельных особей, так и целых косяков; исследователи полагают, что такая способность объясняется биовдохновленными особенностями, которые были сделаны специально, чтобы увеличить привлекательность робота для настоящих рыб.

Ряд экспериментов показал, что автоматизированная рыба может возглавить косяк живых рыб.

Например, роботу придали округлую форму, которая имитирует плодородную самку, способную привлечь на себя внимание и самок, и самцов перцин, а также ученые подобрали специфический окрас – преувеличенно широкие полосы и насыщенный желтый пигмент, что подчеркнуло отличительные биологические особенности вида.

В аквариуме робот оставался в статичном положении, но исследователи управляли движениями хвоста, стараясь наиболее точно подражать движениям перцины. Этот опыт был записан, для детального исследования [10].

Итак, анализируя результаты исследований в области коллективного поведения роботов, можно сделать вывод о том, что остается очень много нерешенных вопросов как технического, так и теоретического характера. В целом это направление выглядит как множество разрозненных фрагментов, зачастую несвязанных друг с другом. Среди основных открытых вопросов выделим следующие.

Отсутствует единый подход к проблеме коллективного поведения роботов. Всякий раз решаются лишь частные задачи. Отсутствует общая методология решения задач, возникающих при групповом управлении роботами, особенно в динамической среде, в условиях неполноты и противоречивости информации, меняющихся целей и задач. Пожалуй, единственной попыткой построения общих методов построения коллективов роботов является теория многоагентных систем (МАС), однако эта теория опирается прежде всего на сценарные описания со всеми вытекающими из этого проблемами и слабостями.

Применимость языковых (сценарных) подходов. Фактически, задание сценариев действий роботов в коллективе – это своего рода искусственная алгоритмизация деятельности роботов-агентов. Сейчас на практике лучше всего реализуются жесткие алгоритмы взаимодействий. Применимость же методов адаптации и самообучения, динамического изменения целеполагания, критериев оценок и проч. – все это весьма проблематично в условиях отсутствия общей конструктивной теории коллективного поведения.

Элементная база. С одной стороны, имеются технологии производства дешевых миниатюрных роботов. Это – фундамент для т.н. групповой робототехники, которой важно наличие большого количества роботов. Однако смогут ли здесь возникнуть системные эффекты – неясно, т.к. повторим, объекты биологической природы очень сложны (не исключено, что эти системные эффекты возникают у насекомых уже на уровне их собственного устройства). Возможно также, что приемлемыми окажутся имеющиеся технологии создания интеллектуальных роботов, основанных на реализации центральных моторных программ, механизмов их психической организации и проч. Коллектив вряд ли окажется большим, но для той же теории МАС количество членов коллектива не существенно.

Видимо, наиболее привлекательным направлением создания систем коллективного поведения все же является "естественный", эволюционный путь развития. Однако пока не определены условия, при которых эволюционный процесс идет путем создания коллективов, пока не ясно даже то, каким образом формируется функция качества для роевого организма. Не ясно, как создать условия для появления новых свойств и образования сверхорганизма.

Все это приводит к тому, что сейчас речь идет в лучшем случае именно о создании коллективных систем для решения конкретных очень частных задач. Пока имеется лишь множество натуральных и полунатурных моделей, решающих с разной степенью успеха некоторые частные задачи из области коллективного поведения. Особенно это касается роевых алгоритмов, когда из общего поведенческого контекста берутся отдельные внешние проявления и механизмы [11].

Таким образом, автор хотела подчеркнуть, что в развитии робототехники ближайшего и отдаленного будущего, важное значение имеет изучение и использование проблем социализации роботов. Как и в обществе людей, так и в сообществах роботов актуальной задачей является исследование возможностей обучения роботом-учителем робота-ученика: педагогика роботов.

### Литература

1. Большая Советская Энциклопедия / под ред. А.М. Прохорова. — М. – Издательство «Советская энциклопедия», 1976, – с. 221
2. Руднев Андрей. Социализация индивида: сущность, формы и этапы/ Руднев Андрей. [Электронный ресурс]. Режим доступа к ст. [http://socupr.blogspot.com/2009/10/blog-post\\_786.html](http://socupr.blogspot.com/2009/10/blog-post_786.html)
3. Карчевский В. П., Карчевская Н. В., Марченко Я. С. Педагогика роботов / Викиверситет. Категория: искусственный интеллект / Режим доступа [http://ru.wikiversity.org/wiki/ Педагогика\\_роботов](http://ru.wikiversity.org/wiki/Педагогика_роботов)
4. Карчевский В. П., Карчевская Н. В., Марченко Я. С. Влияние педагогики на решение проблем робототехники. - Плекаемо Особистість: наук. - метод. альманах. – Вип. 3. – Луганськ: Вид-во ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2011. – С. 67-78.
5. Карчевский В. П. Человек и робот. Развитие процессов обучения / В.П. Карчевский // Искусственный интеллект. – 2012. - №4. - С. 43-52.
6. Мельников С.А. Проект CORKbot - социум роботов:ВЕАМ роботы / Мельников С.А. [Электронный ресурс]. Режим доступа к ст. [http://city.servodroid.ru/news/proekt\\_corkbot\\_socium\\_robotov/2012-07-09-90](http://city.servodroid.ru/news/proekt_corkbot_socium_robotov/2012-07-09-90)
7. Рабочий коллектив роботов [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.vokrugsveta.ru/news/8251/>
8. Каляев И.А., Капустян С.Г. Проблемы группового управления роботами
9. Проблема взаимодействия человека и робота [Электронный ресурс]. <http://www.sadod.ru/problema-vzaimodeystviya-cheloveka-i-robota.html>
10. Александр Федоров. Учёные научили робота взаимодействовать с живыми особями/ Александр Федоров [Электронный ресурс]. Режим доступа к ст. <http://www.km.ru/nauka/2012/06/25/nauchnye-issledovaniya-i-otkrytiya-v-mire>
11. Карпов В.Э. Коллективное поведение роботов. Желанное и действительное / В.Э. Карпов // Современная мехатроника. Сб. научн. трудов Всероссийской научной школы (г.Орехово-Зуево, 22-23 сентября 2011), Орехово-Зуево: , 2011, с.35-51, -132с.

## ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ГОЛОСОВОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Уварова Т.В.

*Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград*

В данном докладе рассматриваются основные принципы разработки голосового пользовательского интерфейса. Представлена методология Nuance GEM, которая призвана максимизировать успешность разработки голосового приложения.

### **The principles of voice user interface design.Uvarova T.V.**

*Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, Lenin avenue 28, 400005*

In this report, we discuss the basic principles of voice user interface design. The methodology Nuance Global Engagement Methodology (GEM), which is designed to maximize the success of the development of speech applications is presented.

Голосовой пользовательский интерфейс (Voice User Interface, VUI) – это то, посредством чего пользователь общается с голосовым приложением. Голосовой пользовательский интерфейс позволяет распознавать голосовые команды пользователя,

используя наборы заранее отобранных фраз (грамматик) из заданной области, необходимых для функционирования приложения. Результат распознавания команд пользователя передается в основное приложение, которое на основании полученных результатов предпринимает определенные действия согласно текущему сценарию работы. После чего приложение передает голосовому пользовательскому интерфейсу управляющую команду (например, переключить грамматику или завершить работу), которая выполняется им, а затем результат передается обратно в приложение и так далее.

Голосовой интерфейс часто используется для реализации интерактивных телефонных сервисов и линий поддержки. Голосовые приложения позволяют, например, забронировать билеты на самолет, узнать информацию в справочной службе, совершить заказ каких-либо товаров и т.д., ведя *диалог* с системой. Кроме того, голосовой пользовательский интерфейс может быть организован для управления техническими объектами (например, станками), а также для упрощения извлечения или занесения данных в специализированные системы без отрыва от основных работ (например, занесение данных в систему складского учета).

Для сравнения голосового пользовательского интерфейса и графического интерфейса пользователя (GUI) рассмотрим пример работы голосового приложения по заказу билетов на самолет. Когда голосовое приложение получает от пользователя дату отправления, и место назначения, то первое, что нужно проверить – допустимая ли названа дата, и осуществляются ли полеты на эту дату. Если названа не допустимая дата, то у пользователя запрашивается ввести новую дату. Если на эту дату отправления нет билетов, то пользователю предлагается заказать билет на ближайшую дату. Если на названную пользователем новую дату отправления тоже нет билетов, то ему предлагается выбрать альтернативное место назначения, а если пользователь выбирает новую дату отправления, на которую имеются билеты, то пользователю предлагается назвать дату возвращения. Затем система проверяет, допустимая ли названа дата возвращения и есть ли на неё доступные билеты и т.д. Таким образом, при работе с голосовым приложением, пользователь *понимает*, что происходит, потому что система с ним *разговаривает*, и если нет билетов на указанную пользователем дату, то голосовое приложение позволяет выбрать билеты на *ближайшую* к названной дате, или в *альтернативное* место назначения и т.д. Т.е. всё, что требуется от пользователя – это *просто разговаривать* с системой. А при работе с графическим интерфейсом (например, при заказе билетов через web-приложение) – если нет билетов на выбранную дату, то пользователь, скорее всего, просто получит сообщение: «Извините, на выбранную вами дату билетов нет». Из этого примера видно, что голосовой пользовательский интерфейс более гибкий и сложный, чем GUI.

Голосовые приложения, как правило, имеют достаточно предсказуемую структуру. Например, голосовое приложение заказа билетов в театр по телефону обязательно будет включать в себя запрос даты, название спектакля и выбор мест. Хотя на каждый из указанных запросов пользователь может дать произвольный ответ, в большинстве случаев эти ответы могут быть сведены к ограниченному и прогнозируемому набору вариантов (а если вариантов окажется слишком много – запрос можно переформулировать или разбить на части) [4]. Таким образом, если мы имеем дело с ограниченным набором слов в ограниченном количестве комбинаций поддающихся формальному описанию, то это позволит создать приложение с голосовым пользовательским интерфейсом, мало отличающееся для пользователя от беседы с оператором.

Разработка голосового интерфейса является достаточно сложной задачей, т.к. необходимо учитывать множество факторов. При разработке голосового приложения



необходимо учитывать, например, показатели юзабилити и эффективности, так как для голосового приложения они тоже очень важны. В книге [1] приводится очень интересный пример об опыте развертывания коммерческого голосового приложения одним из авторов. При проведении юзабилити тестов голосового приложения, выдающего информацию о котировках акций, в качестве одного из пользователей был 83-летний мужчина, имеющий проблемы со слухом, который забыл свой слуховой аппарат. Пользователь плохо слышал запросы голосового приложения, запутался в меню и не получил ответ на свой запрос, но когда после проведения теста его попросили оценить приложение и ответить будет ли он пользоваться таким приложением в дальнейшем, он сообщил, что приложение ему очень понравилось. Пользователь сказал, что впервые за многие годы он разговаривал с кем-то таким терпеливым, с готовностью повторяющим свои вопросы, и готовым говорить с ним, поэтому он обещал, что будет пользоваться этим приложением каждый день! Этот пример иллюстрирует два важных аспекта, которые необходимо учитывать при разработке голосового пользовательского интерфейса:

1) Понимание основных человеческих возможностей является ключом к разработке эффективных голосовых пользовательских интерфейсов;

2) Понимание целей и потребностей пользователей в контексте бизнес-целей, является ключом к разработке успешных приложений.

Приступая к разработке голосового интерфейса необходимо знать о специфике звукового восприятия информации. Голосовые интерфейсы отличаются от графических интерфейсов, в первую очередь, способом передачи информации пользователю. В отличие от графических интерфейсов, где информация представлена параллельно, звуковую информацию невозможно донести до человека иначе, как последовательно, что накладывает ограничения не только на скорость передачи информации (скорость озвучивания меню), но что еще более важно – на количество элементов на каждом иерархическом уровне меню. Так как пользователь не имеет возможности видеть все элементы голосового меню одновременно, ему приходится постоянно удерживать в памяти всю текущую ветвь меню. Таким образом, если пользователь вынужден запоминать сложное голосовое меню, то это приводит к затруднениям в работе с голосовым приложением, в особенности, если названия пунктов меню недостаточно кратки и понятны. Кроме того, пользователи заинтересованы в том, чтобы максимально быстро выбрать нужный пункт меню, что иногда приводит к ошибкам, т.к. пользователь часто выбирает не правильный элемент, а первый элемент, который похож на правильный. Это значит, что если два похожих элемента находятся в одном уровне голосового меню, большинство пользователей обязательно выберут первый элемент. Кроме того, чем дольше пользователь прослушивает голосовое меню, тем менее внимательно он слушает. Если же пользователь недостаточно сосредоточен, он может пропустить ряд пунктов, включая те, которые представляют для него наибольший интерес, в результате чего он будет вынужден либо вернуться в начало меню для повторного прослушивания, либо вообще бросить трубку или обратиться к оператору.

Существуют некоторые принципы, позволяющие улучшить голосовой пользовательский интерфейс разрабатываемого приложения.

1) Голосовой интерфейс организует *диалог* между голосовым приложением и пользователем. Когда пользователь узнает что-то у голосового приложения, то он ведет с ним *беседу*. Поэтому необходимо разрабатывать голосовое приложение, следуя тем же основным правилам, которые люди используют, когда разговаривают друг с другом, поэтому, разработка голосового интерфейса без рассмотрения этих правил, наиболее вероятно, приведет к не естественно звучащему приложению. Наиболее

эффективный путь создания голосового интерфейса – это, сначала построить и рассмотреть диалог, который необходим для решения поставленной задачи, а затем, на его основе, сгенерировать логику работы голосового приложения. Но не наоборот! Не следует логику работы голосового приложения преобразовать в естественный диалог. Нужно сначала подумать: если пользователь позвонит и обратится к голосовому приложению, то какой диалог может состояться?

2) Голосовое меню должно быть достаточно коротким, т.к. чем больше пунктов на одном уровне, тем больше вероятность того, что пользователь их перепутает или забудет. Но с другой стороны, пользователю приходится запоминать свой путь к текущей ветви меню, поэтому иногда целесообразно делать меню более широким, нежели глубоким (со многим уровнями вложенности).

3) Чтобы пользователю было удобно работать с голосовым приложением, нужно чтобы пользовательский интерфейс был простой. Поэтому важно придерживаться кратких и ясных формулировок при диалоге с пользователем. Названия пунктов меню должны как можно лучше отражать задачи пользователя, т.к. при когнитивной перегрузке у пользователя, как правило, не остаётся возможности «вдуматься» в смысл формулировки и он руководствуется прямым значением услышанного.

4) Информация, предоставляемая пользователю голосовым приложением, должна быть максимально релевантна его потребностям. Перед тем, как включить какую-либо фразу в пункт меню, необходимо убедиться в том, что эта информация нужна пользователю для решения его задачи. И наоборот – нужно убедиться, что предоставляемой пользователю информации достаточно для принятия решения.

5) Пункты голосового меню должны быть выстроены в соответствии с частотой обращения пользователей по тому или иному вопросу, т.е. пункт меню, к которому пользователи обращаются чаще всего, необходимо поставить первым. В результате большинство пользователей получат возможность быстрее решить свою задачу, прослушав минимальное количество информации, сокращая тем самым общее время диалога с системой.

6) Важно последовательно пронумеровать пункты голосового меню, начиная с единицы. Это позволит пользователю предугадать номер следующего элемента и нажать его, не прослушав название пункта полностью. Таким образом, пользователь быстрее достигнет цели.

7) Название пункта голосового меню должно предшествовать цифре, которую необходимо нажать в случае выбора данного пункта. Такое построение меню облегчит восприятие пользователем и позволит ему быстрее передвигаться по пунктам меню, в случае если он может заранее предугадать номер пункта, зачитываемого в настоящий момент.

8) Если разные группы пользователей обращаются к голосовому приложению по различным вопросам, то в начале диалога пользователя с приложением стоит идентифицировать, к какой группе относится данный пользователь, а затем сократить меню, предоставив лишь актуальные для него пункты.

9) Любое действие пользователя должно иметь немедленную обратную связь. Например, если пользователь ответил системе до того, как закончилось озвучивание вопроса, автооператор должен прервать чтение и отреагировать на ответ пользователя. Необходимо отметить, что система распознавания речи работает наилучшим образом, если пользователь говорит спокойным голосом, с обычным темпом речи, с обычной интонацией и т.д.

10) Необходимо предоставить пользователю возможность в любой момент вернуться к основному меню или обратиться за помощью к оператору.

При разработке проекта любой новой системы, удачно спланированная методология должна привести к наилучшим результатам. Одной из крупных зарубежных организаций, занимающихся проблемами распознавания речи и разработки голосовых приложений, является Nuance Speech University (Nuance Communications). Данной организацией, исходя из опыта разработки голосовых приложений, была предложена методология Nuance Global Engagement Methodology (GEM), которая призвана максимизировать успешность разработки голосового приложения. Согласно [3], в методологии GEM имеется 4 основных фазы: *изучение требований, проектирование, реализация, и оптимизация.*

На этапе *изучения требований* необходимо проанализировать бизнес-цели, потребности пользователя и требования к программному обеспечению для реализуемого проекта.

На этапе *проектирования* разрабатывается и усовершенствуется дизайн приложения, исходя из требований, собранных на этапе первой фазы. В этой фазе создается спецификация на проектирование голосового пользовательского интерфейса, включающая в себя, в том числе, описание грамматики.

Этап *реализации.* Здесь начинается реализация проекта. В этой фазе создается аудио для разрабатываемого голосового приложения, разрабатывается грамматика, объединяется код и аппаратное обеспечение для приложения. Кроме того, код приложения должен быть тщательно протестирован. Главные тесты включают в себя тестирование диалога, которое гарантирует правильность логики работы приложения, и тест на распознавание, который анализирует, в первую очередь, эффективность распознавания речи системой и грамматиками. Причем, важно выполнить юзабилити тест, чтобы гарантировать то, что приложение удовлетворяет требованиям пользователя.

На этапе *оптимизации* выполняется пилотная (экспериментальная) настройка приложения, в которой подробно анализируется и оптимизируется эффективность распознавания речи. Ошибка, допущенная на этой стадии, может обернуться плохим качеством или не функциональностью приложений.

В заключение хотелось отметить, что разрабатывать приложения с голосовым пользовательским интерфейсом возможно, например, на базе платформы Microsoft Speech Server, использующей существующие на сегодняшний день стандарты разработки приложений с голосовым интерфейсом, такие как Speech Application Language Tags (SALT) и VoiceXML. Работа [2] посвящена вопросам создания голосовых приложений при помощи Microsoft Speech Server 2007, в том числе для ОС Windows Vista.

### Литература

1. Michael Cohen Voice User Interface Design / Michael H. Cohen, James P. Giangola, Jennifer Balogh// Addison Wesley Publisher. –2004. –368 p.
2. Michael Dunn Pro Microsoft Speech Server 2007: Developing Speech Enabled Applications with .NET. – 2007. – 294 p.
3. Nuance Speech University. Fundamentals of Voice User Interface Design. Student Guide, 4th Edition. Published by Nuance Communications. – 2005. – 202 p.
4. Дрыгин, К.Ю. Распознавание речи в системах интерактивного аудиоответа. Основы построения грамматик / К.Ю. Дрыгин, Е.М. Кирьянов. Режим доступа: <http://www.comptek.ru/telephony/article/article1.html>

## **ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ**

Федин Н.А.  
*Москва, МИЭМ*

Рассмотрены основные задачи, возникающие при формировании базы рукописных символов. Описываются пути их решения на примере реализованной автором базы рукописных символов русского языка.

### **The main aspects of forming the base of handwritten characters. Fedin N.A.**

Considered the main tasks involved in the formation of the handwritten characters base. Described solutions are illustrated by example of author's implementation of the russian handwriting database.

### **Введение**

При распознавании рукописных текстов часто используются алгоритмы классификации отдельных символов. Для обучения многих из них [1,2] необходима база сегментированных рукописных символов соответствующего алфавита с эталонной классификацией и широким разнообразием представленных почерков. В научной литературе уже описаны базы для таких языков как английский [3], итальянский [4], китайский [5] и др. языков [6]. Некоторые из упомянутых баз содержат не только сегментированные символы соответствующего алфавита, но и отдельные слова, предложения, небольшие тексты. Для русского алфавита аналогичные базы, к сожалению, не известны. Таким образом, задача создания базы рукописных символов для русского алфавита остаётся актуальной до настоящего времени.

### **Постановка задачи**

На первом этапе содержимое базы можно ограничить сегментированными символами, сосредоточив усилия на достижении большого объёма собранных данных и приемлемого количества представленных в базе образцов почерков. База должна содержать как заглавные, так и строчные символы русского алфавита, а также цифры. Для задач распознавания авторства, в базу желательно добавить информацию о классификации символов по автору.

### **Предлагаемое решение**

Существуют два основных способа перевода рукописных символов в электронную (растровую) форму: сканирование символов, написанных на бланке, и считывание траектории движения специального пера на графическом планшете. В докладе обосновывается выбор первого способа.

Бланк, используемый при опросе респондентов, должен с одной стороны, быть простым в заполнении и с другой стороны, способствовать упрощению процедуры сегментации. Предлагается структура бланка, представленная на рис.1а, удовлетворяющая сформулированным выше требованиям.

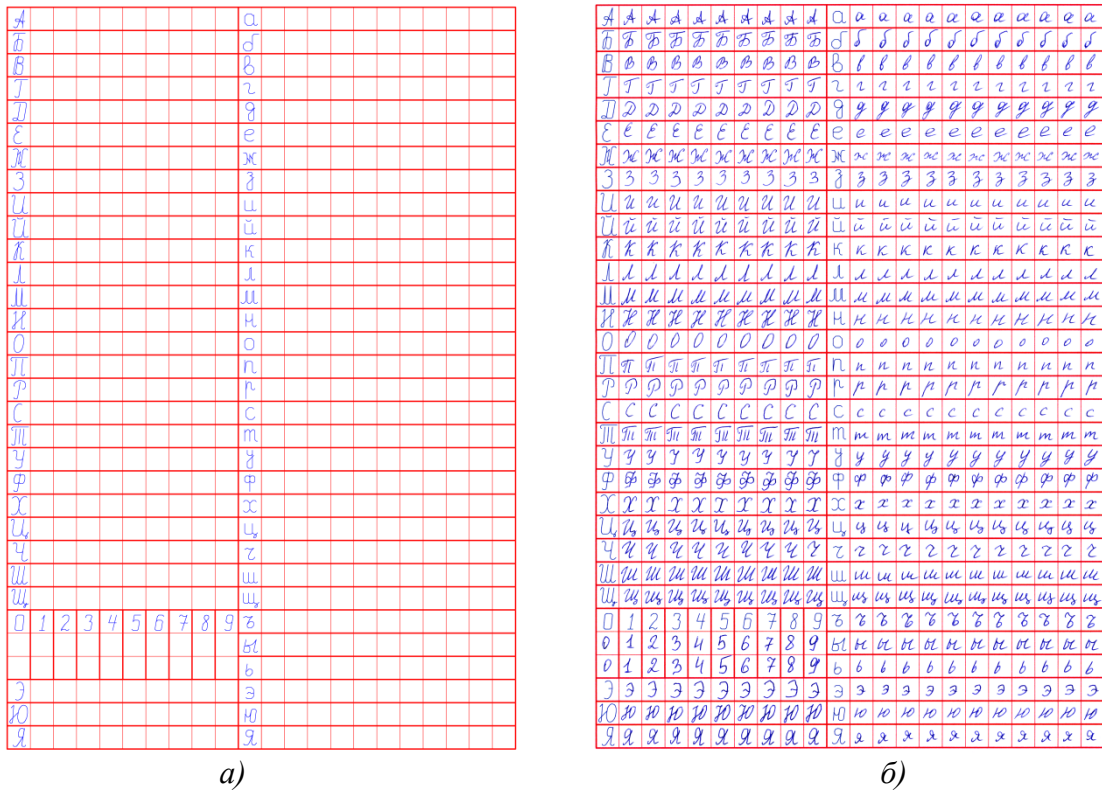


Рис.1. Пустой (а) и заполненный (б) бланки

Для удобства заполнения каждая область бланка содержит образец записываемого символа, клетки имеют большой размер (около 1 см). Бланк имеет простую наглядную структуру. Упрощению процедуры сегментации способствует регулярность расположения символов и значительное цветовое различие символов и линий разметки. Каждый бланк заполняется одним автором. Было опрошено около 150 респондентов, пример заполненного бланка представлен на рис. 1б. Процесс опроса продолжается. Опрашиваемыми респондентами являются студенты и аспиранты НИУ ВШЭ.

**Сегментация**

В контексте рассматриваемой задачи под сегментацией понимается разделение изображения заполненного бланка на изображения отдельных символов. В настоящее время известно большое количество подходов к сегментации: адаптивное выделение символов рукописного текста [7], диаграммы Вороного [8], выделение связных компонент [9] с оценкой расстояния между компонентами [10] и др. В докладе предлагается использовать модифицированный метод сегментации на основе вертикальной (1) и горизонтальной (2) гистограмм:

$$\Gamma(i) = \sum_{j=1}^W a_{ij}, \text{ где } i = 1..H, \tag{1}$$

$$\Gamma(j) = \sum_{i=1}^H a_{ij}, \text{ где } j = 1..W, \tag{2}$$

где  $|A| = \{a_{ij}\}$ ;  $i = \overline{1, H}$ ;  $j = \overline{1, W}$  – матрица бинаризованного изображения,  $H$  – высота,  $W$  – ширина изображения в пикселях, а  $a_{ij} = \{0, 1\} = \{\text{белый, чёрный}\}$  – яркость пикселя изображения. Предлагаемый метод сегментации более подробно описывается в докладе, анализируются достоинства и недостатки разработанного метода.

Перед процедурой сегментации бланки проходят этап предварительной обработки, на котором устраняется поворот изображения и мелкие дефекты. Затем скорректированное изображение разделяется по цветовому признаку на два слоя – слой символов и слой разметки (сетка), каждый из которых подвергается пороговой бинаризации.

Собственно процедура сегментация состоит из трёх операций:

- Построение по бинарному изображению сетки вертикальной и горизонтальной гистограмм по формулам (1) и (2);
- Сегментация бинарного изображения символов:
  - a. Пороговая бинаризация построенных гистограмм;
  - b. Определение координат границ клеток по найденным точкам максимума бинаризованных гистограмм;
- Извлечение символов на основе найденных координат границ клеток;

После сегментации производится маркировка и сохранение извлечённых символов в файлы формата PNG.

#### **Метод доступа к базе символов**

Интерфейс базы символов должен быть удобным в использовании и позволять извлекать из базы произвольный набор символов. Желательно также наличие функции простейших преобразований изображений извлекаемых символов для приведения их к виду, пригодному для непосредственного применения конечным пользователем

Разработанная база символов представляет собой директорию, в которой находятся цветные изображения отсканированных бланков в формате PNG, прошедшие через процедуру предварительной обработки. Каждый бланк промаркирован четырёхзначным цифровым идентификатором автора. Для извлечения и преобразования символов используется прилагаемый к базе программный модуль, реализующий описанный выше алгоритм сегментации бланков и простейшие преобразования изображений – изменение масштаба и зашумление изображения с заданной интенсивностью. Извлечённые из базы символы сохраняются в виде двухцветного (чёрно-белого) растрового изображения в формате PNG. Множество извлекаемых из базы символов может задаваться либо с помощью регулярного выражения в командной строке, либо с помощью списка изображений, представленного в виде текстового файла.

Каждый извлечённый из базы образ содержит в своём имени файла метку класса, к которому относится извлечённый символ, его порядковый номер в классе и идентификатор автора.

#### **Заключение**

Разработана база сегментированных рукописных символов русского алфавита, содержащая около 100 000 символов, написанных 150 различными авторами. В базе представлены все символы русского алфавита (за исключением «ё») в заглавном и строчном написании, а также арабские цифры. Для каждого содержащегося в базе символа представлена образцовая информация о его классе, регистре и авторстве. Для удобства использования базы символов был разработан программный модуль, осуществляющий выборочное извлечение, маркировку и преобразование извлекаемых символов.

В процессе создания базы символов были разработаны структура бланка для опроса респондентов и алгоритм его сегментации, которые могут быть применены при решении других задач.

### Литература

1. Мозговой А.А., Проблемы существующих методик оптического распознавания рукописного текста, Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 7-1. С. 22-25.
2. Саймон Хайкин, Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.
3. J. Hull, “A database for handwritten text recognition research,” IEEE Trans. on PAMI, 16(5), 1994, pp.550–554. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD.
4. G. Dimauro, S. Impedovo, R. Modugno, G. Pirlo, “A New Database for Research on Bank-check Processing”, IWFHR, 2002, pp. 524-528.
5. T. Saito, H. Yamada, K. Yamamoto, “On the data base ETL 9 of handprinted characters in JIS Chinese characters and its analysis,” IEICE Transactions, J68-D(4), 1985, pp.757–764.
6. Ziaratban, M., Faez, K., Bagheri, F.: FHT: An Unconstraint Farsi Handwritten Text Database. In: Proceedings of 10th International Conference on Document Analysis and Recognition, ICDAR09, pp.281-285 (2009).
7. Горошкин А.Н. Адаптивное выделение символов рукописного текста, Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2008. № 1. С. 15-18.
8. Запрягаев С.А., Сегментация рукописных и машинописных текстов методом диаграмм Вороного / С.А. Запрягаев, А.И. Сорокин – Вестник ВГУ, Серия: системный анализ и информационные технологии, 2010, №1.
9. Стержанов М.В., Методики выделения связанных компонент в штриховых бинарных изображениях, Труды 20-й международной конференции по компьютерной графике и зрению (ГрафиКон), Санкт-Петербург, 2010, С.169-174.
10. C. Huang, and S. Srihari, “Word segmentation of off-line handwritten documents”, Proc. Document Recognition and Retrieval (DRR) XV, IST/SPIE Annual Symposium, San Jose, CA, January 2008.

### УПРАВЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СО СФЕРИЧЕСКИМИ СОЛНЕЧНЫМИ ПАРУСАМИ

Федоренко А.Н., Чумаченко Е.Н., Данхэм Д.У.  
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ*

Для управления ориентацией космического аппарата предлагается система из шести сферических солнечных парусов, поверхность которых разбита на участки (пиксели) с изменяемыми отражающими свойствами, способными отражать или поглощать солнечное излучение. Построен алгоритм, подбирающий состояние для каждого пикселя состоянием таким образом, чтобы общая конфигурация создавала требуемый для маневра вращающий момент. Оценка геометрических параметров конструкции для управления ориентацией на орбите Земли показывает возможность применения идеи.

**Spacecraft attitude control by means of spherical solar sails Fedorenko A.N., Chumachenko E.N., Danhem D.U.**

System of six spherical solar sails with variable reflective characteristics of surface, divided into many parts (pixels) was offered to control the spacecraft attitude. A special

program was developed that executes an algorithm of definition pixel's reflective properties and generates rotation moment for attitude maneuver. The estimation of necessary geometrical parameters shows possibility for application this idea in Earth orbit.

Принцип солнечного паруса основан на использовании того факта, что солнечный свет, падающий на поверхность, оказывает на нее давление. Это явление было экспериментально подтверждено П.Н. Лебедевым в 1900 году.

Главным преимуществом солнечных парусов над другими видами перспективных двигателей является отсутствие необходимости в каком-либо топливе. При постоянном воздействии света скорость будет непрерывно увеличиваться с течением времени, и в итоге можно достичь ее высокой величины, недоступной ни одному из имеющихся двигателей из-за ограничения в выводимом на орбиту топливе. Кроме того, в случае их использования паруса для управления ориентацией отсутствуют рывки при выполнении маневра. Управление ориентацией может осуществляться путем изменения отражающей способности паруса в различных его частях, например, под действием электрического тока.

К недостаткам относятся очень малая величина силы воздействия и большой отрезок времени для разгона, вследствие чего приходится использовать поверхности весьма значительной площади. Так, для создания силы всего в  $9\text{ Н}$  требуется поверхность площадью в  $1\text{ км}^2$ . Основными проблемами в практическом применении являются сложность в развертывании системы в космосе и ограниченность в сверхтонких, прочных материалах для поверхности, способных выдерживать высокую температуру.

К настоящему моменту было разработано множество вариантов конструкции паруса для осуществления космических миссий. Космическая миссия Японского аэрокосмического агентства Ikaros и миссия NASA NanoSail-D были успешно завершены и использовали для движения солнечное излучение.

Величина давления солнечного света на расстоянии  $r$  от Солнца выражается формулой

$$P = \frac{S_0}{c} \left( \frac{r_0}{r} \right)^2 \quad (1)$$

где  $S_0 = 1368\text{ Вт/м}^2$  – солнечная постоянная,  $c$  – скорость света,  $r_0$  – равно одной астрономической единице. На орбите Земли  $P \approx 4,6 \times 10^{-6}\text{ Н/м}^2$ .

В случае полного зеркального отражения солнечного света на плоский парус площади  $\Omega$  действует сила

$$\vec{F} = -2P\Omega \cos^2(\alpha)\vec{n}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол между направляющим вектором падающего на парус солнечного излучения  $\vec{e}_r$  и нормалью к поверхности  $\vec{n}$ . Кроме того, можно предположить, что часть энергии солнечного излучения отражается рассеиванием, а часть поглощается с последующим переизлучением в виде тепла с двух сторон от поверхности. В этом случае действующую на поверхность силу можно найти, определив соответствующие оптические коэффициенты:

$a$  – коэффициент поглощения

$\rho$  – общий коэффициент отражения

$\rho_s$  – коэффициент отражения света зеркально

$\rho_d$  – коэффициент отражения света рассеиванием



$$s = \frac{\rho_s}{\rho}$$

Выполняется соотношение  $\rho = \rho_s + \rho_d$ .

$\varepsilon_f$ ,  $\varepsilon_b$  коэффициенты излучения передней и обратной стороны паруса

$B_f$ ,  $B_b$  характеризуют угловое распределение излучения передней и обратной стороны паруса

Выражение для действующей силы имеет вид

$$\vec{F} = 2PA \cos(\alpha) [b_1 \vec{e}_r - (b_2 \cos(\alpha) + b_3) \vec{n}] \quad (3)$$

где  $b_1 = \frac{1}{2}(1 - s\rho)$

$$b_2 = s\rho$$

$$b_3 = \frac{1}{2} \left[ B_f(1-s)\rho + (1-\rho) \frac{\varepsilon_f B_f - \varepsilon_b B_b}{\varepsilon_f + \varepsilon_b} \right] \quad (4)$$

Модель с зеркальным отражением дает хорошее приближение в случае почти полного отражения падающего света. Модель с неидеальным отражением используется для расчетов в случае поглощения излучения поверхностью с дальнейшим переизлучением в виде тепла.

Предлагается конструкция паруса, состоящего из шести шаров с отражающей солнечный свет поверхностью и скрепленных между собой перпендикулярными друг к другу штангами (Рис.1). Каждый из шаров разбит на элементарные секции (пиксели). Пиксели могут быть в двух состояниях. Темным цветом обозначим участки паруса, преимущественно поглощающие или пропускающие солнечный свет, а белым – отражающие. Центр масс спутника расположен в точке пересечения штанг. Будем считать, что вся конструкция является жесткой и испытывает только два воздействия: гравитационного поля Земли и солнечного излучения. Задача состоит в том, чтобы при заданных моментах инерции спутника в центре и высоты орбиты определить минимальные геометрические параметры паруса, необходимого для осуществления поворота всей конструкции вокруг любой оси, и, изменяя давление света на различные участки паруса, осуществить такой поворот.

Будем считать конструкцию абсолютно твердым телом и введем абсолютную систему координат  $Oxyz$  и систему  $Ox'y'z'$ , с началом в центре масс и связанную со спутником. Ось  $Z$  направлена к центру Земли, ось  $X$  вдоль вектора скорости движения центра масс по орбите. Примем так же, что оси системы  $Ox'y'z'$  являются главными осями инерции и в начальный момент совпадают с  $Oxyz$ . Для каждого пикселя можно подсчитать, какой он момент создаст в активном или неактивном состоянии. Вращающий момент под действием градиента гравитации выражается формулой

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = 3 \frac{\mu}{R_0^3} \begin{bmatrix} (-A + C)C_{23}C_{33} \\ (A - C)C_{13}C_{33} \\ (-A + B)C_{13}C_{23} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $\mu = 3.9860 \times 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$  гравитационный параметр Земли,  $R_0$  расстояние между центрами тяжести Земли и спутника,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  - главные моменты инерции, коэффициенты  $C_{ij}$  определяют матрицу перехода от абсолютной системы координат к подвижной, связанной со спутником.

Максимальное значение для момента  $M$  при угле отклонения от оси  $Z$  равном  $\vartheta$

$$M = \frac{3\mu}{2R^3}(C - B)\sin(2\vartheta), \text{ если } C - B > C - A, \quad (6a)$$

$$\text{или } M = \frac{3\mu}{2R^3}(C - A)\sin(2\vartheta), \text{ если } C - A > C - B. \quad (6b)$$

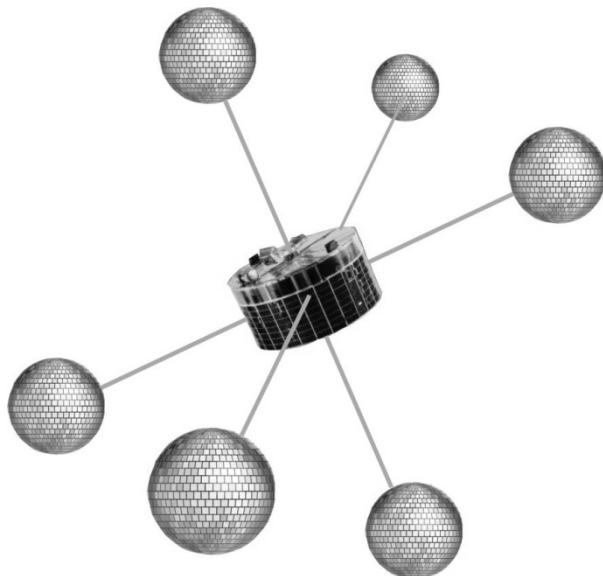


Рис. 1. Модель паруса из шести шаров с аппаратом в центре

Таким образом, максимальное вращающее воздействие градиента гравитации достигается при  $\vartheta = 45^\circ$  и зависит от максимальной по величине разности между главными моментами инерции. В силу того, что парус симметричен, момент определяется максимальной по величине разностью между главными моментами инерции спутника в центре конструкции.

Для реализации идеи необходимо рассчитать конфигурации состояния пикселей так, чтобы на систему действовал момент сил, необходимый для поворота вокруг заданной оси

Для определения угловых скоростей и координат решается система уравнений движения:

$$\begin{aligned} A \frac{dp}{dt} + (C - B)qr &= M_1 \\ B \frac{dq}{dt} + (A - C)pr &= M_2 \\ C \frac{dr}{dt} + (B - A)pq &= M_3, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $A, B, C$  - главные моменты инерции,  $p, q, r$  - компоненты угловых скоростей в системе  $Ox'y'z'$ ,  $M_i$  компоненты вращающего момента в подвижной системе. Матрица поворота  $Q$  определяется из решения уравнения для кватернионов:

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & r & -q & p \\ -r & 0 & p & q \\ q & -p & 0 & r \\ -p & -q & -r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$Q = \begin{bmatrix} (q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2) & 2(q_1q_2 + q_0q_3) & 2(q_1q_3 - q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 - q_0q_3) & (q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 + q_0q_2) & 2(q_2q_3 - q_0q_1) & (q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

На языке C++ была разработана программа, имитирующая вращение солнечного паруса под действием излучения и градиента гравитации. Программа позволяет подобрать геометрические параметры паруса, необходимые для осуществления поворота, схематически отображает на мониторе угловую ориентацию и выводит на экран желаемые параметры движения. Главные моменты инерции спутника в центре считаются известными. В качестве входных параметров задается желаемая высота орбиты спутника и длина штанг паруса. Программа сравнивает воздействия из-за гравитации и солнечного излучения определяет необходимый радиус шаров. Для соблюдения пропорциональности между шаром и штангой предполагается, что радиус шара не может быть больше половины длины штанги. Поэтому для определенных моментов инерции спутника для каждой орбиты имеется определенная минимальная длина штанги, менее которой поворот невозможен.

Увеличение этой минимальной длины позволяет несколько уменьшить радиус шаров. Длина штанги выражается целым числом метров и ограничивается сверху 20 м. Вычисления проводятся для нескольких орбит, начиная низкими 180 км и заканчивая геостационарными орбитами  $\approx 36000$  км

В качестве первого примера рассмотрим цилиндрический спутник с диаметром 1м, высотой 1м и равномерно распределенной массой 100 кг. Если ось Z проходит через ось цилиндра, то его моменты инерции вокруг главных осей равны  $A = B \approx 14,58 \text{ кг} \times \text{м}^2$ ,  $C = 12,5 \text{ кг} \times \text{м}^2$ , и  $A - C \approx 2,08 \text{ кг} \times \text{м}^2$ . На Рис.3,а приведены результаты вычислений для данного примера.

В качестве второго примера спутника в центре конструкции рассмотрим цилиндр с диаметром 2м, высотой 2м и равномерно распределенной массой 300кг. Его моменты инерции  $A = B = 175 \text{ кг} \times \text{м}^2$ ,  $C = 150 \text{ кг} \times \text{м}^2$ , и  $A - C = 25 \text{ кг} \times \text{м}^2$ . На Рис.3,б приведены результаты вычислений для различных орбит для второго примера.

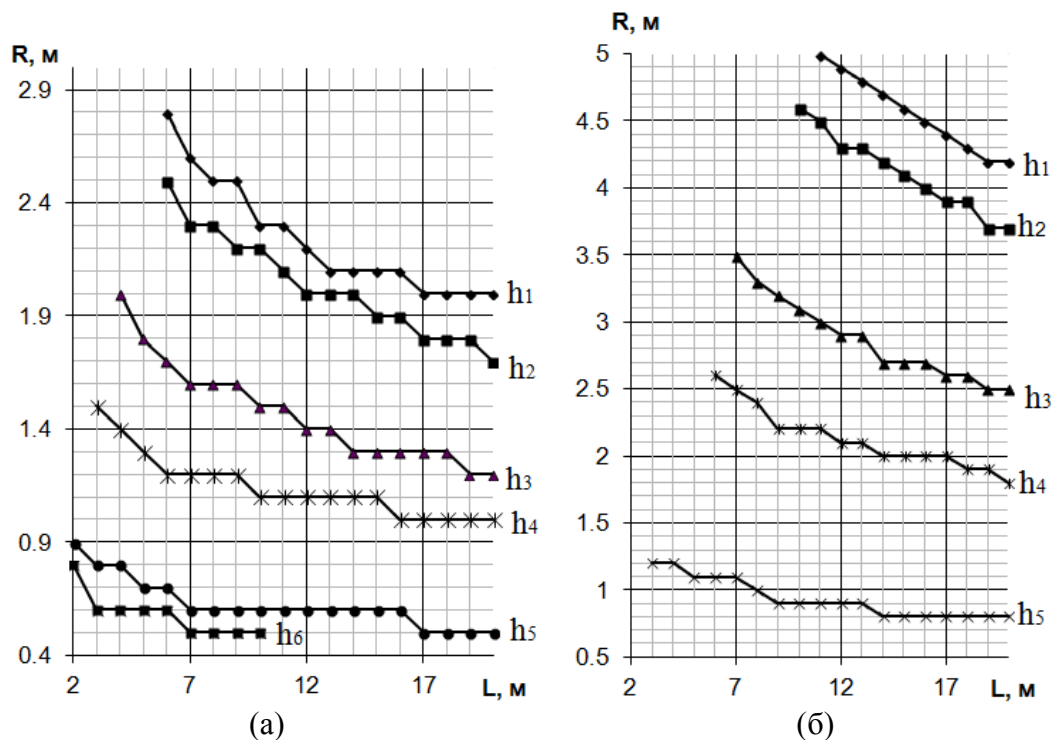


Рис. 2:

(а) Соотношения между длиной штанги  $L$  и минимальным радиусом элементов паруса  $R$  при максимальной разности в моментах инерции  $KA 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , на соответствующих высотах орбит:  $h_1=100 \text{ км}$ ,  $h_2=1000 \text{ км}$ ,  $h_3=5000 \text{ км}$ ,  $h_4=10000 \text{ км}$ ,  $h_5=30000 \text{ км}$ ,  $h_6=42000 \text{ км}$ .

(б) Соотношения между длиной штанги  $L$  и минимальным радиусом элементов паруса  $R$  при максимальной разности в моментах инерции  $KA 25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , на соответствующих высотах орбит:  $h_1=100 \text{ км}$ ,  $h_2=1000 \text{ км}$ ,  $h_3=5000 \text{ км}$ ,  $h_4=10000 \text{ км}$ ,  $h_5=42000 \text{ км}$ .

Представленные примеры работы программы показывают, что при управлении ориентацией спутника с помощью паруса на орбите Земли определяющими параметрами являются моменты инерции аппарата в центре конструкции и высота орбиты. Исходя из них, подбираются необходимые геометрические параметры. Предварительные оценки показали, что для маневра аппарата на достаточно высоких орбитах или с небольшой разницей в главных моментах инерции, длины штанг и радиусы шаров являются не слишком большими. Это говорит о возможности реализации идеи со сферическими парусами на практике. Кроме того, на данном этапе оценка проведена со значительным запасом, и поэтому дальнейшей оптимизационной задачей является нахождение минимальных необходимых геометрических параметров.

## ПРОЦЕДУРА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЯМИ.

Федосеев С.В., Астафьев А.В.,  
Москва, МЭСИ

В статье рассматривается процедура многокритериального выбора в задачах управления инвестициями на примере задачи выбора оптимального реального опциона.

Предлагаются процедуры, позволяющие учитывать специфические особенности реальных опционов в задачах многокритериального выбора.

**Procedure of a multicriteria choice in problems of management of investments, Fedoseev S.V., Astafiev A.V.**

In article procedure of a multicriteria choice in problems of management of investments on the example of a problem of a choice of an optimum real option is considered. The procedures allowing to consider specific features of real options in problems of a multicriteria choice are offered.

1. Введение.

В различных предметных областях задача принятия решений по определению оптимальной альтернативы имеет специфические отличия. В управлении инновациями лицо, принимающее решение (ЛПР), часто сталкивается с проблемой выбора в условиях недостатка информации. Одним из инструментов принятия решений в условиях неопределённости являются реальные опционы, использование которых позволяет ЛПР более гибко реагировать на реализацию того или иного варианта будущего. Из этого следует, что развитие методологии применения реальных опционов и в частности разработка процедур принятия решений в области управления реальными опционами имеют большое значения для практического использования этого инструмента. Под *реальным опционом* в данной статье понимается «любая возможность, право или шанс получения какого-либо блага в будущем, для создания которых в настоящем нужно совершить какое-либо действие» [1].

В настоящее время, как правило, реальные опционы используются в инвестиционной деятельности предприятия, прежде всего, при реализации и оценке инновационных проектов. Реальные опционы особенно целесообразны при оценке проектов по созданию инновационных продуктов. Причина в том, что такие проекты при использовании традиционной системы оценки инвестиций оцениваются неадекватно и часто признаются недостаточно эффективными.

Кроме инвестиционной деятельности существуют и другие области применения реальных опционов. В качестве примера можно привести использование предприятием реальных опционов в процессе ценообразования на свои услуги [2].

Важно отметить, что на практике (ЛПР) может применять реальные опционы неосознанно. В этих случаях можно идентифицировать действия ЛПР как создание механизмов для снижения рисков и (или) увеличения управленческой гибкости [3]. Такая ситуация приводит к отсутствию системности в оценке реальных опционов и использованию ЛПР интуитивного подхода к принятию решений по реальным опционам.

В общем виде реальные опционы являются универсальным инструментом принятия решений, а задача их оценки является многокритериальной. Это даёт возможность применять реальные опционы не только в управлении экономическими системами, но и системами во всех сферах, где требуется принимать решения в условиях неопределённости, и использовать хорошо разработанные методы и технологии теории принятия решений для оценки и выбора оптимальных реальных опционов.

Таким образом, подход к определению оптимальной альтернативы среди реальных опционов должен быть основан на методах теории принятия решений и одновременно учитывать специфические особенности реальных опционов.

2. Процедура определения балансовых коэффициентов.

Задача принятия решения о целесообразности создания реального опциона определяется в общем виде как задача оценки целесообразности затрат ресурсов  $x_i$  (где  $i = 1, 2, \dots, n$ ), принадлежащих к вектору расходуемых ресурсов  $X$ , с целью создания возможности (но не обязательства) получения в будущем ресурсов  $y_j$  (где  $j = 1, 2, \dots, m$ ), принадлежащих к вектору получаемых ресурсов  $Y$ , при наступлении совокупности событий  $c_k$  (где  $k = 1, 2, \dots, s$ ) с соответствующей вероятностью  $P(c_k)$  (где  $k = 1, 2, \dots, s$ ).

Для оценки целесообразности выбора того или иного реального опциона можно применять различные методы принятия решений. Например, использование в качестве результирующего показателя метода линейной свёртки показателей.

Но также важно и развитие системы показателей, учитывающей специфические особенности реальных опционов. Можно сделать вывод, что значимую информацию для ЛПР несут не только результаты сравнений векторов получаемых и расходуемых ресурсов в виде значения результирующего показателя. В ряде случаев интерес для ЛПР представляют также соотношения частных показателей внутри векторов.

Для оценки таких соотношений предлагается использование *балансовых коэффициентов*. Общее выражение для определения балансовых коэффициентов в векторе затрачиваемых ресурсов приведено ниже:

$$k_y = \frac{\sum_{j=1}^p (\beta_j y_{jp})}{\sum_{j=1}^l (\beta_j y_{jl})}, \quad (1)$$

где  $k_y$  – требуемые для ЛПР коэффициенты соотношений в векторе получаемых ресурсов ( $y = 1; 2; \dots; h$ );

$y_{jp}$  – значение  $j$ -го вида получаемого ресурса, включаемого в расчёт балансового коэффициента в числителе ( $j = 1; 2; \dots; p; \dots; m$ );

$y_{jl}$  – значение  $j$ -го вида получаемого ресурса, включаемого в расчёт балансового коэффициента в знаменателе ( $j = 1; 2; \dots; l; \dots; m$ );

$\beta_j$  – коэффициент относительной важности  $j$ -го вида получаемого ресурса ( $j = 1; 2; \dots; m$ ).

Выражение для балансовых коэффициентов показателей, входящих в состав затрачиваемых ресурсов, определим следующим образом:

$$k_x = \frac{\sum_{i=1}^r (\gamma_i x_{ir})}{\sum_{i=1}^q (\gamma_i x_{iq})}, \quad (2)$$

где  $k_x$  – требуемые для ЛПР коэффициенты соотношений в векторе получаемых ресурсов ( $x = 1; 2; \dots; g$ );

$x_{ir}$  – значение  $i$ -го вида расходуемого ресурса, включаемого в расчёт балансового коэффициента в числителе ( $i = 1, 2, \dots; r; \dots; n$ );

$x_{iq}$  – значение  $i$ -го вида расходуемого ресурса, включаемого в расчёт балансового коэффициента в знаменателе ( $i = 1, 2, \dots; q; \dots; n$ );

$\gamma_i$  – коэффициент относительной важности  $i$ -го вида расходуемого ресурса ( $i = 1, 2, \dots; n$ ).

В зависимости от состава сравниваемых объектов возможны два типа балансовых коэффициентов.

Первый тип – *коэффициент соотношения двух показателей*. Этот коэффициент подразумевает сравнение только двух показателей в векторе. Следует отметить, что в этом случае для расчёта балансового коэффициента не требуется использование весов.

*Пример 1.* ЛПР установил ограничение, по которому отношение затрат труда к денежным затратам должно быть не более 2 человеко\*часов на 1 рубль. Рассмотрим расчёт балансового коэффициента (Табл. 1.).

Таблица 1. Расчёт двухпоказательного балансового коэффициента

Опцион	Вектор затрачиваемых ресурсов		Балансовый коэффициент
	Труд	Денежные средства	
№1	100 человеко*час	50 рублей	=100/50=2 ч.- ч./руб.
№2	300 человеко*час	100 рублей	=300/100=3 ч.- ч./руб.

Вывод: из двух опционов только опцион №2 удовлетворяет ограничению, заданному ЛПР.

Второй тип балансовых коэффициентов – многопоказательный коэффициент соотношения. Этот коэффициент подразумевает сравнение одного показателя с группой показателей или двух групп показателей между собой. При расчёте этого типа балансового коэффициента требуется использование весов.

Пример 2. ЛПР установил ограничение, по которому отношение совокупного коммерческого эффекта опциона к совокупному социальному эффекту должно быть не менее 3. Рассмотрим расчёт балансового коэффициента (Табл.2.).

Таблица 2. Расчёт многопоказательного балансового коэффициента

Опцион	Вектор получаемых ресурсов		Балансовый коэффициент
	Совокупный экономический эффект	Совокупный социальный эффект	
№1	1000 баллов	5000 баллов	=1000/5000= 0,2
№2	3000 баллов	1000 баллов	=3000/1000=3

Вывод: из двух опционов только опцион №2 удовлетворяет ограничению, заданному ЛПР.

3. Процедура определения чувствительности результата реального опциона.

Как уже отмечалось выше, задача выбора оптимального реального опциона решается в условиях неопределённости и является многопоказательной. На основании этого возникает вопрос о степени зависимости конечного результата альтернатив от изменений частных показателей или, применительно к реальным опционам, о чувствительности результата реального опциона.

Предлагается определять чувствительность к частному показателю как величину изменения этого показателя, при которой результат реального опциона будет равен нулю.

Определять ЧРО к изменению значений затрачиваемых ( $x_i$ ) или получаемых ресурсов ( $y_j$ ) предлагается по следующему выражению:

$$(ЧРО)_{x_i} = \Delta x_i = \frac{x_{i1} - x_{i0}}{x_{i0}} * 100\%, \quad \text{при котором } P_0(x_{i1}) = 0, \quad (3)$$

$$(ЧРО)_{y_j} = \Delta y_j = \frac{y_{j1} - y_{j0}}{y_{j0}} * 100\%, \quad \text{при котором } P_0(y_{j1}) = 0. \quad (4)$$

Заметим, что есть возможность оценки чувствительности не только к изменению одного показателя, но и к изменениям группы затрачиваемых ресурсов, группы получаемых ресурсов, а также смешанной группы, содержащей в себе и затрачиваемые, и получаемые ресурсы.

При необходимости результат реального опциона заменяется каким-либо другим результирующим показателем и анализ чувствительности проводится уже для этого показателя.

Данный показатель является развитием метода опорных точек, используемого в инвестиционном анализе чувствительности [4]. И, следовательно, обладает таким же главным недостатком – принятием допущения о независимости значений одного частного показателя от другого. В реальности это допущения часто нарушается.

Рекомендуется использовать ЧРО в методе главного критерия. ЛПР сможет либо задавать ограничения по значению этого показателя, либо минимизировать (максимизировать) его в качестве главного критерия.

Следует отметить, что результаты анализа чувствительности реального опциона могут быть использоваться не только для выбора оптимальной альтернативы среди опционов, но и для выявления показателей, изменения которых имеют наибольшее влияние на изменение результирующего показателя (Рис. 1).

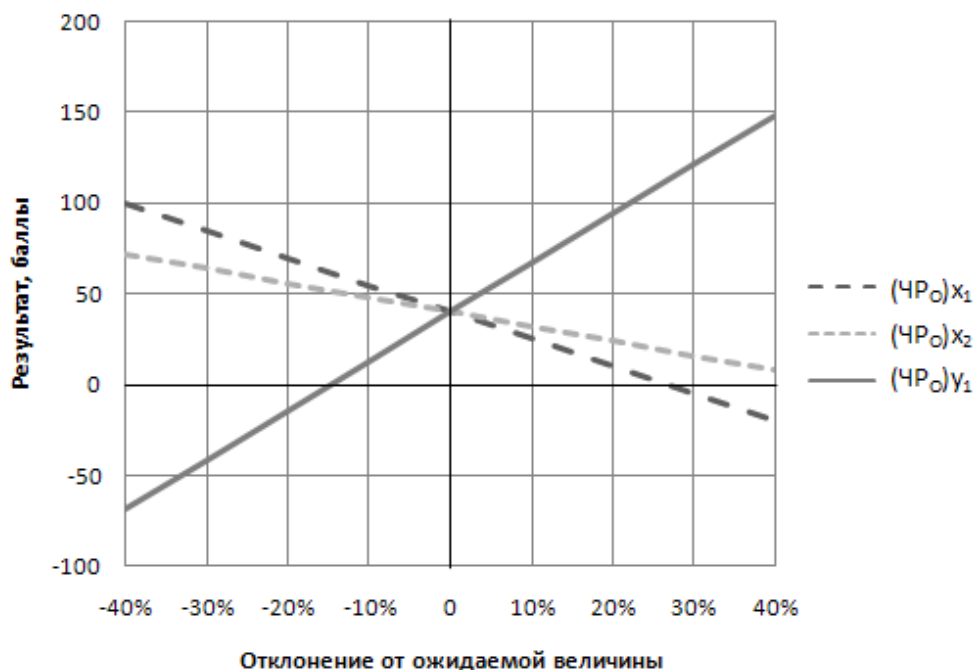


Рис. 1. Анализ чувствительности к изменениям частных показателей.

На Рис. 1 видно, что показатель  $y_1$  имеет наименьшую величину изменения своего значения, при которой результат становится равным нулю. Соответственно, положительный результат реального опциона зависит от изменений этого показателя больше, чем от других параметров.

В результате такого анализа чувствительности выявляются параметры, наиболее влияющие на результирующий показатель, и по ним рекомендуется изучить возможность проведения более детальных расчётов и мероприятий по страхованию от изменений их значений.

#### 4. Заключение.

Таким образом, для более корректного анализа при рассмотрении реальных опционов не следует ограничиваться только денежными оценками их эффективности.



Важно также учитывать многопоказательность реальных опционов. Повышению эффективности многопоказательного анализа опционов способствует использование предлагаемых процедур определения балансовых коэффициентов альтернативы и оценки чувствительности результирующего показателя альтернативы к изменениям её частных показателей.

Представляется, что использование предложенных процедур повысит качество принятия решений в области управления реальными опционами, в том числе в сфере инноваций и информационных технологий.

#### **Литература.**

1. Астафьев А.В. Концепция реальных опционов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – №3(121). – С.259-262.

Copeland T., Antikarov V. Real Options: A Practitioner's Guide.– New York: TEXERE, 2003.– 370 p.

Федосеев С.В., Астафьев А.В. Процедура принятия решений при реализации инновационного проекта с использованием опционного подхода // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий». – Сочи, 2012. – С. 462-466.

Липсиц И.В., Коссов В.В. Экономический анализ реальных инвестиций: учебник. – М.: Магистр, 2007. – 383 с.

Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений: учебное пособие.– М.: Проспект, 2013. – 176 с.

### **ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МАГИСТЕРСКОЙ ПОДГОТОВКИ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И АДМИНИСТРИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ» В МЭСИ**

Федосеев С.В., Микрюков А.А., Беркетов Г.А.  
*Москва, МЭСИ*

В статье обосновывается целесообразность открытия нового профиля магистерской подготовки «Математические методы управления ИТ-активами».

Приводятся требования к выпускнику и подходы к разработке учебного плана по указанному профилю.

#### **Peculiarities of education of Master's Program “Mathematical support and information systems administration”. Berketov G.A., Mikrukov A.A., Fedoseev S.V.**

The article substantiates the appropriateness of opening a new profile of Master's training “Methods of IT Asset Management”. There are the requirements to graduate and approaches to curriculum development to the specified profile.

Адаптация информационных технологий к изменяющимся условиям функционирования рынка является одной из важнейших проблем. Так, например, сегодняшняя ситуация неустойчивого экономического развития привела к актуализации следующих ИТ-направлений: управление финансовыми потоками, управление рисками, оптимизация производственных планов, управление затратами на персонал и др.

Особое значение в ряду этих направлений имеют: выявление потенциальных характеристик информационных систем и возможностей их эффективного применения (ИТ-аудит), а также - управление ИТ-активами.

Такое положение связано, прежде всего, с широким распространением в последнее время технологий облачных вычислений, с процессом консолидации информационных услуг, с активным применением аутсорсинга в сфере информационных технологий.

Обозначенные направления ИТ-технологий не могут развиваться без соответствующего кадрового обеспечения, что и обусловило открытие в Московском государственном университете экономики, статистики и информатики (МЭСИ) нового профиля магистерской подготовки «Математические методы управления ИТ-активами» по направлению «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем».

Выпускник по указанному направлению и профилю должен быть готов к решению следующих задач:

создание и применение средств математического обеспечения информационных систем;

разработка программного обеспечения и способов администрирования информационных систем и сетей (включая глобальные);

разработка программного обеспечения средств вычислительной техники (ВТ) и автоматизированных систем (АС);

использование средств ВТ, а также новых областей и методов применения ВТ и АС в информационных системах и сетях.

Областью профессиональной деятельности магистров профиля подготовки «Математические методы управления ИТ-активами» могут быть научно-исследовательские центры, проектные и научно-производственные организации, органы управления, образовательные учреждения, банки, страховые компании, промышленные предприятия и другие организации различных форм собственности, связанные с проектированием, разработкой и сопровождением различных программных продуктов

Магистр подготовлен также к педагогической деятельности в общеобразовательных учреждениях, образовательных учреждениях начального профессионального и среднего профессионального образования

Объектами профессиональной деятельности магистров являются:

математические и алгоритмические модели, программы, программные системы и комплексы, методы их проектирования и реализации, способы производства, сопровождения, эксплуатации и администрирования в различных областях;

имитационные модели сложных процессов управления, программные средства, администрирование вычислительных, информационных процессов.

Учебный план магистерской подготовки по указанному профилю был разработан на основе сочетания следующих трех составляющих:

учебных дисциплин, связанных с фундаментальной математической подготовкой, подтверждающей квалификацию магистра;

учебных дисциплин, отражающих рыночную направленность, привлекательность магистерской подготовки;

учебных дисциплин, относящихся к информационным технологиям.

К основным дисциплинам, формирующим компетентный портрет магистра по программе «Математические методы управления ИТ-активами», относятся:

инструментальные средства управления ИТ-активами;

проблемы и направления развития математического и программного обеспечения информационных систем;

методы обработки данных в распределенных информационных системах;

комплексный аудит информационных систем;

математические методы решения задач высокой вычислительной сложности;

метрология качества программного обеспечения;

современные методы хранения и управления информацией;

ИТ-инфраструктура предприятия.

Требуется значительное улучшение подготовки профессорско-преподавательского состава для проведения занятий по вновь открываемым учебным дисциплинам. С этой целью необходимо направлять преподавателей на краткосрочные курсы переподготовки.

Наиболее важными профессиональными компетенциями магистров по профилю «Математические методы управления ИТ-активами» являются:

знание содержания, основных этапов и тенденций развития программирования, математического обеспечения и информационных технологий; проблем и направлений развития технологии программирования; основных методов и средств автоматизации проектирования, производства, испытаний и оценки качества программного обеспечения;

знание проблем и тенденций развития рынка программного обеспечения; методов проектирования и производства программного продукта, принципов построения, структуры и приемов работы с инструментальными средствами, поддерживающими создание программного обеспечения;

знание методов организации работы в коллективах разработчиков программного обеспечения, направлений развития методов и программных средств коллективной разработки;

навыки использования основных моделей информационных технологий и способов их применения для решения задач в предметных областях; выбора, проектирования, реализации, оценки качества и анализа эффективности программного обеспечения для решения задач в различных предметных областях.

Возможные должности после окончания магистратуры по программе «Математические методы управления ИТ-активами»:

системный интегратор;

системный аналитик;

системный программист;

руководитель ИТ-отдела;

специалист по сетевым технологиям;

специалист дата-центра;

консультант-аналитик по созданию прикладного программного обеспечения;

специалист по системной и программной инженерии и др.

Введение профиля «Математические методы управления ИТ-активами» позволяет получить для МЭСИ определенные конкурентные преимущества, так как магистры такого профиля не подготавливаются в других ВУЗах РФ.

Очевидно, что чуткая и своевременная реакция на изменение требований рынка, особенно такого, как рынок программных продуктов и услуг, является решающим условием успешного функционирования и вуза, и его выпускника по окончании обучения.

## Литература

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 010500 математическое обеспечение и администрирование информационных систем (квалификация (степень) "магистр")

### ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В СРЕДЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Фомин В.В., Флегонтов А.В.  
*Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И.Герцена*

Раскрывается проблематика развития теории интеллектуального анализа данных и практика инструментального перехода на технологии распределенных систем и облачных вычислений. Представлены материалы по проектным работам в рамках разработки интеллектуального хранилища знаний и автоматизации процесса информационной поддержки принятия управленческих решений

#### **Prospects data-mining analysis in a cloud computing environment. Fomin V.V., Flegontov A.V.**

Reveals the problems of the theory of data-mining and practice tool migration to distributed systems and cloud computing. There are presented materials on design works in the framework of the development of intellectual knowledge warehouse and automation of the process of information support of acceptance of administrative decisions.

Последние годы характеризуются внедрением информационных систем не только в торговые и промышленные предприятия, но и находят свое применение в таких отраслях как социальные институты управления, медицина, образование, туризм и других учреждениях. Однако интенсивное направление развития информационных технологий, направленное только на расширение парка вычислительной техники, Internet-ресурсов, средств коммуникаций, наталкивается на фундаментальную проблему качества информации и принципов ее использования [1,4]. На сегодняшний момент человечество накопило огромное количество разнообразной информации (статистической, текстовой, мультимедийной и пр.). Колоссальные информационные ресурсы породили проблему их эффективного использования – возникла потребность в развитии прогнозных и экспертно-ориентированных систем с элементами искусственного интеллекта, в основу которых легли бы современные методы «превращения» накопленных разнородных данных в полезные знания [7,6].

На протяжении десятков лет активно развивается область компьютерных информационных технологий «обнаружение знаний в базах данных» (knowledge discovery in databases). Рядом с этим названием нередко также звучат термины «раскопа данных» (data mining), машинного обучения (machine learning) и «интеллектуальный анализ данных» [1,2]. Все эти термины можно считать синонимами. Их возникновение связано с новым витком в развитии средств и методов обработки различной информации и такими фундаментальными проблемами искусственного интеллекта как распознавание и прогнозирование. Этот виток обязан пришедшему пониманию, что в накопленной информации содержатся скрытые знания, которые можно извлечь и воспользоваться в практических целях.

Начали развиваться технологии направленные на качественный анализ информационных ресурсов. Такие технологии выводят на иной – революционный уровень применение вычислительной техники, переводя ее использование с рельсов математического прагматизма в сферу технических и гуманитарных исследований и превращая информационную парадигму из простого информационного ресурса «хранилища данных» в интеллектуального помощника анализа данных на базе «компетенции знаний» [4]. Однако стремление усовершенствовать процессы принятия решений нередко наталкивается на большие объемы и сложную структуру накапливаемых данных. Указанные обстоятельства стимулировали развитие технологий «обнаружения знаний», технологий интеллектуального анализа данных, предназначенных для автоматического поиска в разнотипных и разнородных данных скрытых закономерностей, раскрывающих взаимосвязи в той или иной предметной области.

На сегодняшний день известны [2,3,7] десятки методологий и сотни алгоритмов интеллектуального анализа данных (статистические, регрессионные, эвристические и т.д.), развита индустрия программного обеспечения - аналитические пакеты успешно используются в различных областях науки, бизнеса, промышленности, инноваций. Большинство современных программных приложений, не зависимо от функционального назначения, снабжено встроенными модулями анализа, основанными на алгоритмах машинного обучения - инструментарии классификации, распознавания, прогнозирования и др.

Высокий коммерческий потенциал инноваций в области искусственного интеллекта и их огромная рентабельность приводят разработки и научно-технические решения к уровню коммерческой тайны и защите прав собственности на конкретные методы, алгоритмы, приложения. Методы искусственного интеллекта зародились как научные исследования и все базовые модели и алгоритмы, как правило, представлены в виде языка математически формул, что представляет определенную сложность для программистов при адаптации этих методов в виде программных алгоритмов к современным сетевым технологиям. Эти факторы тормозят развитие интеллектуальных технологий, делая их труднодоступными как для профессиональных разработчиков, так и отпугивая потенциальных пользователей этими технологиями.

В настоящее время интеллектуальный анализ данных (ИАД) существует в двух ипостасях. Ряд специалистов делает акцент на обработке сверхбольших объемов данных. Здесь предъявляются повышенные требования к быстродействию алгоритмов, естественно, в ущерб оптимальности результатов. Подавляющее большинство классических процедур имеют время выполнения, квадратичное или даже кубическое по объёму исходных данных. При количестве объектов, превосходящем несколько десятков тысяч, они работают неприемлемо медленно даже на самых современных компьютерах. За последние десятилетия значительные усилия в области ИАД были направлены на создание специализированных алгоритмов, способных выполнять те же задачи за линейное или даже логарифмическое время без существенной потери точности.

Другая группа специалистов концентрирует внимание на глубине раскопки данных. В понимании второй группы основные отличия технологии ИАД следующие:

– Интеллектуальный анализ данных – это всегда сугубо многомерные задачи – поиск связи между значением целевого показателя и набором значений группы других показателей базы данных.

– Технология ИАД способна обрабатывать разнородную информацию. То есть, поля могут быть представлены количественными, качественными и текстовыми переменными.

– Технология ИАД в отличие от традиционных статистических методов не претендует на поиск взаимосвязей, характерных для полного объема данных (всей выборки). Ищутся правила, связывающие значения показателей, для подвыборок данных. При этом правила всегда высокоточные, а не «размытые» по всей выборке.

– Алгоритмы ИАД производят поиск указанных выше подвыборок данных и точных взаимосвязей для этих подвыборок в автоматическом режиме.

Таким образом, ключевые слова ИАД– точность, многомерность, разнотипность данных, автоматический поиск, интерпретируемость получаемого результата.

Одной из главных отличительных черт ИАД является функция интерпретации закономерностей, кладущихся в основу правил вхождения объектов в классы эквивалентности. Поэтому здесь большое распространение получили логические методы. Есть еще одна важная причина приоритета логических методов заключается в сложной системной организации областей, составляющих предмет приложения современных информационных технологий. Эти области относятся, как правило, к семантическому уровню организации систем, закономерности которого не могут быть достаточно точно описаны на языке статистических или иных аналитических математических моделей и не оставляют выхода, кроме как использовать логические конструкции индуктивного вывода при описании свойств таких сложных систем.

Другие методы ИАД для построения диагностических и прогностических моделей имеют менее прозрачную интерпретацию (нейросетевой подход, эволюционные алгоритмы, методы решающих функций и т.д.).

Как показала практика последнего десятилетия, в ряде задач (особенно в бизнес-приложениях, где требуется анализировать огромные базы данных), требование интерпретируемости результатов стало отступать на задний план. Акцент стал делаться на стабильности получаемых решений и на передний план начали выходить методы работы с комитетами, содержащими сотни и тысячи методов и алгоритмов. Подобные комитеты, состоящие даже из «слабых» алгоритмов, способны превосходить по точности изолированные «сильные» алгоритмы, нацеленные на поиск глубоких закономерностей в массивах данных. Наблюдается явное отступление от изначальных идеалов ИАД, связанных с попытками извлечения знаний из данных, а не построением моделей в виде «черных ящиков».

При работе с комитетами алгоритмов сегодня широко используются 2 общих технологических приема или метода, имеющих чрезвычайную важность для ИАД. Это «бустинг» (boosting) и «бэггинг» (bagging – сокращение от «bootstrapaggregation»). Эти приемы предназначены для повышения «обобщающей способности» получаемых моделей – способности выдавать правильные результаты не только для примеров, участвовавших в процессе обучения, но и для любых новых, не участвовавших в процессе обучения данных. Бустинг реализует процедуру последовательного построения композиции алгоритмов машинного обучения, когда каждый следующий алгоритм стремится компенсировать недостатки композиции всех предыдущих алгоритмов. Бэггинг – это метод формирования ансамблей классификаторов с использованием случайной выборки с возвратом или бутстрепа.

В области интеллектуального анализа данных за последнее десятилетие произошли существенные изменения. Слово «интеллектуальный» теперь, скорее, нужно воспринимать в контексте автоматического построения классифицирующих и прогнозирующих моделей [1,5]. Поиск индивидуально сильных методов и алгоритмов

для основной массы специалистов ИАД стал не столь привлекательным – их интересы сместились в сторону умений работать с большими коллективами «слабых» методов и алгоритмов. Это, в свою очередь, говорит о том, что современные программные средства в области ИАД, должны агрегировать большой набор разнообразных процедур и специальные средства для построения и настройки комитетов, ансамблей решений.

Вместе с тем, проблема построения «сильных» моделей не потеряла своей актуальности. Сильные модели являются более пригодными для интерпретации, и объединяются в менее громоздкие коллективы для достижения эффективных результатов в задачах классификации и прогнозирования.

На фоне формирования методологии "облачных вычислений" привело к развитию Internet-технологий основанных на методах и алгоритмах интеллектуального анализа данных. Становиться актуальной идея создания облачного ресурса [4,5,6] - интегрированной Internet -системы интеллектуального анализа данных. Такая система может строиться в развитии нескольких направлений:

1. программный инструмент коллективного пользования, работающий в реальном времени, быстрого доступа из точек входа в Internet, снабженный открытой библиотекой алгоритмов интеллектуального анализа и системой управления;
2. полигон для проработки распределенных вычислений при анализе большого количества данных и использования суперкомпьютеров;
3. образовательный портал с инструментами обучения и программными модулями с открытым кодом.

Из основных направлений научно-технического и технологического развития интеллектуальных технологий в рамках облачных вычислений выделим следующие тенденции:

- Совершенствование программно-аппаратных, технических средств для получения, записи и хранения информации, сверх больших массивов, слабоструктурированных, разнородных данных, переход на структуры распределенных систем и сетевых технологий.

- Развитие математических методов основанных на традиционной математической статистике и расширение формального аппарата исследований с подключением нечеткой логики, нейронных сетей, логического вывода и др.

- Исследования концентрируются на проблеме поиска закономерностей в многомерных данных, построении диагностических и прогностических моделей, выявлении сложных неперiodических паттернов в динамических рядах и др.

- Повышение производительности алгоритмов и программ обработки и качества результатов анализа, предметной интерпретируемости получаемого результата за счет развития методов параллельной обработки, визуализации, методов снижения размерности и очистки данных и т.д.

- Высокий коммерческий потенциал инноваций в области искусственного интеллекта и их огромная рентабельность приводят разработки и научно-технические решения к уровню коммерческой тайны и защите прав собственности на конкретные данные, методы, алгоритмы, приложения.

- Широкая область применения инструментария интеллектуального анализа данных характеризует и затрагивает множество аспектов влияния результатов исследований, в том числе в областях: технологической, экологической, социальной, государственной и общественной безопасности и т.д.

На базе научно-организационного центра «Информационные технологии и системы моделирования» РГПУ им. А.И.Герцена (Россия, Санкт-Петербург) проводятся проектные работы в рамках разработки интеллектуального хранилища

знаний и автоматизации процесса информационной поддержки принятия управленческих решений. Проводимые исследования и прикладные разработки по технологиям интеллектуального анализа данных, методам искусственного интеллекта, моделям представления информации, электронным базам и репозиториям являются потенциальным инструментом для повышения эффективности научной, инновационной и образовательной деятельности в промышленности, экономики, медицины и т.д.

Практическая реализация проекта [5] позволяет использовать ее как самонастраивающуюся, адаптивную, открытую интеллектуальную информационную систему с интегрированными функциями экспертной системы и подсистемами интеллектуального анализа данных (извлечения знаний).

Предложенный математический аппарат и методика его использования в процессе анализа данных являются инструментом научной оценки и формального обоснования принимаемых инженерных решений в различных областях прогнозирования, классификации, принятия решений.

Основные функции облачного ресурса интеллектуального анализа данных и его концептуальная схема представлены на рисунке 1.

Приоритетные перспективные технологии, составляющие сущность предлагаемой темы исследований (проекта) в первую очередь направлены на решение целевой проблемы - эффективности и технологичности применения алгоритмов интеллектуального анализа данных в распределенных сетях при обработке слабо-структурированных больших объемов данных, в том числе:

- время и ресурсы обработки данных - создание инструментария с использованием современных программно-технических технологий для обработки мега-массивов статистических, слабо-структурированных данных с учетом распределенных вычислительных ресурсов и распараллеливания процессов для супер-эвм;

- интеграция в едином методическом и технологическом пространстве разнообразных и разнородных методов, моделей и алгоритмов машинного искусственного интеллекта, в том числе на основе процедур коллективного распознавания;

- обеспечение гибкости в настройке к конкретной предметной области инструментального программного комплекса поддержки принятия решений на основе конструирования моделей проблемных задач;

- выявление и систематизация накопленных электронных данных в рамках различных предметных областей, составление методик их обобщения и извлечения полезной информации и формирования репозитория знаний.

Перспективные технологии проекта и их показатели качества:

- Технологии интеллектуального анализа данных в широком классе предметных областей (machine-learning, data mining) и методов и алгоритмов классификации и прогнозирования. Показатели качества моделирования: достоверность, точность, адекватность и др.. Показатели качества алгоритмов: детерминированность, понятность, конечность, массовость, результативность и др.

- Технологии разработки автоматизированных информационных систем и программных комплексов. Показатели качества: точность, совместимость, надежность, универсальность, защищенность, полезность, эффективность, адаптируемость, проверяемость и др.

- Когнитивные технологии - развитие человеко-машинного интерфейса управления программным инструментарием. Показатели: функциональность,



визуализация данных, доступность элементов управления, информативность и наглядность, обучаемость пользователя, скорость принятия решений и др.

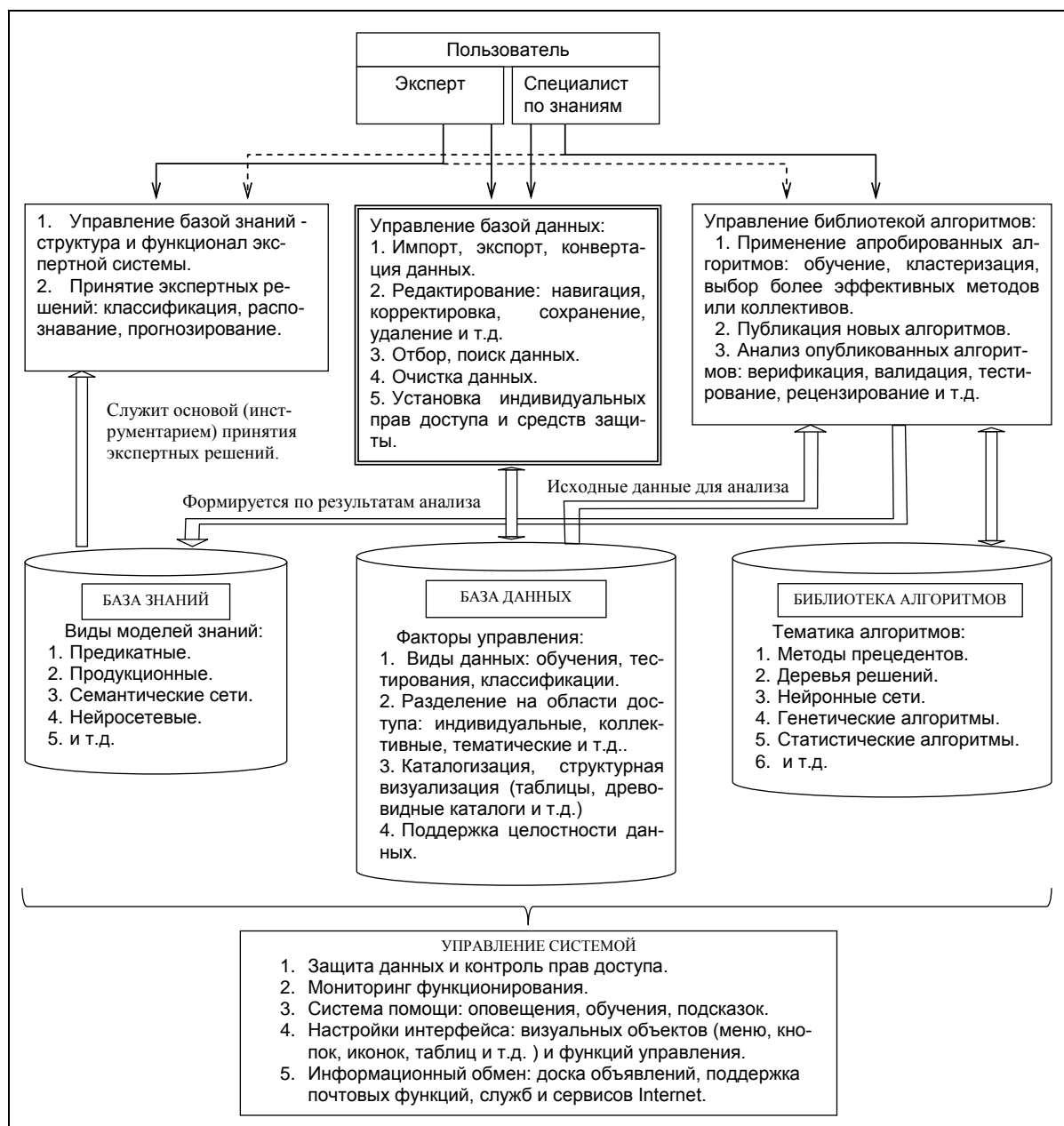


Рисунок 1. Концептуальная схема системы интеллектуальной обработки данных.

Существующий уровень научно-технического потенциала создает реальные предпосылки к созданию конкурентоспособной, инновационной, многопрофильной информационной системы анализа, прогнозирования, управления знаниями.

На текущий момент сложилась ситуация, позволяющая эффективно использовать имеющийся кадровый научно-технический состав, передовые научные достижения отечественных и зарубежных ученых. Учитывая организовавшуюся временную задержку в развитии и прикладном применении зарубежных аналогов, а также их закрытость и коммерческую обособленность, появилась реальная возможность выйти на передовые технологические рубежи управления, коммерциализации информацией (данными и знаниями).

Наличие и развитость современных информационно-коммуникационных технологий, высокотехнологичного оборудования, научно-творческого кадрового потенциала, лабораторий и научных школ, позволяют проводить планируемую разработку при минимальном бюджетном финансировании.

Главными приоритетами на ближайшие годы для разработчиков инструментария интеллектуального анализа данных станут повышение эффективности управления производственной мощностью ресурсов, а также улучшение оперативности и скорости развертывания бизнес-приложений. При этом к числу ведущих технологий и тенденций, наиболее важных для развития центров ИАД в данный период относятся облачные вычисления и мобильный доступ пользователей к информации.

### Литература

1. Дюк В.А., Флегонтов А.В., Фомина И.К. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественнонаучных, технических и гуманитарных областях // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2011. № 138. с. 77-84.
2. Профессиональный информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных. URL: <http://www.machinelearning.ru> (дата обращения 18.02.2013)
3. Репозиторий данных UCI университета г. Ирвин (Калифорния, США). URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml/> (дата обращения: 06.02.2013)
4. Фомин В.В., Флегонтов А.В., Лаптев В.В. Смена парадигмы в области новых технологий интеллектуального анализа данных. // Информатизация образования и науки № 3 (15). 2012. с. 3-12.
5. Флегонтов А.В., Фомин В.В. Система интеллектуальной обработки данных // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2013. № 154. с. 41-48.
6. Флегонтов А.В. Направления совершенствования программного инструментария интеллектуального анализа данных. Некоторые актуальные проблемы современной математики и математического образования. Герценовские чтения – 2012. Материалы научной конференции, 16–21 апреля 2012. – СПб.:БАН, 2012. с. 246-249.
7. Data-mining. URL: <http://www.kdnuggets.com/> (дата обращения: 06.02.2013)

## ДВУЛУЧЕВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОПУТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ В РЕЗОНАНСНЫХ ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

Мозговой Ю.Д., Хриткин С.А.  
*МИЭМ НИУ ВШЭ*

В одномодовом приближении методами теории многополюсников и эквивалентных схем исследуются дисперсионные характеристики и распределение полей при дискретном взаимодействии попутных электронных потоков и полей резонансных замедляющих систем. В двулучевых устройствах на попутных потоках усиление сигнала определяется продольным взаимодействием полей резонансных замедляющих систем с электронными потоками, имеющими различные скорости.

**Dual-beam interaction of passing electron beams in a resonance slow-wave structures, Mozgovoy Yu.D., Khritkin S.A.**

In the single-mode approximation theory with using methods multipoles and equivalent circuits are studied dispersion characteristics and field distribution in the discrete dual-beam interaction of passing or counter electron beams and fields of resonance slow-wave structures. In the dual-beam devices on passing flows amplification determined by the longitudinal interaction between the fields of a resonance slow-wave structure and electron beams having different speeds.

### **Введение**

Исследуются процессы взаимодействия многолучевых разнородных электронных потоков в электродинамических системах мощных микроволновых приборов с продольным взаимодействием. В линейном приближении развиты методы анализа многолучевого взаимодействия электронных потоков в электродинамических и резонансных замедляющих системах с учетом коэффициента редукции плазменных колебаний. Численное моделирование проводится для различных вариантов резонансных замедляющих систем [1-6].

Многоволновое взаимодействие электронных потоков и поля в резонансных замедляющих системах (ЗС) зависит от вида резонанса у периодической поверхности и сопровождается значительным динамическим увеличением или уменьшением плазменной частоты потоков [3]. Исследуемое многоволновое взаимодействие полей резонансных ЗС и волн электронных потоков относится к одномодовому черенковскому излучению при большом влиянии электронной среды [1-3].

Записаны уравнения связанных волн и получено решение дисперсионного уравнения в режимах трех и четырехволновой связи. Рассмотрены особенности режимов взаимодействия с усилением и без усиления волн. Двухлучевое усиление без обратной связи (типа лампы бегущей волны (ЛБВ)) наблюдается в системе попутных потоков. Двухлучевое усиление с обратной связью (типа лампы обратной волны (ЛОВ – усилитель)), а также двухлучевая генерация (типа ЛОВ – генератор) отмечаются в системе встречных электронных потоков. В одномодовом приближении методами теории многополюсников и эквивалентных схем исследуются дисперсионные характеристики и распределение полей при дискретном взаимодействии двухлучевых попутных электронных потоков и полей резонансных периодических ЗС.

Эквивалентная связанная система, включающая в себя два попутных электронных потока и периодическую ЗС, представляется в виде последовательности соединенных между собой 12-полюсников. Записаны уравнения связанных волн и получено характеристическое уравнение 6-й степени для нахождения комплексных постоянных распространения связанной системы. Анализируются решения дисперсионного уравнения в режимах четырех-, пяти- и шестиволновых связей волн электронных потоков с полями резонансных замедляющих систем [1, 2].

### **1. Основные уравнения продольного дискретного взаимодействия электронных потоков с полями резонансных замедляющих систем**

Значения комплексных амплитуд напряжений и токов эквивалентных схем, описывающих резонансные замедляющие системы, и нормальных волн электронных потоков, представленных в виде цепочек связанных 12-полюсников, записываются с помощью матричного уравнения:

$$\mathbf{X}_{s+1} = \mathbf{A}_s \mathbf{X}_s. \quad (1)$$

Комплексный вектор  $\mathbf{X}_s$  в матричном уравнении (1) имеет следующий вид:

$$\mathbf{X}_s = (U, I, a_1, a_2, a_3, a_4)_s, \quad (2)$$

где  $U, I$  – комплексные амплитуды напряжения и тока в  $s$ -й ячейке резонансной замедляющей системе,  $a_i$  – комплексные амплитуды медленных и быстрых волн пространственного заряда попутных электронных потоков.

Знание матрицы передачи отдельной  $s$ -й ячейки связанной системы  $A_s$  позволяет определить комплексные постоянные распространения волн системы  $\Gamma_i = \alpha_i + j\varphi_i$ , где  $i=1, \dots, 6$  из следующего дисперсионного уравнения:

$$|A_s - Ee^{-\Gamma_i}| = 0, \quad (3)$$

где  $\alpha_i$  - параметр нарастания или затухания,  $\varphi_i$  - фазовый сдвиг  $i$ -й волны на ячейку, определяющий постоянные распространения волн связанной системы  $\beta_i = \varphi_i / \Delta z$ ,  $E$  - единичная матрица.

В линейном приближении решение матричного уравнения (1) ищется в следующем виде:

$$X_{s+1} = X_s e^{-\Gamma_i}, \quad (4)$$

где  $i=1, \dots, 6$ . Подставляя это решение в матричное уравнение (1) и приравнявая нулю детерминант системы, получаем характеристическое уравнение связанной системы в виде общего уравнения:

$$\begin{vmatrix} A_{11} - e^\Gamma & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} - e^\Gamma & A_{23} & A_{24} & A_{25} & A_{26} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} - e^\Gamma & A_{34} & A_{35} & A_{36} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} - e^\Gamma & A_{45} & A_{46} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} - e^\Gamma & A_{56} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} & A_{65} & A_{66} - e^\Gamma \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

где коэффициенты  $A_{ij}$  – коэффициенты матрицы передачи  $A_s$  отдельной ячейки резонансной замедляющей системы с двумя электронными потоками.

При равенстве нулю коэффициентов электронного взаимодействия решение дисперсионного уравнения (5) позволяет получить дисперсионные характеристики для несвязанной системы.

Постоянные распространения волн  $\beta_m$  и коэффициент замедления  $c/v_{\phi m}$  для волны гармоника номера  $m$  находятся по значениям сдвига фаз  $\varphi_m$ :

$$\beta_m = \varphi_m / \Delta z, \quad \frac{c}{v_{\phi m}} = \frac{\lambda_0 \varphi_m}{2\pi \Delta z \omega}.$$

## 2. Исследование взаимодействия попутных электронных потоков с полями резонансных замедляющих систем

В качестве примера анализа взаимодействия электронных потоков с полями резонансных замедляющих систем первоначально рассмотрим взаимодействие однолучевого потока с замедляющей системой с положительной или отрицательной дисперсией волны основной пространственной гармоники (рис. 1). Из рассмотрения дисперсионных кривых отчетливо видно, что при увеличении коэффициента электронного взаимодействия  $M$  заметно возрастает параметр нарастания  $\alpha_i$ , что означает увеличение коэффициента усиления ЛБВ при взаимодействии вблизи границ полос прозрачности.

Эффективное взаимодействие достигается при синхронизме медленной волны потока с полем прямой волны резонансной ЗС. На рис. 1. показаны зависимости сдвига фаз  $\varphi_i$  и постоянной нарастания  $\alpha_i$  от нормированной частоты при изменении коэффициента взаимодействия с полями ЗС с отрицательной дисперсией волны основной пространственной гармоники.

Увеличение коэффициента электронного взаимодействия  $M$  приводит к расширению рабочей полосы усиливаемых частот. В случае синхронизма волн пучка с

полями резонансных ЗС вблизи низкочастотной границы полосы прозрачности возникают сложные виды решений дисперсионного уравнения. Анализ еще более усложняется при рассмотрении процессов взаимодействия с большими значениями коэффициента электронного взаимодействия ( $M = 0.3 - 0.5$ ), характеризующими реальную связанную систему.

Комплексные решения дисперсионного уравнения появляются по обе стороны от низкочастотной границы полосы прозрачности. Возникает внеполосное (запредельное) усиление входного сигнала, что существенно расширяет рабочую область усиливаемых частот в мощных ЛБВ на резонансных ЗС, в частности, в мощных ЛБВ на цепочках связанных резонаторов [1].

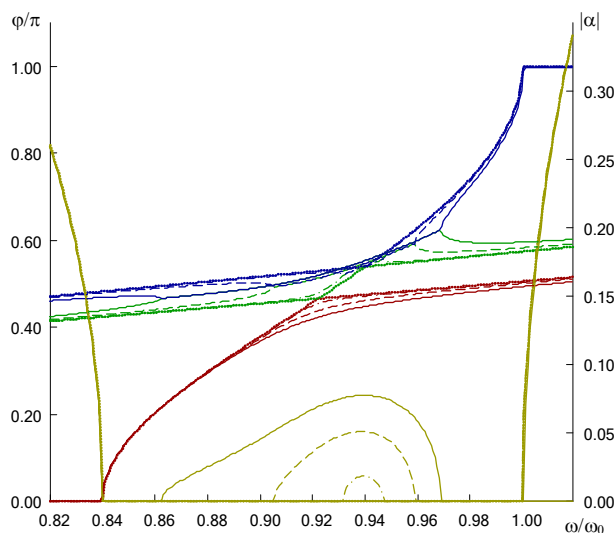


Рис. 1. Зависимости сдвига фаз  $\varphi_i$  и постоянной нарастания  $\alpha_i$  от нормированной частоты при изменении коэффициента взаимодействия однолучевого потока с полями резонансной замедляющей системы:  $U_0 = 20$  кВ,  $I_0 = 4$  А,  $\omega_p/\omega = 0.2$ ,  $M_1 = 0$  (пунктирные линии); 0.1 (штрих-пунктирные линии); 0.3 (штриховые линии); 0.5 (сплошные линии).

В двухлучевых устройствах на попутных потоках усиление сигнала определяется продольным взаимодействием полей с пучками, имеющими различные скорости. Двухлучевое усиление в мощных ЛБВ на резонансных ЗС наблюдается в системе двух попутных потоков (рис. 2 и рис. 3). При малых значениях коэффициентов связи потоков с полями ЗС отмечается наличие двух областей усиления. Постепенное увеличение значений коэффициентов связи приводит к заметному расширению областей комплексных решений и образованию расширенной области усиления сигнала (рис. 3).

Характер решений дисперсионного уравнения зависит от значений коэффициентов взаимодействия между потоками и между пучками и полями резонансных ЗС. По мере увеличения коэффициентов связи потоков с полями ЗС совершается переход к многоволновым связям волн потоков и полей ЗС. Области комплексных решений соединяются и возникает единый механизм общей связи на электронной моде.

Аналогично реализуется двухволновой механизм связи поля с несколькими потоками, где также области усиления сливаются, и происходит переход к общей области усиления. Учет связи между пучками приводит к появлению дополнительных областей усиления вне границ полосы прозрачности. Рассмотрены режимы

взаимодействия попутных электронных потоков при изменении коэффициента связи (рис. 2).

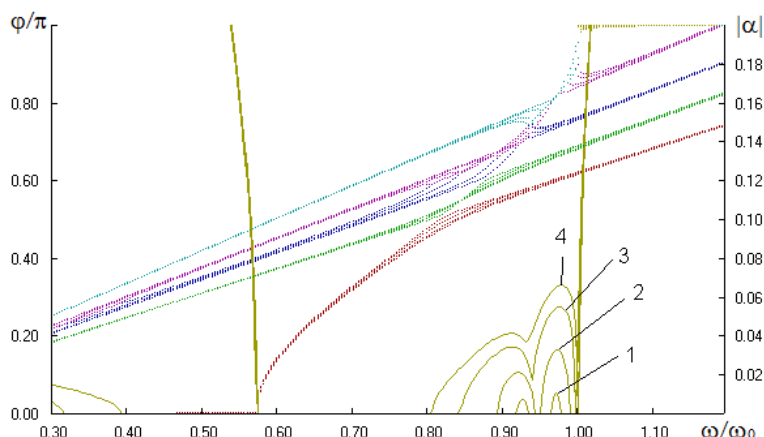


Рис. 2. Зависимости сдвига фаз  $\varphi_i$  и постоянной нарастания  $\alpha_i$  от нормированной частоты при изменении коэффициентов связи между двумя попутными потоками и полями резонансной замедляющей системы:

$$U_{01} = 20 \text{ кВ}, U_{02} = 25 \text{ кВ}, I_0 = 4 \text{ А}, \omega_p/\omega = 0.3, M_{12} = M_{21} = 0.05 \text{ (1); } 0.1 \text{ (2); } 0.3 \text{ (3); } 0.5 \text{ (4)}.$$

Аналогично реализуется многоволновой механизм связи полей резонансных ЗС с несколькими потоками, где также области усиления сигнала сливаются, и происходит переход к общей области усиления. Учет взаимодействия между потоками приводит к появлению дополнительных областей усиления. При увеличении коэффициентов связи между потоками наблюдается сверхширокополосное усиление, определяемое в основном двулучевым взаимодействием потоков (рис. 3 и рис. 4).

Взаимодействие в СВЧ устройствах на попутных потоках зависит от редуцированных частот плазменных колебаний пучков и условий синхронизма волн пучка с волнами периодических ЗС. В случае попутных потоков, движущихся в гладкой трубе дрейфа, эффективное взаимодействие достигается при синхронизме медленной волны широкого (с большим радиусом действия кулоновских сил) потока и быстрой волны узкого (с малым радиусом действия кулоновских сил) потока. Взаимодействие медленной волны одного потока с быстрой волной другого потока приводит к экспоненциальному усилению (режим двулучевого усилителя типа ЛБВ в гладкой трубе дрейфа).

Рассмотрены особенности режимов взаимодействия вблизи границ полосы прозрачности при периодической или аperiodической связи волн, с усилением или без усиления волн. Двулучевое усиление в мощных ЛБВ на резонансных ЗС наблюдается в системе попутных потоков. Постепенное увеличение коэффициентов связи электронных потоков  $M_1$  и  $M_2$  с полями периодической ЗС с положительной дисперсией приводит к расширению рабочей области усиления сигнала (рис. 4).

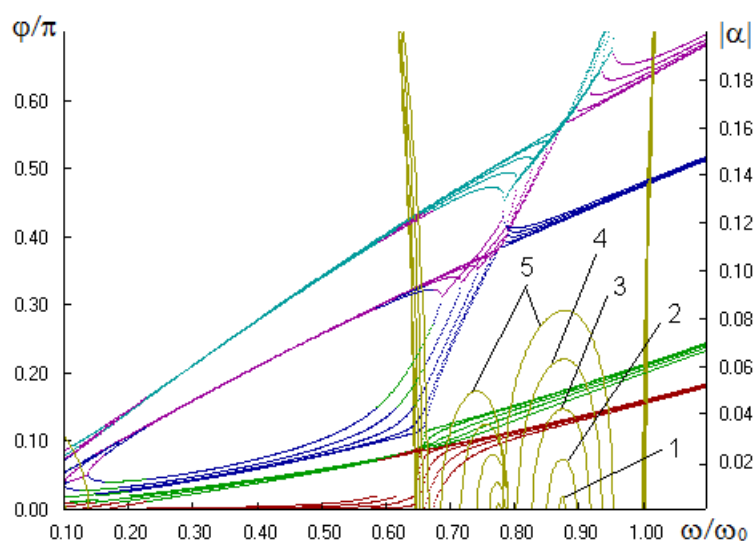


Рис. 3. Зависимости сдвига фаз  $\varphi_i$  и постоянной нарастания  $\alpha_i$  от частоты при изменении коэффициентов взаимодействия двух попутных потоков с полями резонансных ЗС:  $V_{01}=50$  кВ,  $V_{02}=70$  кВ,  $I_0=4$  А,  $\omega_p/\omega = 0.5$ ,  $M_{12}=M_{21}=0$ ,  $M_1=M_2 = 0.05$  (1); 0.2 (2); 0.3 (3); 0.4 (4); 0.5 (5).

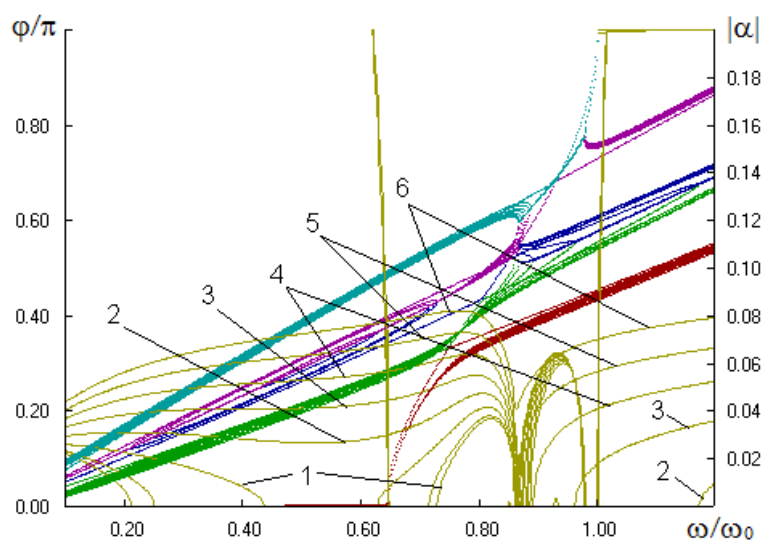


Рис. 4. Зависимости сдвига фаз  $\varphi_i$  и постоянной нарастания  $\alpha_i$  от нормированной частоты при изменении коэффициентов связи между потоками:  $V_{01} = 20$  кВ,  $V_{02} = 30$  кВ,  $I_0=4$  А,  $\omega_p/\omega = 0.5$ ,  $M_1 = M_2 = 0.3$ ,  $M_{12}= M_{21} = 0.05$  (1); 0.15 (2); 0.2 (3); 0.25 (4); 0.3 (5); 0.35 (6).

Выходные параметры в мощных электронных приборах на попутных потоках зависят от параметров пучков и резонансных ЗС (от периода ЗС и частот отсечек, от тока и напряжения, от редуцированных частот плазменных колебаний и условий синхронизма волн потоков с полями ЗС), от коэффициентов взаимодействия между

пучками и с полями ЗС. Учет связи между электронными потоками, показанный на рис. 4, приводит к существенному расширению рабочей области усиления сигнала.

Анализ дисперсионных характеристик показывает, что периодическая система во многом определяет структуру собственных волн потоков. При малых плотностях пространственного заряда колебательные и волновые процессы в потоках определяются влиянием периодических стенок, причем плазменная частота зависит от типа резонанса вблизи поверхности системы. Характер решений дисперсионного уравнения зависит от значений коэффициентов взаимодействия между потоками и между пучками и полями резонансных ЗС. При малых значениях параметров взаимодействия легко выделяются области двухволновой связи медленных волн попутных потоков с полями периодических ЗС. По мере увеличения коэффициентов связи потоков с полями резонансных ЗС совершается переход к многоволновым связям потоков и полей ЗС. Области комплексных решений соединяются и возникает единый механизм общей связи на электронной моде (рис. 4).

Аналогично реализуется двухволновой механизм связи поля с несколькими потоками, где также отдельные области усиления объединяются и образуется общая область усиления. Дополнительный учет взаимодействия между потоками приводит к появлению областей усиления в широкой полосе частот внутри и вне границ полосы прозрачности (рис. 4).

#### **Заключение**

В линейном приближении развиты методы анализа многолучевого взаимодействия электронных потоков в электродинамических и резонансных замедляющих системах с учетом коэффициента редукции плазменных колебаний. Разработан матричный метод исследования усиления в мощных ЛБВ для двулучевого взаимодействия электронных потоков с полями резонансной замедляющей системы с положительной или отрицательной дисперсией волны основной пространственной гармоники. Проведенное исследование при разных значениях электронной нагрузки и параметрах пучка показало, что в двулучевой односекционной ЛБВ может осуществляться равномерное усиление в диапазоне практически всей холодной полосы пропускания секции.

#### **Литература**

1. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Слепков А.И. Излучение мощных электронных потоков в резонансных замедляющих системах. М.: МГУ. 1993 г.
2. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Слепков А.И., Хриткин С.А. Динамические эффекты и электронные волны в периодическом волноводе // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 1996. № 1. С. 43-49.
3. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Слепков А.И., Хриткин С.А. Четырехволновое взаимодействие потока и поля в резонансном периодическом волноводе // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42. № 3. С. 341-347.
4. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Хриткин С.А. Синхронизация электронных генераторов на малых объемах активной резонансной среды при электростатической фокусировке // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 6. С. 753-757.
5. Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: Сов. Радио, 1973 г.
6. Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Лекции по СВЧ электронике. М.: Физматлит. 2003 г.



## **ФОРМЫ ДОБАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ЭКБ В БАЗУ ДАННЫХ ПОРТАЛА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Цыганов П.А., Моховиков М.О.  
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ*

Информационный портал для специалистов в области надежности является, по сути, базой данных с основными характеристиками и характеристиками надежности электронной компонентной базы. Формы добавления необходимы для обновления характеристик непосредственно пользователями. Описаны технологии для создания подобных форм и алгоритм работы программы-обработчика.

### **Adding forms of main characteristics and reliability characteristics into database of portal for specialists of reliability of radioelectronics. Tsyanov P.A., Mohovikov M.O.**

Portal for specialists of reliability of radioelectronics is a database of main characteristics and reliability characteristics of radioelectronic components. For update can apply html forms. Technologies of creating forms and algorithm of PHP program are shown in the article.

В данной научной работе использованы результаты проекта «Разработка методологии автоматизированного надежностного проектирования электронных средств дистанционного мониторинга распределенных систем», выполненного в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году. Информационный портал для специалистов в области надежности электронных средств [1-3] является средством для мониторинга показателей надежности и качества электронной компонентной базы (ЭКБ) и позволяет получать актуальную информацию о характеристиках ЭКБ, применяемой у нас в стране. Портал содержит базу данных (БД), в которую пользователи добавляют информацию посредством формы добавления характеристик на портал. Добавление информации в БД возможно только после проверки ее модератором, что исключает возможности добавления недостоверных характеристик.

Форма представляет собой веб-страницу, созданную с использованием технологии HTML последней версии и позволяет пользователю добавлять информацию в БД. Технология HTML - это язык разметки гипертекста. Большинство веб-страниц создаются с помощью него. Последняя версия языка (HTML5) содержит ряд изменений и нововведений, позволяющих упростить верстку веб-страниц, улучшить их дизайн и добавлять медиа-файлы более простым способом. Например, для упрощения верстки вместо тега <div> возможно использование тегов <header> (шапка), <nav> (блок навигации), <footer> (нижняя часть веб-страницы) и т.д. Это придает коду веб-страницы более лаконичный вид, что существенно упрощает верстку страницы и ее изменение в последующем [4, 5]. Форма добавления характеристик аналоговых микросхем представлена на рис. 1.

Форма достаточно удобна для пользователя. Для того, чтобы выбрать тип микросхемы для добавления характеристик достаточно открыть выпадающее меню «Тип» и выбрать необходимый. После чего в форме останутся только те поля для характеристик, которые необходимо заполнить для этого типа ЭРИ. Для большинства характеристик используются текстовые поля, которые формируются тегом <input type="text">, и позволяют вводить небольшие объемы текста. Для примечаний и

названий производителя используется текстовая область, сформированная тегом `<input type="textarea">` [4]. Данная область позволяет вводить достаточно большой объем текстовой информации. Для удобства ввода область можно расширить по своему желанию. Кроме того, предоставлена возможность добавлять документацию и изображения (внешний вид) в базу данных. Если браузером не поддерживаются некоторые возможности HTML5, то на работу формы это никак не влияет. Пользователю будет показана та же форма, но без возможности расширения текстовых областей и чуть более простой интерфейс.

Рисунок 1. Форма добавления характеристик аналоговых микросхем

Работа с БД невозможна без использования языка программирования PHP. Это скриптовый язык программирования общего назначения, интенсивно применяемый для разработки веб-приложений. Он отличается простотой в использовании и простотой кода. На этом языке реализовано динамическое изменение содержимого веб-страницы в зависимости от выбора пользователя в меню «Тип». В зависимости от выбранного значения на странице загружаются те поля формы, которые необходимы для заполнения. Это удобно при работе с формами, так как они не перегружены не нужными полями. Кроме того, на языке реализованы несколько защитных функций, таких как запрет ввода пустого поля и удаления случайных пробелов в начале и в конце

поля при заполнении формы. На языке выполнено также взаимодействие базы данных с формой добавления характеристик. Для взаимодействия с БД формируется SQL-запрос посредством PHP. Кроме того, реализована система вывода ошибок БД при работе.[6]. На рис. 2 показана блок-схема алгоритма работы программы-обработчика.

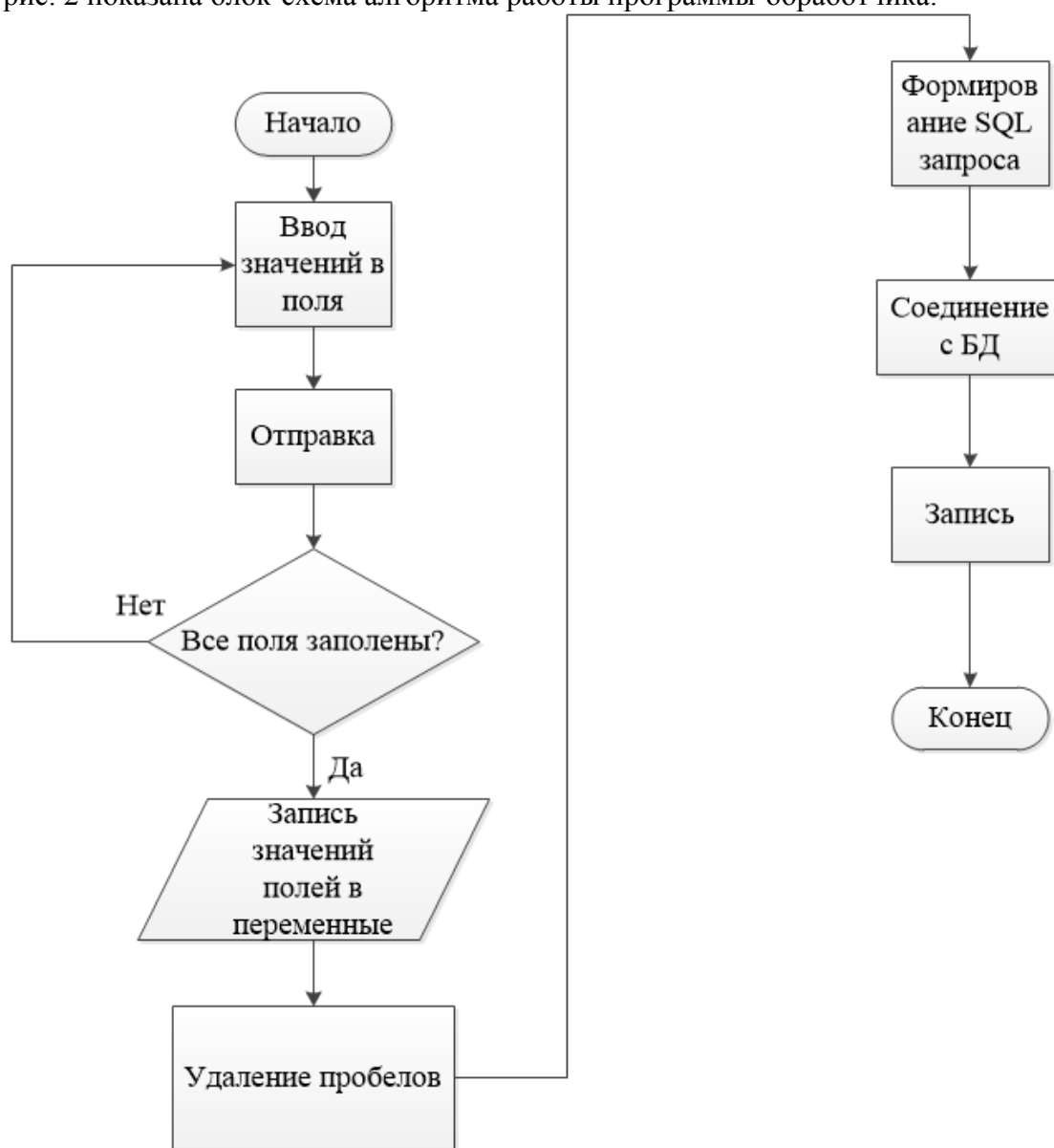


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма работы программы обработчика

Пользователь вводит характеристики в соответствующие поля и нажимает кнопку «Отправить». Если все поля заполнены, происходит запись значений в переменные языка PHP. Далее происходит удаление пробелов в начале в конце значений, для того, чтобы пробелы не влияли на функцию поиска ЭРИ и характеристик на портале. Далее происходит формирование SQL-запроса и соединение с БД, после чего характеристики добавляются в БД.[4, 7].

Портал для специалистов в области надежности электронных средств [3, 8] необходим для быстрого поиска необходимых характеристик ЭКБ. Формы позволяют добавлять характеристики в БД информационного портала. Программа-обработчик позволяет исключить ряд ошибок, которые могут возникнуть при заполнении форм.

### Литература

1. Цыганов, П.А. Информационный портал для специалистов в области надежности радиоэлектронных средств. / П.А. Цыганов, В.В. Жаднов. // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. / науч. ред. Г.Я. Шайдуров; отв. за вып. А.А. Левицкий. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - с. 466-468.
2. Цыганов, П.А. Информационный портал для специалистов в области надежности радиоэлектронных средств. / П.А. Цыганов, В.В. Жаднов. // Инновационные информационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции. / Под ред. С.У. Увайсова; Отв. за вып. И.А. Иванов, Л.М. Агеева, Д.А. Дубоделова, В.Е. Еремина. - М.: МИЭМ, 2012. - с. 337-340.
3. Абрамешин, А.Е. Информационная технология обеспечения надёжности электронных средств наземно-космических систем: научное издание. / А.Е. Абрамешин, В.В. Жаднов, С.Н. Полесский; отв. ред. В.В. Жаднов. - Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2012. - 565 с.
4. Фримэн, Э. Изучаем HTML, XHTML и CSS. / Э. Фримэн. - СПб.: Питер. - 2012. - 656 с.
5. Кит, Д. HTML5 для веб-дизайнеров. / Д. Кит. - М.: Манн, Иванов и Фербер. - 2013.- 112 с.
6. Кристиан, Д. PHP и MySQL: создание интернет-магазина. / Д. Кристиан. - СПб.: Вильямс. - 2011. - 632 с.
7. Голицына, О.Л. Основы проектирования баз данных. / О.Л. Голицына. - М.: Форум. - 2012. - 415 с.
8. Жаднов, В.В. Информационные технологии в прогнозировании надёжности электронных средств. / В.В. Жаднов. // Информационные технологии в проектировании и производстве. - 2012. - № 1. - с. 20-25.

### МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СИСТЕМЕ НАКЛОННЫХ СКВАЖИН

Черная Е. С.

*Украинская инженерно-педагогическая академия*

В работе излагаются методы построения трехмерной модели распределения полезных ископаемых на основе данных о распределении полезных ископаемых в каждой точке заданной системы скважин. Исследуются свойства построенных математических моделей, а также перспективы их использования для разведки полезных ископаемых.

#### **Construction methods of distribution mathematical models by the minerals on the system inclined chinks. Chernaya E. S.**

The work presents techniques for constructing three-dimensional models of minerals distribution on the basis of data on the minerals distribution in each point of the given system chinks. Explores the properties of the constructed mathematical models, as well as prospects of their use for the mineral resources exploration.

ЭВМ крепко вошла в нашу жизнь, и практически нет такой области человеческой деятельности, где не применялась бы ЭВМ. ЭВМ в настоящий момент

широко используется в процессе создания и исследования новых машин, новых технологических процессов и поиска их оптимальных вариантов; при решении экономических заданий, при решении заданий планирования и управления производством на разных уровнях. Создание же больших объектов в ракетотехнике, авиастроении, судостроении, а также проектирование дамб, мостов, и др. вообще невозможно без приложения ЭВМ.

Для использования ЭВМ при решении прикладных заданий, прежде всего прикладное задание должно быть «переведено» на формальный математический язык, то есть для реального объекта, процесса или системы должна быть построена его математическая модель.

В горном деле применяются два способа математического моделирования : аналитический, допускающий возможность очень точного математического описания строго детерминированных систем, и вероятностный, позволяющий получить неоднозначное решение, а его вероятностную характеристику (например, параметры шахты или какого-либо производственного процесса). В обоих случаях математическое моделирование объекта включает следующие основные этапы: изучение моделируемой системы, математическое описание системы, выбор критерия оптимума, составления алгоритма исследования модели на оптимум, разработка программы реализации алгоритма на ЭВМ.

Математическое моделирование занимает ведущее место в горно-экономическом анализе. Этот метод дает возможность выбирать оптимальные режимы работы горнотехнического оборудования, определять наилучшие параметры реконструкции, которые действуют в строительстве новых горнодобывающих предприятий, решать задание комплексного развития горнодобывающих регионов. Математическое моделирование в горном деле применяется как в планировании и проектировании, так и в управлении, где является основным элементом при разработке АСУ. Математическое моделирование горного производства совершенствуется в направлении динамизации моделей и введения в них обратных связей, определения рациональной математической формы моделей, разработки методов их адекватного исследования на ЭВМ, определение необходимой меры детализации моделей, учета принципов системного подхода и фактора надежности при моделировании.

Попытки разработки комплексных технологических моделей в прошлом уже делались, однако особых успехов не принесли. Абсолютно очевидными стали отсутствие простых решений задачи моделирования, недостаточность жестких, пусть даже развернутых, многоуровневых схем моделирования. В такой ситуации целесообразнее произвести системный подход - попробовать найти и зафиксировать не каркас будущей модели, а основные принципы ее построения, создать единственную среду моделирования, способную вместить то ценное, что уже есть или появится в частных технологических моделях [1]. Существующие модели технологических и других процессов в угольной шахте отличаются крайней разнородностью в постановках, используемом математическом аппарате, а также используемых средствах разработки и реализации, и попытка прямого их объединения (при сколько угодно хорошей концепции) была бы нереальна. Уровень, на котором должна осуществляться стыковка моделей, должен быть более глубоким, чем просто согласование входов и выходов.

Говоря о процессе моделирования угольной шахты из общих позиций можно сказать, что важнейшим для постановки задания моделирования является его соотношение с общей исследовательской и проектной деятельностью. Модель в данном случае выступает как составляющая единственного процесса исследований, как аккумулятор предваренных результатов - и инструмент для будущих разработок [1].

Построение достоверной модели возможно только путем привлечения дополнительной (априорной) информации. Поэтому оптимальным кажется следующий путь геометризации складчатых нарушений:

1. Формируется информационная модель складки (объектов, которые принадлежат базовому классу: точка геологических наблюдений).
2. Используя стандартные математические методы аппроксимации и интерполяции получают упрощенную модель складки.
3. Начальная модель поддается компьютерной трансформации исходя из представлений специалиста, что не формализуются. В ходе решения этой задачи информация о нарушении не обособляется в геологической базе данных (например в геологических колонках буровых скважин).

Для автоматизированного построения пликативных структур разработаны и программно реализованы следующие алгоритмы:

1. Формирование массива начальных данных по скважинам/точкам геологических наблюдений.
2. Разбивка массива начальных данных на маркирующие слои.
3. Выделение как отдельного слоя, так и любой произвольной пачки слоев.
4. Выбор метода интерполяции/экстраполяции начальных данных.
5. Построение моделей поверхностей маркированных слоев методами:
  - наименьших квадратов;
  - сплайн функции;
  - ближайшего района;
  - триангуляции;
  - крайгинга;
  - поверхности Шепарда;
  - полиномиальной регрессии;
  - сглаживания по радиусам влияния исходных точек.

В данной работе считается справедливой *следующая гипотеза*: считаются известными функции  $\gamma_k(z), k = \overline{1, N}$  распределения плотности или некоторого показателя качества угля, руды и тому подобное в зависимости от глубины  $z$  в каждой скважине  $\Gamma_k(z), k = \overline{1, N}$ , где  $\Gamma_k = \{(x, y, z): x = x_k(z), y = y_k(z), -H \leq z \leq 0\}, k = \overline{1, M}$  система наклонных скважин, нерегулярно размещенных на поверхности.

В работе предлагаются и исследуются математические модели для описания структуры коры Земли с помощью анализа результатов скважинного бурения.

Математическим аппаратом для описания математических моделей является математический аппарат интерлинации функций трех переменных.

**Определение.** Оператором интерлинации (англ. inter-между, line-линия) функции  $f(x, y, z)$  на системе линий  $\{\Gamma_k\}_{k=1}^Q$  называется оператор  $Of(x, y, z) = O\left(x, y, z; \{\Gamma_p\}_{p=1}^Q; \{\gamma_p\}_{p=1}^Q\right)$  со свойствами:

$$Of(x_k(t), y_k(t), z_k(t)) = \gamma_k(t), k = \overline{1, Q}.$$

Таким образом, операторы интерлинации  $Of(x, y, z)$  имеют на линиях интерлинации  $\Gamma_k, k = \overline{1, Q}$  те же самые следы, что и приближаемая функция. Поэтому

их можно использовать для приближенного вычисления функции  $f(x, y, z)$  между указанными линиями.

В процессе инклинометрических работ в отдельных точках ствола скважины измеряется глубина по бурильной колонне  $I$ , зенитный угол  $u$  и азимут  $a$ . В результате получаем массив  $\{I_i, u_i, a_i\}$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, N$ , где  $N$  - число измерений (число точек измерений),  $i$  — порядковый номер точки измерения. Задание построения траектории ствола скважины заключается в том, чтобы по известному массиву инклинометрических измерений определить координаты соответствующих точек в прямоугольной системе координат  $XYZ$ , которая связана с устьем скважины. Т. е. определить глубину  $I$  и горизонтальные сдвиги в направлении север — юг с положительным направлением на север  $X$ , и в направлении восток — запад с положительным направлением на восток  $Y$ .

В простых методах для определения приростов координат используются результаты измерения зенитного угла и азимута в двух соседних точках (двухточечные методы). В более точных и соответственно более сложных методах используются результаты измерений по большему числу точек.

Рассмотрим основные методы определения координат.

Тангенциальный метод, в котором как выходные данные используются значения зенитного угла и азимута, измеренные в нижней точке интервала. При этом делается допущение, что оба эти угла хранят свои значения на всей протяжности исследуемого интервала, который, следовательно, представляется отрезком прямой.

Приросты координат:

$$\Delta x = \Delta / \sin \theta_2 \sin a_2,$$

$$\Delta y = \Delta / \sin \theta_2 \cos a_2,$$

$$\Delta z = \Delta / \cos \theta_2$$

где индекс «2» помечает параметр, измеренный у нижнего конца исследуемого интервала.

Метод усреднения углов, в котором исследуемый участок ствола скважины между двумя точками измерения представляется отрезком прямой. Однако зенитный угол азимут на протяжении участка интерполяции принимаются равным средним арифметическим соответствующих углов, замеренных на концах интервала.

Приросты координат:

$$\Delta x = \Delta / \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \sin \frac{a_1 + a_2}{2},$$

$$\Delta y = \Delta / \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \cos \frac{a_1 + a_2}{2},$$

$$\Delta z = \Delta / \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

где индекс «1» помечает параметр, измеренный у верхнего конца исследуемого интервала.

Балансный тангенциальный метод (иногда он называется трапециидальным) основывается на следующем представлении. Исследуемый интервал разбивается на два участка одинаковой длины: верхней и нижней.

Каждый участок интерполируется отрезком прямой, причем зенитный угол и азимут прямой, которая интерполирует верхний участок, принимаются равными соответствующим углам в верхней точке измерения, а зенитный угол и азимут прямой, которая интерполирует нижний участок, принимается равными соответствующим углам в нижней точке измерения. Таким образом, отрезки прямой верхнего и нижнего участков лежат в общем случае в разной плоскости. Для каждого участка определяют прирост координат тангенциальным методом. Результирующие приросты находят как сумму приростов координат для верхнего и нижнего участков.

Приросты координат:

$$\Delta x = \frac{\Delta l}{2} (\sin \theta_1 \sin a_1 + \sin \theta_2 \sin a_2),$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l}{2} (\sin \theta_1 \cos a_1 + \sin \theta_2 \cos a_2),$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l}{2} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)$$

Метод ускорения заключается в предположении о том, что составляющие  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  единичного вектора  $V$ , который характеризует направление в пространстве элементарного участка траектории ствола скважины, изменяются вдоль исследуемого участка линейно, как бы под действием постоянного ускорения, отсюда и название метода.

Формулы для определения приростов координат методом ускорения полностью идентичны формулам для балансного тангенциального метода. Таким образом, несмотря на разный подход к выведению формул для определения приростов координат, в балансном тангенциальном методе и в методе ускорений результат один и тот же.

Метод компенсированного ускорения учитывает длину измерительного инструмента, который предусматривается абсолютно жестким. Это уточнение небольшое и может иметь значение лишь на участках с большой кривизной. Да, при кривизне  $1^\circ$  на 10 м при длине прибора 2 м ошибка в определении зенитного угла составляет 6", при длине прибора 4 м - 12". При кривизне  $2^\circ$  на 10 м ошибка для длин приборов 2 и 4 м составляет соответственно 12" и 24".

Метод расчета по радиусу кривизны заключается в том, что участок ствола скважины между двумя точками измерения аппроксимируется пространственной кривой. Принимается, что проекции исследуемого участка ствола между точками измерения на вертикальную и горизонтальную плоскость являются дугами кругов. В каждой из плоскости эти дуги проходят таким образом, что касательные к ним в точках, точек измерения, которое является проекциями, направленные по отношению к исходной координатной сетке под углами, равными зенитным углам и азимутам в этих точках.

Таким образом, участок траектории между двумя точками измерения характеризуется двумя параметрами: радиусом кривизны проекции траектории на вертикальную плоскость (дуга круга) и радиусом кривизны проекции траектории на горизонтальную плоскость (дуга круга). Отсюда и название метода. Последний радиус является радиусом вертикального цилиндра, на поверхности которого находится данный участок траектории ствола скважины.



Выражение для приростов координат можно получить на основе следующих соотношений:

$$\Delta x = \frac{\Delta l (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) (\sin a_2 - \sin a_1)}{(\theta_2 - \theta_1) (a_2 - a_1)}, \lim_{\theta_2 \rightarrow \theta_1} \frac{(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)}{(\theta_2 - \theta_1)} = \cos \theta_1$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) (\cos a_1 - \cos a_2)}{(\theta_2 - \theta_1) (a_2 - a_1)};$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l (\sin \theta_2 - \sin \theta_1)}{(\theta_2 - \theta_1)}$$

Метод постоянной кривизны — модификация и уточнение метода расчета по радиусу кривизны. Как отмечалось выше, в методе расчета по радиусу кривизны предусматривается приближенное равенство на горизонтальной проекции дуги  $\Delta s$ , что является проекцией исследуемого участка ствола скважины, и что стягивает эту дугу хорды  $\Delta h$ . Это справедливо для наклонных скважин, где изменение азимута между соседними точками измерения незначительно. Однако в скважинах, близких к вертикальным, изменение азимута между соседними точками измерения может быть большим, что приведет к методическим ошибкам определению прироста координат.

$$\Delta x = \frac{\Delta l (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) (\sin a_2 - \sin a_1)}{2(\theta_2 - \theta_1) \sin \frac{(a_2 - a_1)}{2}},$$

$$\Delta y = \frac{\Delta l (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) (\cos a_1 - \cos a_2)}{2(\theta_2 - \theta_1) \sin \frac{(a_2 - a_1)}{2}};$$

$$\Delta z = \frac{\Delta l (\sin \theta_2 - \sin \theta_1)}{(\theta_2 - \theta_1)}$$

Метод сплайнов основан на использовании так называемой сплайн-интерполяции относительно построения траектории ствола скважины. В этом методе через ряд узловых точек, в которых известно значение функции (рассматриваются четыре — пять соседних точек измерения), проводится интерполирующая сплайн-функция, который представляет чаще всего многочлен третьей меры. Особенность сплайн-интерполяции заключается в том, что в точках соединения отдельных участков существует производная, то есть обеспечивается их гладкое соединение, кривизна интерполирующей кривой минимальна. Механическая интерпретация метода — упругая линейка (английское "spline"), закрепленная в узлах интерполяции. После того, как определены сплайновые функции для зенитного угла и азимута, приросты координат можно находить путем численной интеграции исходных выражений.

Построение 3D математических моделей распределения полезных ископаемых на основе данных о содержимом кернов скважин можно выполнить методами полиномиальной, обобщенной полиномиальной интерликации, сплайн-интерликации функций трех переменных и обобщений глобальных интерполяционных формул Дональда Шепарда или Олега Н. Литвина.

Автор данной статьи видит как минимум два пути дальнейшего использования описанных моделей.

Первый путь предполагает описание всех элементов таблицы Менделеева в каждой точке скважин. Таким образом, с помощью описанных моделей можно получить распределение всех элементов таблицы Менделеева в любой точке между скважинами. Затем, с учётом всех имеющихся на сегодня необходимых и достаточных условий (предпосылок) залегания той или иной полезной ископаемой, можно сделать вывод о вероятности её залегания в соответствующей части исследуемого месторождения. Этот важный анализ может быть проведен с высокой степенью надёжности на основе исследования предложенных трёхмерных моделей с помощью соответствующих пакетов программ. Следует отметить, что этот путь очень трудоёмкий, он предполагает наличие в каждой точке скважины, по глубине, не одного значения, а вектора значений – концентрации соответствующих элементов таблицы Менделеева. Кроме того, сам процесс совместного учёта необходимых и достаточных предпосылок залегания того или иного полезного ископаемого при исследовании полученных математических моделей, является на данное время, недостаточно формализованным.

Второй путь предполагает значительное упрощение первого подхода, состоящее в том, что для разведки будут использоваться только некоторые элементы таблицы Менделеева, а так же их соединения.

### Литературы

1. А. Г. Калинин, Н. А. Григорян, Б. З. Султанов. Бурение наклонных скважин: Справочник/Под ред. А. Г. Калинина. – М.: Недра, 1990.-348с.
2. Литвин О. М., Литвин О. О., Штепа Н. І. Математичне моделювання розподілу корисних копалин методами інтерлінації та інтерфлетації функцій.
3. Peter A. Burrough, Rachael A. McDonnell. Principles of geographical information systems. – Oxford University Press, 2006. – 333 p.
4. Варга Р. Функциональный анализ и теория аппроксимации в численном анализе: Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 126 с.
5. О.Н. Литвин. Интерполирование функций: Учеб. пособие. – Киев: УМК ВО. 1988. – 31 с.
6. О.М. Литвин. Інтерлінація функцій та деякі її застосування. – Харків: Основа, 2002. – 544 с.
7. О.М. Литвин. Методи обчислень. Додаткові розділи. – Київ: Наук. думка, 2005. – 331 с.
8. Литвин О. М., Литвин О.О., Штепа Н.І., Чорна О. С. Математичне моделювання розподілу корисних копалин між похилими свердловинами методом поліноміальної сплайн-інтерлінації функцій/ Матеріали ІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформатика та системні науки» ІСН-2011 17-19 березня 2011\ За ред. д. ф-м. н., проф. Ємця О. О. – Полтава: РВВ ПУСТ, 2011.- 355 с.
9. Литвин О. М., Литвин О.О., Штепа Н.І., Чорна О. С. Математична модель просторового розподілу корисних копалин кори землі за допомогою даних з кернів свердловин та інформації про розподіл на поверхні/ Матеріали ІІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформатика та системні науки» ІСН-2012 1-3 березня 2012\ За ред. проф. д. ф-м. н., Ємця О. О. – Полтава: РВВ ПУСТ, 2012.- 179-181 с.
10. Литвин О. М., Литвин О.О., Штепа Н.І., Чорна О. С. Математичне моделювання розподілу корисних копалин між похилими свердловинами методом поліноміальної інтерлінації функцій/ Праці міжнародної молодіжної математичної

школи «Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXVII)»- Київ: Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, 2011. – 214с. с- 94.

11. Литвин О.О., Штепа Н.І., Кулик С. І., Чорна О. С. Математичне моделювання розподілу корисних копалин за допомогою поліноміальних інтерліантів на системі похилих свердловин. – Харків: Журнал “Проблеми машинобудування”. 2012. – 13с. Подано до друку.

## КОМБИНИРОВАННЫЙ ФОРМАТ ИСПОЛНЯЕМЫХ ФАЙЛОВ НА ОСНОВЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Чернов С. А..

*Москва, Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»*

Выбор оптимального формата исполняемых файлов позволяет повысить скорость работы операционной системы. Проведён анализ имеющихся решений на основе форматов, используемых в существующих операционных системах. Предложен комбинированный подход к созданию формата исполняемых файлов.

### **Combined executable files format based on existing solutions. Chernov S.A.**

Optimal executable files format being chosen allows to increase performance of operation system. The analysis of existing formats solutions used in different operation systems is carried out. A combined method is suggested to create an executable files format.

В операционных системах для хранения программ используются исполняемые, или бинарные, файлы. В настоящее время существует множество различных форматов исполняемых файлов, у каждого из которых есть свои преимущества и недостатки, которые отражаются на скорости загрузки и используемом объёме оперативной памяти, что, в свою очередь, может влиять на скорость выполнения вычислительных процессов в целом. Для оптимизации работы операционной системы представляется полезным применение комбинированного подхода к созданию формата исполняемых файлов.

Данная работа посвящена выделению преимуществ различных форматов и их доработке с целью создания оптимального формата исполняемых файлов, который позволит ускорить работу ОС. Рассмотрим форматы исполняемых файлов следующих операционных систем:

4. Семейство ОС "Microsoft Windows NT";
5. Семейство ОС, основанных на ядре "Linux";
6. Семейство ОС "MacOS X";
7. ОС "KolibriOS".

Исполняемый код программы, в сущности, является произвольным набором данных, и для её выполнения необходимо предоставить операционной системе (ОС) информацию о формате этих данных, в том числе информацию о том, начиная с какой позиции запускать программу. В некоторых случаях ОС запускает программу по жёстко заданному адресу (к примеру, данный подход реализован в системе CP/M), однако чаще в файл, хранящий исполняемый код, добавляются дополнительные данные, анализируя которые, ОС принимает решение о том, откуда запускать программу (к примеру, такой подход используется в системе Microsoft Windows, а в MS-DOS применяются оба подхода). Файл, который ОС может загрузить в память и запустить на выполнение как

программу, называется исполняемым [2]. Также в исполняемом файле может содержаться такая дополнительная информация, как необходимый объём оперативной памяти для резервирования под нужды программы, перечень дополнительных файлов, необходимых для работы программы, и т.д. Исполняемый файл часто делят на секции, отделяя таким образом программный код от данных, необходимых программе в процессе выполнения. Кроме того, существуют особые секции, которые не являются частью программы, но являются частью исполняемого файла. Самый часто встречаемый пример – секция, хранящая данные, используемые для отладки программы.

У каждого из рассматриваемых форматов есть свои достоинства и недостатки. К примеру, в семействе ОС "Microsoft Windows NT" используется формат Portable Executable (PE, англ. Переносимый формат исполняемых файлов), предоставляющий множество возможностей, однако на деле большинство из них не используется. Также этот формат для обратной совместимости с ОС "MS-DOS" имеет в начале "заглушку" в виде программы формата DOS [3], что несколько усложняет и без того очень сложный формат PE. Формат ELF (Executable and Linkable Format, англ. Исполняемый и связываемый формат), используемый в ОС на базе ядра "Linux", заметно проще, чем PE, и хотя он не имеет такого обширного функционала, имеющихся возможностей более чем достаточно, и поэтому он видится наиболее продуманным форматом из всех, представленных в данной работе. Формат Mach-O, используемый в семействе ОС "MacOS X", также весьма хорошо продуман, однако ОС работает не столько с исполняемым файлом, сколько с так называемым бандлом (англ. Bundle, пучок). Бандл является разновидностью директории, в поддиректориях которой хранятся исполняемый файл, ресурсы и иные необходимые файлы [5]. Такой подход несколько увеличивает нагрузку на жёсткий диск. Формат, используемый в ОС "KolibriOS", крайне прост, в нём даже нет секций или их аналогов. Это убыстряет запуск приложений, однако у программиста, создающего приложение, гораздо меньше возможностей повлиять на процесс загрузки приложения в память, к примеру, базовый адрес жёстко задан.

Во всех рассматриваемых ОС, кроме KolibriOS, которая заточена под архитектуру PC/x86 и поэтому изначально не предусматривает переносимости, формат исполняемых файлов позволяет создавать файлы для разных семейств аппаратных платформ, но на каждую платформу нужен свой файл. В настоящее время широко распространены несколько разных платформ, и было бы удобно иметь один исполняемый файл для многих платформ. Частично вопрос множества файлов решён в MacOS, где существует специальный формат Fat binary (англ. большой бинарный файл), представляющий собой архив, хранящий несколько исполняемых файлов для разных семейств платформ [4]. Альтернативный подход к поддержке переносимости заключается в использовании уже существующего механизма – секций. Необходимую платформу можно указывать для каждой секции в отдельности. Стоит также отметить, что из рассматриваемых форматов исполняемых файлов только ELF, используемый в семействе операционных систем Linux, позволяет учитывать различные особенности конкретных платформ (к примеру, различные дополнения к системе команд процессора, такие как SSE или AVX у x86-совместимых процессоров). Впрочем, поле в заголовке файла ELF, хранящее эту информацию, используется довольно редко, а для самой распространённой архитектуры процессоров – x86 – использование этого поля является и вовсе запрещённым. Такая информация весьма полезна для программ, использующих различные особенности конкретных платформ, однако в настоящее время программисты вынуждены сами запрашивать и анализировать её, хотя можно переложить эти функции на загрузчик исполняемых файлов. В результате данные будут

запрашиваться один раз – операционной системой при загрузке, а в дальнейшем они будут только сопоставляться с теми, которые поддерживает исполняемый файл. Конечно, такая реализация несколько замедлит процесс загрузки исполняемого файла, однако задержки должны быть сопоставимыми с имеющимися в существующей реализации, но зато разработчикам приложений становится легче: нужно просто указать необходимую для работы приложения аппаратную платформу.

Выше предлагалось хранить информацию о целевой архитектуре для каждой секции, однако анализ информации об особенностях конкретной платформы – задача довольно сложная, и, как следствие, проводится анализ долго, поэтому стоит ввести специальную таблицу, в которой будет храниться информация о поддерживаемых исполняемым файлом платформах и идентификатор такой платформы. При этом платформа в таблице должна описываться двумя полями: первое описывает саму платформу, второе – необходимые особенности. Чтобы не искать эту таблицу по всему файлу, можно реализовать один из двух способов расположения таблицы: во-первых, таблицу можно располагать сразу за заголовком файла, а во-вторых, в заголовке файла можно хранить информацию о том, где она расположена. В заголовке секций в такой реализации надо хранить идентификатор платформы, то есть номер платформы в таблице. При такой реализации анализ происходит лишь в начале загрузки файла, а подходящие секции выбираются путём простого сравнения. Также стоит заметить, что в программах часто есть данные, не зависящие от аппаратной платформы, к примеру, константные данные, поэтому есть необходимость в специальном обозначении платформы, которое означает, что эта секция подходит ко всем аппаратным платформам.

Формат исполняемых файлов используется не только непосредственно для программ, но и для библиотек с динамическим связыванием (DLL, англ. dynamic-link library). Эти библиотеки экспортируют функции, используемые другими программами [2]. Очевидно, что такие файлы имеют свои особенности. Нередко из используемой программой DLL необходима лишь часть, однако они так же, как и исполняемые файлы, используют небольшое количество крупных секций, которые ОС вынуждена загружать в память целиком, и память начинает расходоваться неэффективно. Существуют различные способы решения этой проблемы, но они либо замедляют выполнение программы за счёт того, что файл делится на куски, загружаемые «по необходимости» [1], что заставляет ОС производить дополнительные обращения к диску, либо хранят избыточную информацию о данных, хранимых в секции. Последний подход представляется наиболее разумным, однако его стоит доработать: перейти от крупных секций к более мелким частям, назовём их блоками. Каждый блок хранит либо отдельную функцию, либо информацию, необходимую для одной или нескольких функций. Для каждого блока, в таком случае, надо хранить список блоков, с которыми он связан, чтобы ОС могла легко выявить все необходимые блоки, не загрузив ничего лишнего и не «забыв» ни один необходимый блок.

Также рассмотрим принцип хранения данных, к которым нужен быстрый доступ. Примером таких данных может быть иконка приложения: ОС необходимо показывать её в менеджере файлов, в системном трее, а в некоторых ОС и в заголовке окна. Хотя обычно для иконок используется кэширование, в рамках рассматриваемого вопроса можно считать, что его нет. В ОС, относящихся к семейству "Microsoft Windows", иконка приложения хранится в самом исполняемом файле, однако, чтобы её получить, нужно проанализировать достаточно большое количество информации, при этом предварительно загрузив её в память. В ОС, использующих ядро "Linux", иконка хранится отдельно от самого файла, что создаёт дополнительную нагрузку на жёсткий диск, т. к. надо найти этот файл в файловой системе. В семействе ОС "MacOS X"

используется похожий подход, однако там иконка хранится в бандле, содержащем приложение [5], что несколько убыстряет процесс поиска. В ОС "KolibriOS" используется специальная программа – менеджер иконок, которая и хранит иконки. Хотя такая реализация может быть довольно эффективной по скорости, она не работает до тех пор, пока приложение не будет зарегистрировано в менеджере иконок. При разработке ОС "KolibriOS" в середине 2000<sup>x</sup> гг. возникла идея хранить иконку в самом файле, а в заголовке завести специальное поле, в котором указывать её расположение. Таким образом, поиск иконки не представляет сложности и происходит весьма быстро. К тому же такая реализация снижает нагрузку на вычислительную систему за счёт меньшего количества операций чтения с диска и анализа данных. Поэтому последний подход представляется наиболее логичным как для хранения иконок, так и для хранения данных, к которым нужен быстрый доступ, в целом.

### **Выводы**

Как следует из выше сказанного, каждый из рассмотренных форматов имеет свои преимущества и недостатки, которые полезно учесть. Это позволит при разработке нового формата исполняемых файлов объединить лучшие черты существующих форматов, что, впрочем, не отменяет возможности доработать их. Таким образом, получается комбинированный подход к созданию исполняемого файла: с одной стороны, заимствование лучших черт, с другой – их доработка.

Основываясь на рассмотренном, выделим основные направления улучшений при создании формата исполняемого файла.

6 Переносимость: предложена реализация с помощью специальной таблицы, в которой хранится список поддерживаемых архитектур. Для каждой секции указывается номер архитектуры в таблице, и при загрузке исполняемого файла ОС загружает только подходящие секции, включая общие для всех платформ.

7 Продуманно редуцированная структура файла за счёт отсутствия обратной совместимости со старыми форматами: удаление «лишних» полей позволяет не усложнять формат файла.

8 Предложено разбиение DLL на блоки вместо секций и хранение для каждого блока списка необходимых для его выполнения блоков, что убыстряет выполнение программ, использующих DLL.

9 Предложено смежное хранение часто используемых данных: в частности, адрес иконки приложения записывать в заголовок файла.

Предложенные решения могут быть дополнены при рассмотрении иных существующих форматов, к примеру, формата AIF (ARM Image File, англ. Образ исполняемого файла ARM). Также стоит рассмотреть реализацию позиционной независимости программы.

### **Литературы**

2. Таненбаум Э. Современные операционные системы. — СПб.: Питер, 2010. — 1120 стр.
3. Common Intermediate Language и системное программирование в Microsoft .NET : Учебное пособие. А. В. Макаров, С. Ю. Скоробогатов, А. М. Чеповский. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2006. — 328 с.
4. Microsoft Portable Executable and Common Object File Format Specification. — Microsoft Corporation, 2013.
5. OS X ABI Mach-O File Format Reference — Apple Inc., 2009
6. Bundle Programming Guide — Apple Inc., 2010

## **ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ И НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ**

Чернодаров А.В., \*Патрикеев А.П.

*Москва, ОАО «Концерн «Авионика»; МАИ, \*Москва, ЗАО НПО «Мобильные  
Информационные Системы»*

Работа посвящена проблеме реализации аналитических подходов к улучшению эксплуатационных характеристик квантово-оптических измерителей в автономных режимах функционирования бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Предлагаемое решение проблемы опирается на приведении задачи цифровой обработки сигналов ЧЭ к калмановской конструкции и настройке такой конструкции на функционирование в условиях априорной неопределенности и возможных аномальных измерений.

### **A Mathematical Software Facilities for Increasing the Informational Reliability of Quantum Optical Sensors for Navigation Systems. Chernodarov A.V., Patrikeev A. P.**

This paper is devoted to the problem of implementation of analytical approaches to the improvement of the operational characteristics of quantum optical sensors in autonomous modes of the functioning of strapdown inertial navigation systems. The proposed solution of the above problem relies on the bringing of the problem of digital signal processing to a Kalman construction and on the tuning of such a construction to the functioning under a priori uncertainty and possible discordant measurements

#### **Введение**

Современное состояние бортового оборудования летательных аппаратов (ЛА) характеризуется внедрением навигационных комплексов (НК) нового поколения [1]. Ядром таких НК являются бесплатформенные инерциально-спутниковые навигационные системы (БИСНС) на базе квантово-оптических измерителей (КОИ): лазерных или волоконно-оптических гироскопов. Функционирование таких гироскопов основано на эффекте Саньяка [2], когда при вращении кольцевого оптического интерферометра измеряется разность хода между двумя встречными световыми волнами.

Информационная надежность [3] КОИ отражает их способность непрерывно поддерживать требуемые тактико-технические характеристики в изменяющихся условиях эксплуатации с учетом возможных конструктивных дефектов.

**Цель работы** – обоснование и практическая реализация аналитических подходов к повышению точности и информационной надежности БИСНС на основе локализации и парирования аномальных сигналов, а также оценки и демпфирования ошибок квантово-оптических измерителей параметров ориентации.

#### **1. Повышение информационной надежности квантово-оптических измерителей на основе многоуровневой первичной обработки сигналов**

Современное состояние бортовой электроники позволяет оценивать и компенсировать погрешности квантово-оптических измерителей в режиме реального времени на уровне первичной обработки сигналов. Для этого могут привлекаться программно-математические средства, применяемые ранее только для вторичной обработки выходной информации корректируемых бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИСНС). Такие средства опираются на модели погрешностей КОИ и калмановскую фильтрацию шумов измерений. Предлагаемый подход базируется на приведении задачи цифровой первичной обработки сигналов КОИ к

калмановской конструкции и настройке такой конструкции на функционирование в условиях априорной неопределенности и возможных аномальных измерений. Системы оценивания калмановской структуры включают контуры прогноза параметров и их коррекции на основе обработки наблюдений. Реализация контура прогноза предусматривает наличие моделей изменения выходных сигналов КОИ между сеансами формирования измерений. Такие модели предлагается строить в режиме реального времени с помощью адаптивных полиномов Чебышева по скользящей выборке отсчетов сигналов КОИ. Учитывая сглаживающие свойства полиномов Чебышева, представляется возможным на этапе прогноза выполнять также предварительную фильтрацию шумов. Коррекция прогнозного сигнала и оценка погрешностей КОИ реализуется на основе обработки наблюдений. В качестве наблюдений предлагается использовать невязку между прогнозным и реальным сигналами КОИ, а также соответствующие инварианты. Инвариантами могут быть априорно известные физические величины, например, приращение угла поворота инерциального измерительного блока (ИИБ), приращение выходного сигнала КОИ соответствующего порядка. Предлагается во встроенной электронике КОИ реализовать технологию многоуровневой цифровой обработки сигналов. Применение такой технологии позволяет:

- на первом уровне обработки сигналов выполнять защиту КОИ от сбоев;
- на втором уровне обработки сигналов подавлять шумовые составляющие погрешностей КОИ;
- на третьем уровне обработки сигналов оценивать и компенсировать систематические составляющие погрешностей КОИ.

На основе полиномиально-временной фильтрации сигналов КОИ представляется возможным реализовывать процедуры контроля инерциальных измерительных блоков по комбинированному критерию согласия  $\chi^2 / \vartheta^2$  [4]. Применение такого критерия позволяет распознавать кратковременные сбои на фоне отказов, повышать достоверность контроля и информационную надежность БИНС.

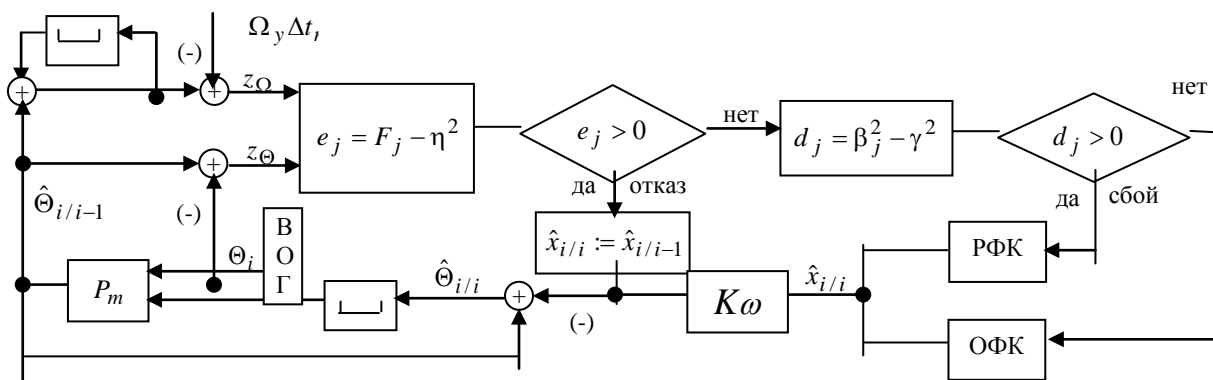


Рис. 1.1. Структурная схема системы многоуровневой первичной обработки сигналов ВОГ

Структурная схема предлагаемой системы многоуровневой первичной обработки сигналов КОИ применительно к волоконно-оптическому гироскопу (ВОГ) представлена на рисунке 1.1, где обозначены:  $\Theta_i$  – отсчеты выходного сигнала ВОГ;

$$\hat{\Theta}_{i/i-1} = \sum_{k=0}^m \hat{q}_k P_k(t_i) - \text{прогнозируемое значение выходного сигнала ВОГ; } P_k(t_i)$$



– нормированные ортогональные полиномы Чебышева;  $\hat{Q}_k$  – весовые коэффициенты;  $P_m$  – модуль полиномиального сглаживания;  $v_j = z_j - \hat{z}_j$  – невязка между реальным  $z_j$  и прогнозируемым  $\hat{z}_j = H_j m_j$  значениями наблюдений,  $m_j$ ,  $\hat{x}_{i/i}$  – оценки вектора ошибок  $x_i = [\Delta\Theta_i \ \Delta\omega_i]^T$  на  $i$ -м шаге после обработки соответственно  $j$ -го элемента и всего вектора наблюдений  $z_j$ ;  $H_j$  – вектор-строка коэффициентов связи;  $\Delta\hat{\Theta}_{i/i}$ ;  $\Delta\hat{\omega}_{i/i}$  – соответственно угловая ошибка и инструментальный дрейф ВОГ в  $i$ -й момент времени  $t_i$ ;  $\beta_j = v_j / \alpha_j$ ;  $F_j = \hat{\alpha}_j^2 / \alpha_j^2$ ;

$$\hat{\alpha}_j^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (v_k - \bar{v}_N)^2; \quad \bar{v}_N = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_k;$$

$\alpha_j$  – параметр масштаба;  $N$  – количество отсчетов сигнала ВОГ на скользящем временном интервале; ОФК – оптимальный фильтр Калмана; РФК – робастный фильтр Калмана [4], обеспечивающий парирование аномальных сигналов;  $\eta^2$ ,  $\gamma^2$  – допуски [4];  $\sqcup$  – задержка на один такт;  $\Omega_y \Delta t_n$  – угол поворота (инвариант) оси  $ou$  ИИБ в инерциальном пространстве за время  $\Delta t_n = t_i - t_{i-n}$  при неподвижном относительно Земли основании БИНС в процессе начальной выставки.

Робастная модификация фильтра Калмана для последовательной обработки наблюдений ошибок БИНС в условиях возмущений и шумов имеет вид [4]:

$$\text{Прогноз:} \quad m_0 = \hat{x}_{i/i-1} = \Phi_i \hat{x}_{i-1/i-1}; \quad (1.1)$$

$$M_0 = P_{i/i-1} = \Phi_i P_{i-1/i-1} \Phi_i^T + \Gamma_i Q_{i-1} \Gamma_i^T; \quad (1.2)$$

**Робастная обработка наблюдений:**

$$v_j = z_j - H_j m_{j-1}; \quad (1.3)$$

$$\beta_j = v_j / \sqrt{R_j} \quad (1.4)$$

$$\psi_j = \psi(\beta_j); \quad \psi'_j = \psi'(\beta_j) \quad (1.5)$$

$$\alpha_j^2 = H_j M_{j-1} H_j^T \psi'_j + R_j; \quad (1.6)$$

$$K_j = M_{j-1} H_j^T / \alpha_j^2; \quad (1.7)$$

$$M_j = (K_j H_j \psi'_j - E) M_{j-1} (K_j H_j \psi'_j - E)^T + K_j R_j \psi'_j K_j^T; \quad (1.8)$$

$$m_j = m_{j-1} + K_j \psi_j \sqrt{R_j}; \quad j = \overline{1, l}; \quad (1.9)$$

$$\hat{x}_{i/i} = m_l; \quad P_{i/i} = M_l, \quad (1.10)$$

где  $M_j$ ;  $P_{i/i}$  – значения ковариационных матриц ошибок оценивания после обработки соответственно  $j$ -го элемента и всего вектора наблюдений  $z_j$  размерности  $l \times 1$ ;  $\Phi_i$ ,  $\Gamma_i$  – переходные матрицы для вектора состояния  $x_i$  и возмущений  $\xi_i$

соответственно;  $H_i = [H_1^T \ H_2^T \ \dots \ H_j^T \ \dots \ H_l^T]^T$  – матрица связи вектора наблюдений  $z_i$  с вектором ошибок БИНС;  $R_j$  – дисперсия ошибки  $j$ -го наблюдения;  $j = \overline{1, l}$ ,  $l$  – размерность вектора наблюдений  $z_i$ .

В алгоритме (1.1) - (1.10) функция  $\Psi(\beta)$  [4] и ее производная  $\Psi'(\beta)$  позволяют учитывать отклонение параметров модели ошибок от априорно предполагаемых при оценке состояния КОИ и БИНС. В то же время указанная функция определяет меру доверия к поступающим наблюдениям в зависимости от величины диагностического параметра  $\beta$ . В качестве диагностического параметра  $\beta$  используется нормированная невязка  $\beta_j = v_j / \alpha_j$ . Данные функции формируются с учетом априорных предположений о законах распределений полезного сигнала и помехи или настраиваются адаптивно. В работе [4] предложены и обоснованы значения функции влияния  $\Psi(\beta)$ , учитывающие априорные предположения о законах распределений полезного сигнала и помехи. Такая функция показана на рис. 1.2. Аналитические выражения для ее аргументов имеют вид

$$\psi_g(\beta_j) = \beta_j; \quad \psi'_g(\beta_j) = 1 \text{ - для кондиционных значений невязок: } 0 \leq \beta_j \leq 3;$$

$$\psi_l(\beta_j) = |\beta_j|; \quad \psi'_l(\beta_j) = 0 \text{ - для аномальных значений невязок: } \beta_j > 6;$$

$\psi_{lg}(\beta_j) = \beta/3; \quad \psi'_{lg}(\beta_j) = 1/3$  - для значений невязок в условиях неопределенности распределений:  $3 < \beta_j \leq 6$ .

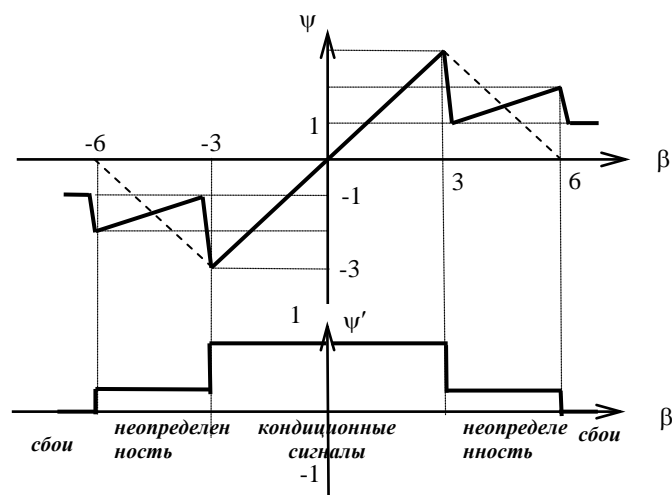


Рис. 1.2. Диаграмма управления оценивающим фильтром по функции влияния

## 2. Повышение информационной надежности бесплатформенных инерциальных навигационных систем, построенных на квантово-оптических измерителях

Повышение информационной надежности БИНС может быть реализовано на основе процедур оценивания и компенсации ошибок чувствительных элементов. Такая задача может быть решена с учетом отдельного решения кватернионных уравнений для параметров ориентации, навигации и их ошибок

$$\dot{2}q_0 = \Pi_0 q_0; \quad (2.1)$$

$$\dot{2}q_1 = \Pi_1 q_1; \quad (2.2)$$

$$\dot{x} = A(t)x(t) + G(t)\xi(t), \quad (2.3)$$

где  $q_0$  – кватернион, характеризующий угловую ориентацию связанной с инерциальным измерительным блоком (ИИБ) системы координат  $oxuz$  относительно инерциальной  $Ox_u Y_u Z_u$  [5];  $q_1$  – кватернион, характеризующий угловую ориентацию свободного в азимуте опорного навигационного трехгранника  $o\xi\eta\zeta$  относительно земной геоцентрической системы координат  $Ox_3 Y_3 Z_3$  [6];

$$\Pi_0 = \begin{bmatrix} 0 & \dot{\Theta}_y & -\dot{\Theta}_x & -\dot{\Theta}_z \\ -\dot{\Theta}_y & 0 & \dot{\Theta}_z & -\dot{\Theta}_x \\ \dot{\Theta}_x & -\dot{\Theta}_z & 0 & -\dot{\Theta}_y \\ \dot{\Theta}_z & \dot{\Theta}_x & \dot{\Theta}_y & 0 \end{bmatrix};$$

$$\Pi_1 = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_\xi & -\omega_\eta & -\omega_\zeta \\ \omega_\xi & 0 & \omega_\zeta & -\omega_\eta \\ \omega_\eta & -\omega_\zeta & 0 & \omega_\xi \\ \omega_\zeta & \omega_\eta & -\omega_\xi & 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{\bar{\Theta}} = \begin{bmatrix} \dot{\Theta}_x & \dot{\Theta}_y & \dot{\Theta}_z \end{bmatrix}^T - \text{вектор абсолютных угловых скоростей ИИБ в}$$

проекция на его собственные оси;

$\bar{\omega} = [\omega_\xi \ \omega_\eta \ \omega_\zeta]^T$  – вектор угловых скоростей вращения опорного трехгранника  $o\xi\eta\zeta$  в геодезической системе координат [7]. Причем для свободного в азимуте трехгранника  $\omega_\zeta = 0$ . Элементы вектора  $\bar{\omega}$  определяются по проекциям  $V_\xi, V_\eta, V_\zeta$  вектора относительной скорости  $\bar{V}$  из решения основного уравнения инерциальной навигации [6]

$$\dot{\bar{V}} = B_2^T \bar{a} + \bar{g} - 2\bar{\Omega} \times \bar{V} - \bar{\omega} \times \bar{V} - \bar{\Omega} \times (\bar{\Omega} \times \bar{R}), \quad \text{где} \quad (2.4)$$

$\bar{V} = [V_\xi \ V_\eta \ V_\zeta]^T$  – вектор относительной скорости движения ИИБ в проекциях на оси опорного навигационного трехгранника  $o\xi\eta\zeta$ ;

$\bar{a} = [a_x \ a_y \ a_z]^T$  – вектор выходных сигналов акселерометров;

$\bar{g} = [g_\xi \ g_\eta \ g_\zeta]^T$  – вектор гравитационного ускорения;

$\bar{\Omega} = [\Omega_{\xi} \quad \Omega_{\eta} \quad \Omega_{\zeta}]^T$  – вектор угловой скорости вращения Земли в проекциях на оси полусвободного в азимуте опорного трехгранника  $o\xi\eta\zeta$ ;

$\bar{R} = [0 \quad 0 \quad R]^T$  – радиус-вектор местоположения ИИБ;

$(\times)$  – оператор векторного произведения;

$B_2$  – матрица направляющих косинусов, характеризующая угловую ориентацию связанной системы координат  $oxuz$  относительно опорного трехгранника  $o\xi\eta\zeta$  и определяемая по элементам кватернионов  $q_0, q_1$  и углу  $\Omega\Delta t$ , где  $\Delta t$  – время функционирования БИНС. Кроме того, по элементам данных кватернионов определяются углы ориентации  $\psi, \vartheta, \gamma$  ИИБ относительно сопровождающего трехгранника  $oENH$  геодезической системы координат, а также геодезические широта  $\varphi$  и долгота  $\lambda$ ;  $\Pi_0; \Pi_1$  – кососимметричные матрицы, знаки элементов которых соответствуют конструктивному исполнению ИИБ;  $x(t)$  – вектор ошибок БИНС. Раздельное решение уравнений (2.1), (2.2) позволяет довести глубину оценивания ошибок БИНС до уровня чувствительных элементов (ЧЭ): гироскопов и акселерометров. Базовый вектор  $x(t)$  состояния БИНС включает 17 параметров, а именно: ошибки счисления составляющих вектора относительной скорости  $\Delta V_{\xi}, \Delta V_{\eta}, \Delta V_{\zeta}$ ; ошибки счисления элементов кватернионов  $\Delta q_0$  и  $\Delta q_1$ ; угловые дрейфы КОИ (лазерных или волоконно-оптических)  $\Delta \Theta_x, \Delta \Theta_y, \Delta \Theta_z$  и смещения акселерометров  $\Delta a_x, \Delta a_y, \Delta a_z$ . Уравнения ошибок ЧЭ в этом случае формируются в системе координат, связанной с ИИБ;

$A(t) = \left. \frac{\partial F(Y, t)}{\partial Y} \right|$  – матрица частных производных;

$F(Y, t)$  – функция, представляющая в общем виде правые части уравнений БИНС (2.1), (2.2), (2.4) и ошибок ЧЭ;

$Y = Y(t)$  – вектор параметров, определяемых БИНС;

$G(t)$  – матрица интенсивностей возмущений  $\xi(t)$ .

Циклограмма работы БИНС с контуром оценивания и компенсации дрейфов КОИ включает следующие этапы: грубая начальная выставка; точная начальная выставка; навигационный режим, включающий подрежимы автономной инерциальной навигации и инерциально-спутниковой навигации.

На этапе грубой начальной выставки выполняется приближенное определение угловой ориентации ИИБ по выходным сигналам ЧЭ).

На этапе точной начальной выставки оцениваются ошибки угловой ориентации ИИБ, а также остаточные дрейфы ЧЭ. Данная задача решается на основе последовательной обработки оценивающим фильтром сигналов наблюдений  $z_i$  следующего вида:

$$z_{\Theta}(i) = B_{0(i)}^T \int_{t_{i-1}}^{t_i} \dot{\Theta}(\tau) d\tau - [0:0:\Omega\Delta t_i]^T; \quad (2.5)$$

$$z_k(i) = [B_i L_i]_{\text{БИНС}}^T - [B_i L_i]_{\text{ТНВ}}^T; \quad (2.6)$$

$$z_v(i) = [V_\xi V_\eta V_\zeta]_{(i)\text{БИНС}}^T, \quad (2.7)$$

где ТНВ – обозначение точки начальной выставки;  $B_i, L_i$  – геодезические широта и долгота местоположения БИНС;  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$  – шаг наблюдений;

$B_0$  – матрица направляющих косинусов, характеризующая угловую ориентацию связанной с ИИБ системы координат  $OX_n Y_n Z_n$  относительно инерциальной  $OX_n Y_n Z_n$ .

Оценивание ошибок БИНС реализуется на основе последовательной обработки робастным фильтром позиционных и скоростных наблюдений

$$z_k(i) = [B_i L_i]_{\text{БИНС}}^T - [B_i L_i]_{\text{СНС}}^T; \quad (2.8)$$

$$z_v(i) = B_4^T [V_\xi V_\eta V_\zeta]_{(i)\text{БИНС}}^T - [V_E V_N V_H]_{(i)\text{СНС}}^T, \quad (2.9)$$

где  $B_4$  – матрица направляющих косинусов, характеризующая взаимную угловую ориентацию опорного  $o\xi\eta\zeta$  и геодезического  $oENH$  трехгранников; СНС – спутниковая навигационная система.

Объект исследований – система БИНС-500 (см. рис.2.1) на волоконно-оптических гироскопах [8], разработанная в НПК «Оптолинк» (г. Зеленоград).

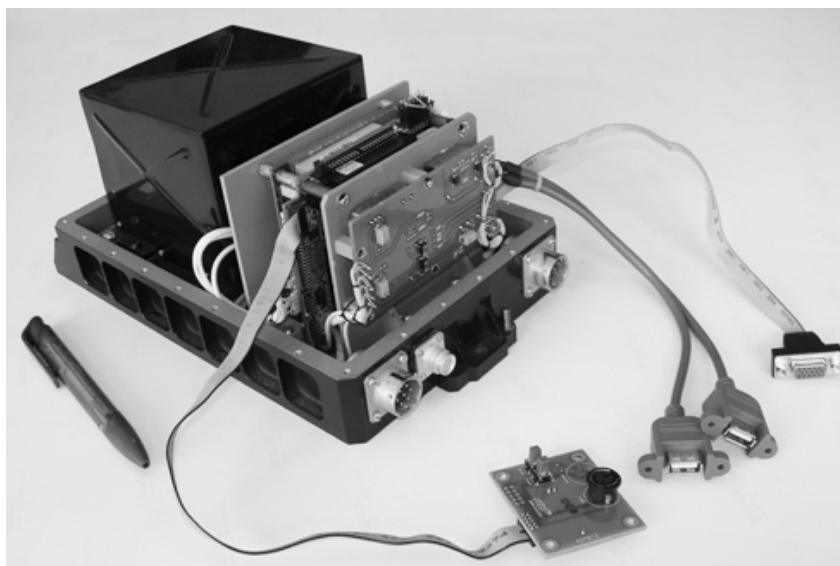


Рис. 2.1. Инерциально-спутниковая навигационная система БИНС-500 на волоконно-оптических гироскопах

Эксперименты проводились в наземных условиях с размещением оборудования в подвижной лаборатории на базе автомобиля. Была реализована следующая циклограмма работы БИНС: грубая начальная выставка по сигналам ИИБ ( $t=0 \div 100$ с); точная начальная выставка с применением робастной модификации фильтра Калмана ( $t=100 \div 600$ с); навигационный режим ( $t > 600$  с) с оценкой и компенсацией дрейфов ВОГ.

На рисунке 2.2 показана круговая позиционная ошибка  $\Delta S$ , соответствующая счислению параметров движения БИНС с учетом парирования аномальных сигналов ЧЭ робастным фильтром, но без демпфирования оценок остаточных дрейфов ВОГ, где

$$\Delta S = \sqrt{\delta_{\varphi}^2 + \delta_{\lambda}^2}; \quad \delta_{\varphi} = (\varphi_{\text{БИНС}} - \varphi_{\text{СТ}})R; \quad \delta_{\lambda} = (\lambda_{\text{БИНС}} - \lambda_{\text{СТ}})R \cos \varphi_{\text{СТ}};$$

$$R = a(1 - 0.5e^2 \sin^2 \varphi_{\text{СТ}}); \quad a = 6378245 \text{ м}; \quad e^2 = 0,0066934;$$

$\varphi_{\text{СТ}}, \lambda_{\text{СТ}}$  - геодезические координаты ТНВ (во время начальной выставки БИНС) или СНС (в режиме навигации).

$\Delta S$ , м

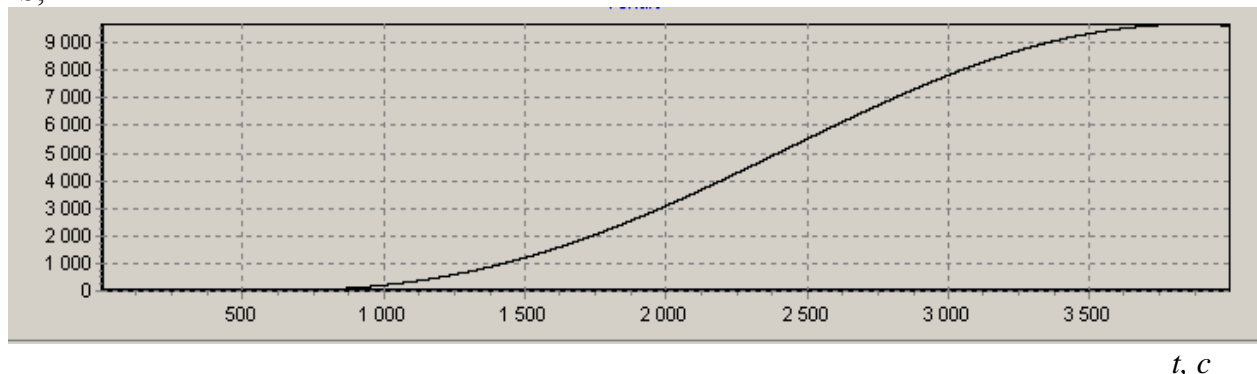


Рис. 2.2- Позиционная ошибка  $\Delta S$  при счислении параметров движения БИНС с учетом парирования аномальных сигналов ЧЭ, но без демпфирования оценок дрейфов ЧЭ

$\Delta S$ , м

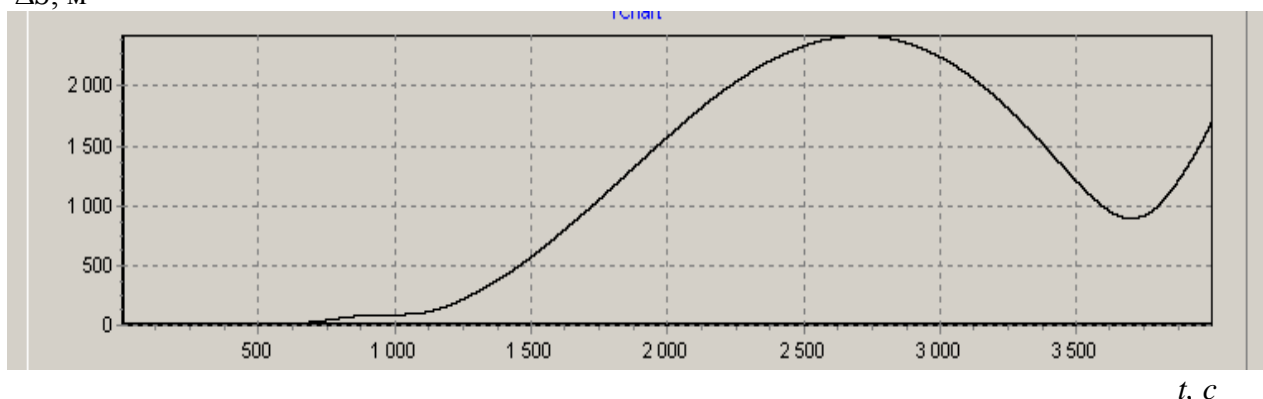


Рис. 2.2 - Позиционная ошибка  $\Delta S$ , соответствующая счислению параметров движения БИНС с учетом парирования аномальных сигналов ЧЭ, а также с учетом оценки и компенсации смещений акселерометров и дрейфов ВОГ

На рисунке 2.3 показана круговая ошибка  $\Delta S$ , соответствующая счислению параметров движения БИНС с учетом парирования аномальных сигналов ЧЭ, а также с учетом оценки и компенсации смещений акселерометров и дрейфов ВОГ. Это позволило уменьшить ошибку  $\Delta S$  более, чем на порядок. Динамика изменения оценок зависит, кроме того, от параметров движения объекта, входящих в уравнения ошибок БИНС.

### Заключение

Предлагаемые подходы к повышению точностных и надежностных характеристик БИНС, построенных на квантово-оптических измерителях, опираются на возможности современных программно-аппаратных средств комплексной обработки

информации, позволяющих обнаруживать и парировать нарушения в чувствительных элементах, а также оценивать, прогнозировать и компенсировать дрейфы гироскопов и смещения акселерометров. Результаты проведенных натурных экспериментов подтверждают эффективность применения предлагаемых аналитических процедур улучшения эксплуатационных характеристик БИНС.

### Литература

1. Веремеенко К.К., Кошелев Б.В., Соловьев Ю.А. Анализ состояния разработок интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем // Новости навигации, 2010, № 4, с. 32-41.
2. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / Под ред. Э.Удда. М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
3. Дмитриев С.П., Колесов Н.В., Осипов А.В. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем. – СПб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 207 с.
4. Колодежный Л.П., Черnodаров А.В. Надежность и техническая диагностика. – М.: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2010. - 452с.
5. ГОСТ 20058-80. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 52 с.
6. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
7. ГОСТ Р 51794 - 2001. Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. – М.: Госстандарт России, 2001. – 12 с
8. Черnodаров А.В., Патрикеев А.П., Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Переляев С.Е. Полунатурная отработка программно-математического обеспечения инерциально-спутниковой навигационной системы БИНС-500 на волоконно-оптических гироскопах // Гироскопия и навигация, 2010, № 4(71), с. 19–31.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ЗЛОУМЫШЛЕННИКА В КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ

Шипилева А.В.

*Волгоград, Волгоградский государственный университет*

Для исследования проблем безопасности и защищённости корпоративных сетей предлагается использовать модель действий злоумышленника, построенную на основе ветвящихся процессов с иммиграцией. С помощью модели определяются наиболее вероятные маршруты действий злоумышленника и рекомендации по закрытию уязвимых мест.

### **The modeling of hacker's actions in corporate network. Shipileva A.V.**

We offer to use the modeling of hacker's actions which is built on the branch processes base with immigration to research the problem of security and protection of the networks. Using the model we can determine the most probable routes of hacker and give the recommendations for shutdown of vulnerabilities.

В настоящее время существует ряд моделей [1, 2, 3, 4], позволяющих с разной степенью детализации описать процесс сетевой атаки. Большинство моделей основано на конечных автоматах и представляют атаку на автоматизированную систему как последовательность состояний автомата. Все существующие методы моделирования атак направлены на решение задач представления атак, оценки сложности атаки, оценке ущерба от проведенной атаки, но не предоставляют средств для автоматизированного моделирования атак с целью исследования их оптимизации.

Злоумышленник обычно предваряет свои атаки предварительным зондированием всех компонентов корпоративной сети. На этом этапе он собирает информацию, которая является для него недоступной. На практике злоумышленником определяются роли компьютеров в сети, выделяются файловые сервера и сервера баз данных, маршрутизаторы и интеллектуальные коммутаторы. На основе этой информации злоумышленником строится дерево уязвимостей и выбирается инструментарий для проведения атак непосредственно на узлы корпоративной сети. В работе [5] была разработана модель действий злоумышленника на основе марковских ветвящихся процессов.

В настоящей модели рассматривается другой тип атак - коалиционная атака. При определении вероятности того, что злоумышленник не сможет использовать уязвимости для проведения атак за заданное время, необходимо учитывать тип дерева уязвимостей. Будем рассматривать следующие типы: троичное и  $m$ -арное деревья уязвимостей (могут быть использованы и их комбинации):

1. Если дерево уязвимостей является троичным, то злоумышленник выбирает для атаки уязвимость в левом узле с вероятностью  $P_1 = x_0$ , а в правом с  $P_3 = x_2$ . Действия злоумышленника, находящегося с ним в коалиции описываются известной инфинитезимальной производящей функцией -  $g(z) = \sum_{k=0}^{\infty} q_k z^k$  (1), а вероятности  $x_0$  и  $x_2$  находятся из условий [6]:

$$0 < x_0 < 1, \quad 0 < x_1 < 1,$$

$$\frac{1}{2} \frac{x_1^2}{x_0} + \frac{1}{2} \left( \frac{q_1}{q_0} + 1 \right) x_1 < x_2 < \frac{1}{2} \frac{x_1^2}{x_0} + \frac{1}{2} \left( \frac{q_1}{q_0} + 2 \right) x_1.$$

2. Если дерево уязвимостей является  $m$ -арным то злоумышленник выбирает для атаки уязвимости с вероятностями  $P_0, P_1, \dots, P_m$ , которые определяются из условий [6]:

$$0 < P_0 < 1, \quad 0 < P_1 < 1,$$

$$\frac{1}{2} \frac{P_1^2}{P_0} + \frac{1}{2} \left( \frac{q_1}{q_0} + 1 \right) P_1 < P_2 < \frac{1}{2} \frac{P_1^2}{P_0} + \frac{1}{2} \left( \frac{q_1}{q_0} + 2 \right) P_1.$$

$$\max \{0, (n+1)b_n - a_n\} \leq \omega_n \leq b_n, \quad n = 2, \dots, m-1,$$

$$0 < a_2 < P_1, \quad b_2 = P_1(1-\sigma),$$

$$a_n = a_2 - \sum_{k=2}^{n-1} k \omega_k, \quad b_n = b_2 - \sum_{k=2}^{n-1} \omega_k, \quad n = 3, 4, \dots, m,$$

$$\sigma = -\frac{q_0 P_0}{\alpha P_1}, \quad \alpha = \frac{1}{P_1} \left( q_0 P_1 + q_1 P_0 - \frac{2q_0 P_0 P_2}{P_1} \right),$$

$$\omega_n = -\frac{1}{\alpha} \sum_{k=0}^n q_k P_{n-k} - (n+1)\sigma P_{n+1} + n P_n - \frac{1}{P_1} \sum_{k=2}^{n-1} (n-k+1) \omega_k P_{n-k+1} \geq 0.$$



Действия злоумышленника, находящегося с ним в коалиции описываются заданной инфинитезимальной производящей функцией (1).

Программа моделирования деревьев уязвимостей для коалиционных атак в корпоративной сети реализована в Microsoft Visual Studio.NET 2010 на языке C#. Результаты моделирования приведены в экранной копии пользовательского интерфейса (рис.1). Подсистема защиты корпоративной сети характеризуется уровнями защиты, корневым деревом уязвимостей и временем пребывания в каждом узле ( задается равномерно распределенной случайной величиной). Основной результат моделирования - это максимальная вероятность достижения злоумышленником цели за заданное время.

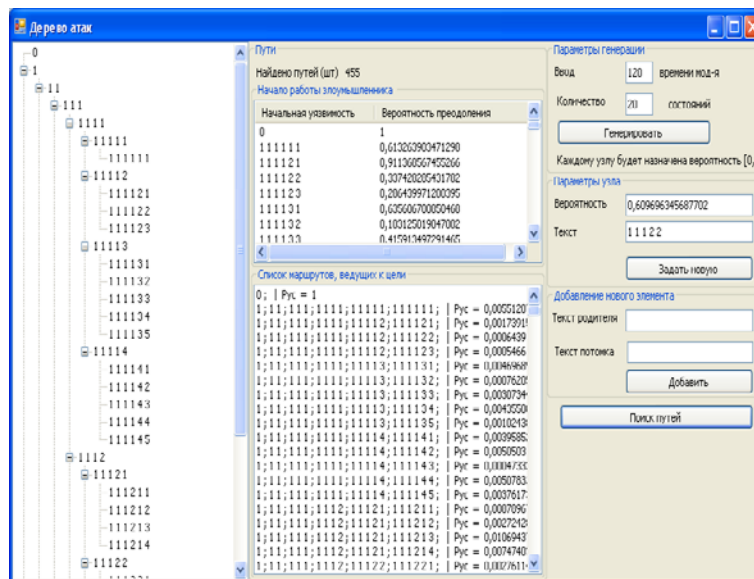


Рис.1. Пользовательский интерфейс программы.

### Литература

1. Camtepe S. A. A formal method for attack modeling and detection// TR-06-01.- Rensselaer Polytechnic Institute, Computer Science Department.- 2006.
2. Sheyner O. Automated generation and analysis of attack graphs// Proceedings of the IEEE Symposium on Security and Privacy. - Oakland, CA, USA - 2002.- P. 273 - 284.
3. Von Ohiemb D., Volkmar L., Gollmann D. Formal security analysis with Interacting state machines// Lecture Notes in Computer Science. - 2002.- N 2502.- P. 212 - 228.
4. Schneier B. Attack Trees// Dr. Dobbs's Journal. - 1999.
5. Цыбулин А. М., Шипилева А. В. Математическая модель злоумышленника в корпоративной сети// Сборник трудов. Управление большими системами ИПУ им В. А. Трапезникова РАН. - 2007. - вып. 19. - С. 127 - 133.
6. Шипилева А.В. Предельные распределения для ветвящихся процессов с иммиграцией// Журн. Известия высших учебных заведений. Математика.-2000.- № 1(452).-С. 77-83.

### ИССЛЕДОВАНИЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА С ВВЕДЕННЫМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПАРАМЕТРОМ

Шпитонкова Е.А.  
Москва, НИУ МЭИ.

Проводится исследование муравьиного алгоритма с введением дополнительного параметра. Анализируется целесообразность введения такого параметра без серьезных изменений алгоритма.

### Research of ant algorithm with additional parameter. Shpionkova E.A.

In this work we'll study the ant algorithm with additional parameter. In the process we'll discover the expediency of added parameter without drastically changing the original algorithm.

Одним из методов решения задач оптимизации является так называемый муравьиный алгоритм [1]. В постановке автора алгоритма (Марко Дориго [2]) содержатся четыре параметра, регулирующие скорость сходимости и точность процесса оптимизации. В [3] муравьиный алгоритм реализован в системе компьютерной математики Maple [4, 5]. В настоящей работе ставится задача об определении целесообразности ввода еще одного параметра. Сравняется время работы алгоритма с дополнительным параметром и без него. Применяется оператор **time**, высчитывающий использованное процессорное время программой. Результат при этом может несколько различаться на разных машинах.

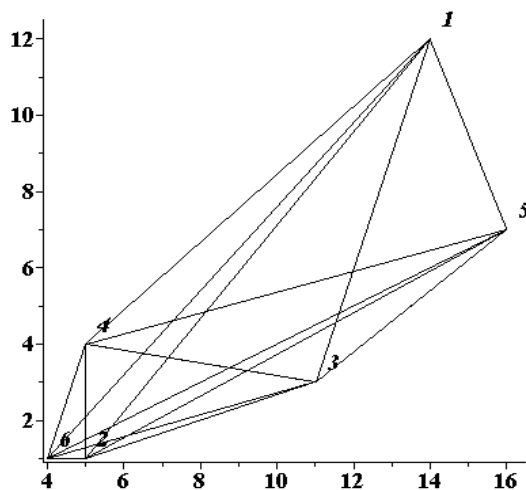


Рис. 1. Муравьиный алгоритм,  $n=6$

Решается задача коммивояжера об отыскании кратчайшего простого цикла в полном графе с  $n$  вершинами, условно называемыми городами. Моделирование поведения муравья формируется распределением феромона на тропе, который пропорционален длине маршрута (чем короче путь, тем больше откладывается феромона, параметр  $\alpha$ ). Кроме того, вероятность выбора конкретного маршрута принимается обратно пропорциональной расстоянию между городами (параметр  $\beta$ ). Для предотвращения преждевременной сходимости алгоритма к ложному результату автором алгоритма введена отрицательная обратная связь – высыхание феромона (третий параметр). Четвертым параметром является число элитных муравьев. Они действуют согласно жадному алгоритму, просто выбирая наилучший путь (генератор случайных чисел здесь не включается).

В реальном мире есть место случайным событиям, которые влияют на принятие решений муравьем. Вводим еще один параметр (обозначаемый через  $\gamma$ ) и одну переменную «выживаемость». Обозначим её через  $\Psi$ , она будет случайной для каждого пути между городами  $\Psi_{ij} = \frac{rand(1..100)}{100}$ .

Мы ограничиваем диапазон «выживаемости» так, чтобы он не принимал нулевых значений. Делается это с целью предотвращения вырождения алгоритма, что делает результаты недостоверными. Если допускать случаи с вырождения, то необходима серьезная доработка алгоритма.

В нашем случае вероятностно-пропорциональное правило будет иметь вид:

$$P_{ij,k}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha (1/d_{ij})^\beta \psi_{ij}^\gamma}{\sum \tau_{ij}(t)^\alpha (1/d_{ij})^\beta \psi_{ij}^\gamma} \quad (1)$$

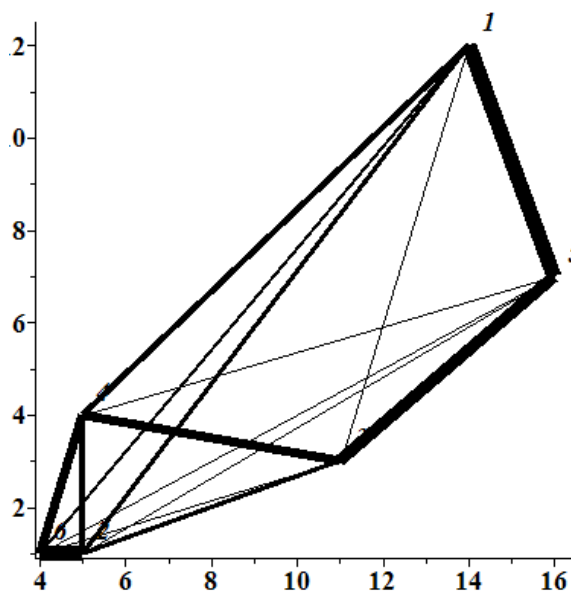
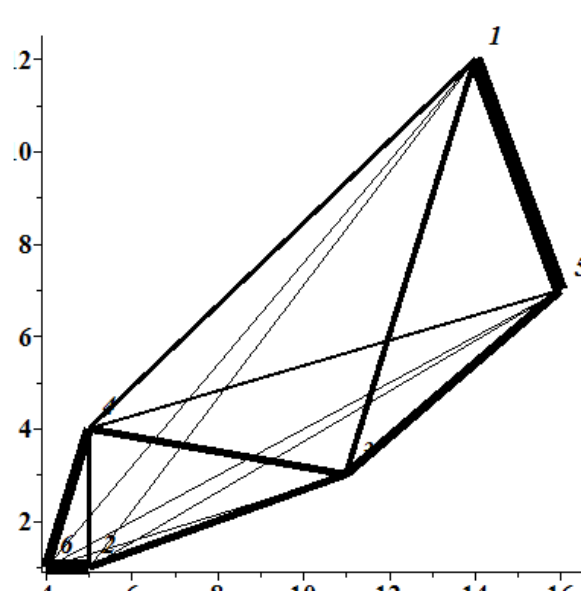
Обновление феромона производится по известной схеме формуле:  $\tau_{i,j} = (1 - \rho) \tau_{i,j} + \Delta\tau_{i,j}$ , где  $\Delta\tau_{i,j} = \sum \frac{Q}{L_k(t)}$  (сумма берется по пройденному маршруту),  $\rho$  – интенсивность испарения феромона.

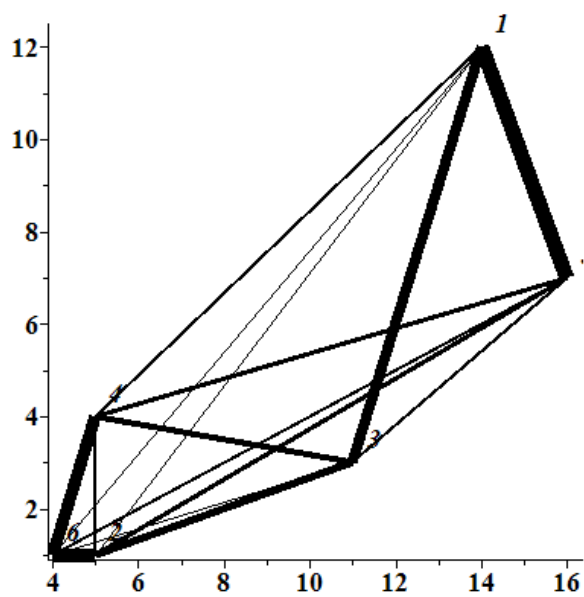
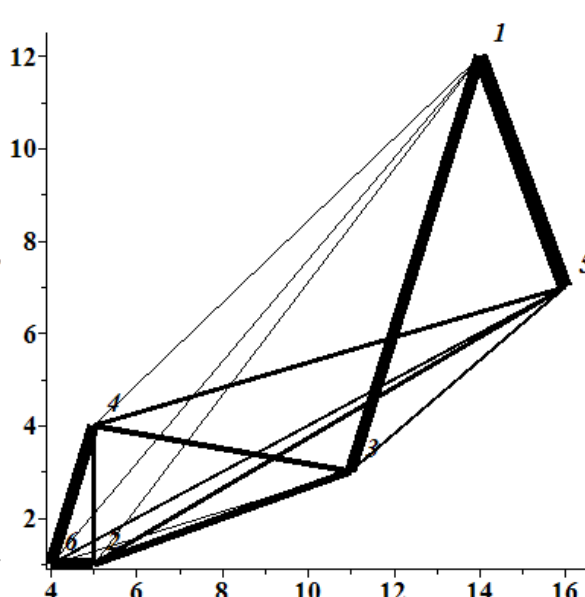
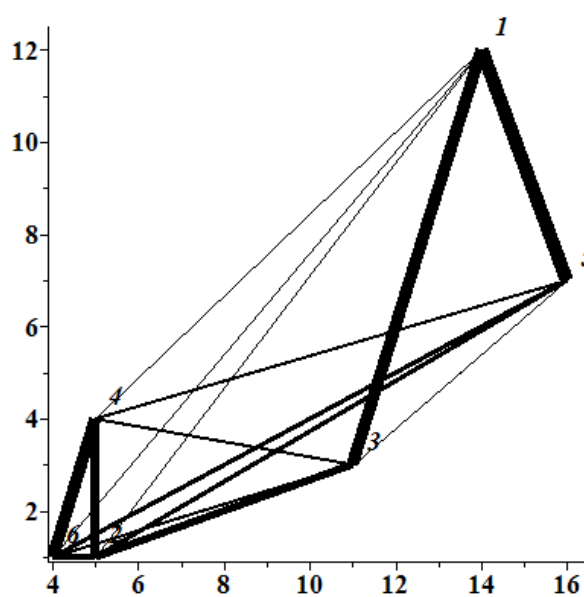
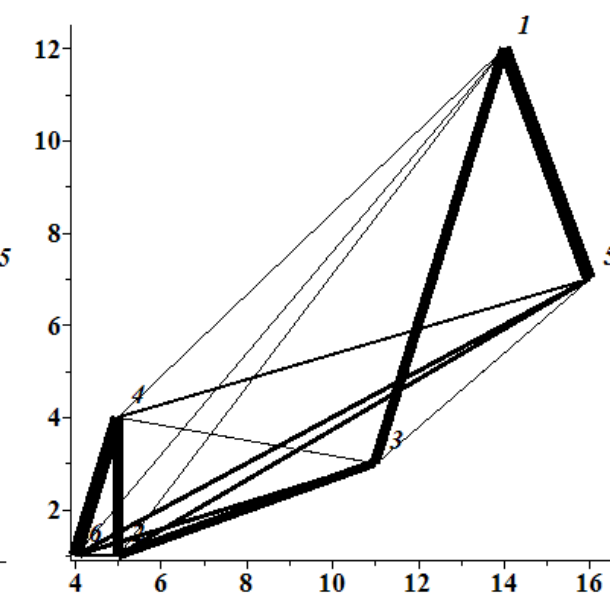
Из следующей сравнительной таблицы ( $\alpha=0,5$ ,  $\beta=5$ ) ясно, что улучшение времени обработки алгоритма не происходит, более того время несколько увеличивается. Однако это можно объяснить дополнительными временными затратами на работу еще одной функции генерации случайных чисел.

Таблица 1

$\gamma$	t	Lcp
0	0.406	36.923
1	0.437	37.592
2	0.437	38.779
3	0.437	39.757
4	0.452	40.548
5	0.437	40.865

Далее представлены схемы выбора путей муравьями между городами для разных значений  $\gamma$ . Чем чаще муравьи проходят по выбранному пути, соединяющему города, тем больше феромонов откладывается на данном отрезке, и, как следствие, более толстые линии используются для отображения полученного результата.

Рис. 2. Оптимальный маршрут,  
 $\gamma = 0$ Рис. 3. Оптимальный маршрут,  
 $\gamma = 1$

Рис. 3. Оптимальный маршрут,  
 $\gamma = 2$ Рис. 3. Оптимальный маршрут,  
 $\gamma = 3$ Рис. 4. Оптимальный маршрут,  
 $\gamma = 4$ Рис. 3. Оптимальный маршрут,  
 $\gamma = 5$ 

Сам же маршрут может отличаться. При подборе  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  возможно достичь наилучшего результата. Так же это возможно при генерации  $\Psi_{ij}$  в верхнем диапазоне случайных чисел.

### Литература

- 1.Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях, 2003, №4, с.70-75.
- 2.М. Dorigo, 2007. «Ant ColonyOptimization». [http:// www. scholarpedia.org/article / Ant\\_colony\\_optimization](http://www.scholarpedia.org/article/Ant_colony_optimization)
- 3.Кирсанов М. Н. Графы в Maple. М.: Физматлит, 2007. — 168 с.

4. Дьяконов В.П. Maple 10/11/12/13/14 в математических расчетах.

М.: ДМК - Пресс, 2011. 800 с.

5. Кирсанов М. Н. Maple и MapleT. Решение задач механики, СПб.: Лань, 2012. 512 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛОСЫ ПРОЗРАЧНОСТИ РЕЖЕКТОРНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ КОНТУРОВ

Ареби Мажед Али

*Инженерный колледж Тажура Триполи, Ливия*

В данной статье решена двухкритериальная задача оптимизации полосы прозрачности режекторного фильтра, с помощью которого формируется усеченный спектр контура. Полученное решение является единственным, Парето-оптимальным.

Ключевые слова: Оптимизация полосы прозрачности режекторного фильтра замкнутых контуров.

### **Optimization band transparency rejecting filter for closed circuit contour. Arebi Majed Ali. Faculty of engineering Tajoura Tripoli, Libya**

In given article was solved double criterion task of band transparency rejecting filter optimization with help of which is transformed reduced spectrum contour. Received decision presents like unique, Pareto-optimal

#### **Введение**

Обычно изображения, сформированные различными информационными системами, искажаются действием помех. Это затрудняет как их визуальный анализ человеком-оператором, так и автоматическую обработку в ЭВМ. При решении некоторых задач обработки изображений в роли помех могут выступать и те или иные компоненты самого изображения.

Ослабление действия помех достигается фильтрацией. При фильтрации яркость (сигнал) каждой точки исходного изображения (контура), искаженного помехой, заменяется некоторым другим значением яркости, которое признается в наименьшей степени искаженным помехой.

Задача заключается в том, чтобы найти такую рациональную вычислительную процедуру, которая позволяла бы достигать наилучших результатов. Общепринято при решении этой задачи опираться на использование вероятностных моделей изображения и помехи, а также на применение статистических критериев оптимальности.

Идея режекторной фильтрации замкнутых контуров, обеспечивающая не только сокращение объема обрабатываемых данных, но и инвариантность ряда классифицирующих признаков к числу точек в описании контура, основана на особом свойстве спектров замкнутых контуров: норма контура в основном определяется несколькими боковыми составляющими спектра, вклад в величину нормы центральных составляющих мал.

В статье предложена двухэтапная процедура распознавания дефектов односвязных контуров планарных объектов с принятием решений по принципу максимальной корреляции в пространстве признаков. Сначала осуществляется распознавание класса предьявленного объекта с использованием в качестве классифицирующего признака вектора составляющих нормированного усеченного спектра. На втором реализуется распознавание типа дефекта в выявленном классе. Выбор признаков здесь зависит от принятого на первом этапе решения о классе

объекта. Определены признаки, с использованием которых принимается однозначное решение о типе дефекта в каждом классе.

### Оптимизация полосы прозрачности режекторного фильтра

Покажем сначала, что сама идея режекторной фильтрации замкнутых контуров, обеспечивающая не только сокращение объема обрабатываемых данных, но и инвариантность ряда классифицирующих признаков к числу точек в описании контура, основана на особом свойстве спектров замкнутых контуров: норма контура в основном определяется несколькими боковыми составляющими спектра, вклад в величину нормы центральных составляющих мал.

$$H_{\nu} = \Phi(\nu - 1) - \Phi(\nu - N - 1) + \Phi(\nu - K - N), \quad (1)$$

имеет полосу режекции шириной  $K - 2N$  пикселей, или две полосы прозрачности, разделенные зоной режекции, каждая шириной  $N$  пикселей. При этом величина полосы прозрачности во всех случаях формирования признаков и распознавания дефектов принималась одинаковой и равной 10 пикселям. В этом параграфе решается задача оптимизации полосы прозрачности режекторного фильтра (1).

Пусть  $dIk$  – исходный массив, описывающий некоторый дефектный контур, включающий  $K$  точек;  $sI\nu$  – спектр этого контура,  $\nu = 1, 2, \dots, K-1$ ; спектр на выходе режекторного фильтра  $SH(\nu, N) = H(\nu, N) sI\nu$

Определим:

- квадрат нормы контура в полосе прозрачности фильтра

$$W1^2(N) = \frac{1}{K} \sum_{\nu=1}^{K-1} |SH(\nu, N)|^2; \quad (2)$$

- квадрат нормы контура в полосе режекции фильтра

$$W2^2(N) = \frac{1}{K} \sum_{\nu=1}^{K-1} [1 - H(\nu, N)] |s1_{\nu}|^2. \quad (3)$$

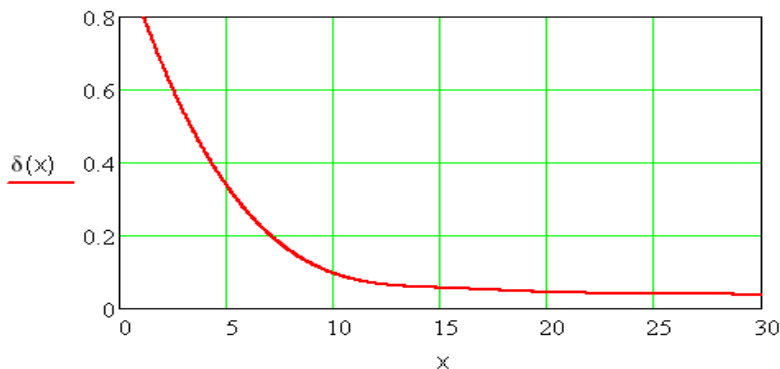


Рисунок 1 - К обоснованию режекторной фильтрации

График распределения относительной доли (в процентах) квадрата нормы (3) к квадрату нормы (2) для дефектного контура d1 (центральный выступ)

$$\delta(N) = \frac{100W2^2(N)}{W1^2(N)}, \quad (4)$$

рассчитанный с применением кубической сплайн-интерполяции, представлен на рисунке 1. Из рисунка следует, что при  $N \geq 10$  составляющие спектра в полосе режекции составляют не более 0.1% в квадрате нормы контура.

Оптимизацию полосы прозрачности фильтра осуществим по критерию минимизации ошибки восстановления контура по данным с выхода режекторного фильтра. Чтобы обеспечить единообразный подход к заданию сравниваемых данных, исходный контур с центральным расположением определим через обратное преобразование Фурье от его спектра

$$D1_k = \frac{1}{K} \sum_{\nu=1}^{K+1} s1_{\nu} \exp\left\{i \frac{2\pi}{K} k \nu\right\}. \quad (5)$$

Контур после режекторного фильтра определяется соотношением:

$$D2(k, N) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K+1} SH(\nu, N) \exp\left\{i \frac{2\pi}{K} k \nu\right\}. \quad (6)$$

Среднеквадратическая ошибка представления исходного контура (5) сглаженным контуром (6) имеет следующий вид:

$$\eta(N) = \sqrt{\frac{1}{K+1} \sum_{k=1}^{K+1} |D1_k - D2(k, N)|^2} \quad (7)$$

График, рассчитанный по этой формуле с последующей кубической сплайн-интерполяцией, представлен на рисунке 2. Согласно графику, при  $N \geq 10$  среднеквадратическая ошибка сглаживания практически не зависит от  $N$ .

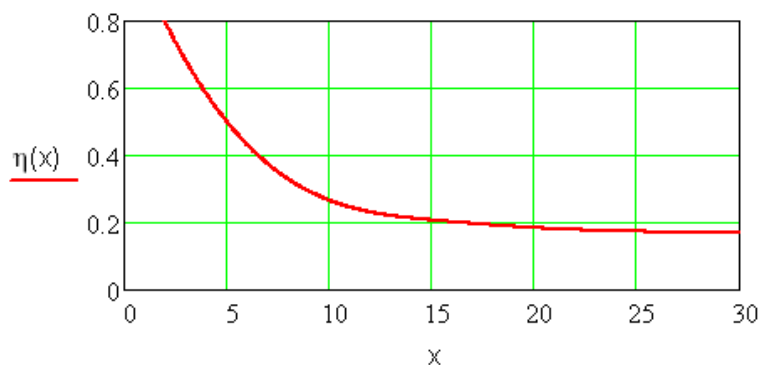


Рисунок 2 - Среднеквадратическая ошибка сглаживания контура

При оптимизации полосы прозрачности помимо минимизации  $\eta(N)$ , достигаемой за счет выбора  $N$ , необходимо одновременно минимизировать и саму полосу  $N$ . Таким образом, в данном случае имеем двухкритериальную (векторную) задачу оптимизации с формальной постановкой вида:

$$\begin{cases} \eta(x) \rightarrow \min_x, \\ \xi(x) = x \rightarrow \min_x, \end{cases} \quad (8)$$

где варьируемая переменная  $x$  отождествляется с полосой прозрачности  $N$  и в соответствии с рисунками 1 и 2 промежуток изменения этой переменной (область варьирования) [1, 3]. С этим промежутком совпадает, как это следует из второго соотношения системы (8), и промежуток изменения второй целевой функции задачи. Промежуток изменения первой целевой функции находим по графику на рисунке 2: [0.5, 0.25]. Как видим, диапазоны изменения обеих целевых функций,  $\eta$  и  $\xi$ , существенно различаются. Различно и смысловое содержание целевых функций, несмотря на то, что обе они формально являются безразмерными. Для корректного

решения задачи оптимизации необходимо нормализовать целевые функции. Нормализацию, следуя [2], осуществим по правилам:

$$\eta_1(x) = c_1 \eta(x) + f_1, \quad (9)$$

$$\xi_1(x) = c_2 \xi(x) + f_2, \quad (10)$$

$$c_1 = \frac{1}{\eta^+ - \eta^-}, \quad f_1 = -\frac{\eta^-}{\eta^+ - \eta^-}, \quad (11)$$

$$c_2 = \frac{1}{\xi^+ - \xi^-}, \quad f_2 = -\frac{\xi^-}{\xi^+ - \xi^-}, \quad (12)$$

причем

$$\eta^+ = \max \eta, \quad \eta^- = \min \eta, \quad (13)$$

$$\xi^+ = \max \xi, \quad \xi^- = \min \xi. \quad (14)$$

На рисунке 3 приведены графики нормированных целевых функций.

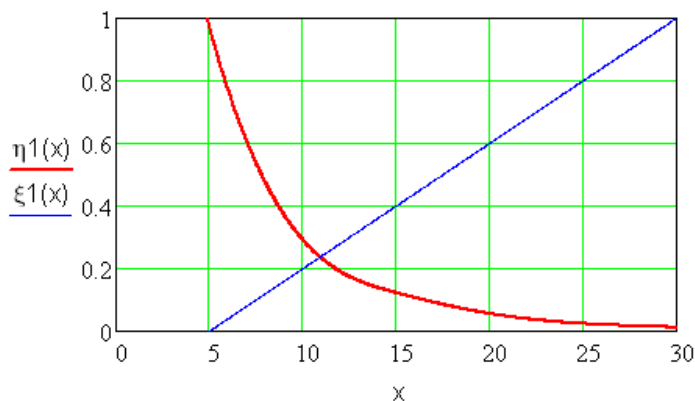


Рисунок 3 - Графики изменения целевых функций

Точка пересечения кривых на рисунке определяет решение  $x^*$ , не улучшаемое одновременно по обоим критериям, или решение, оптимальное по Парето [2]. Действительно, при попытке уменьшить  $\eta_1$  по сравнению с  $\eta_1(x^*)$  получаем увеличение  $\xi_1$  по сравнению с  $\xi_1(x^*)$ . Наоборот, при уменьшении  $\xi_1$  получаем увеличение  $\eta_1$  по сравнению с  $\eta_1(x^*)$ .

Таким образом, решение  $x^*$  определяет полосу прозрачности  $N^* = x^*$  режекторного фильтра, оптимальную по обоим критериям (8). Расчеты показали, что ближайшее целое число к оптимальному решению  $x^*$  равно 11. Этот оптимум характерен для рассматриваемого класса (напомним, для центрального выступа). Для дефектов других классов величина  $x^*$  несколько отличается от значения, найденного для дефекта указанного класса, и, как правило, в меньшую сторону. Поэтому с целью обеспечить единообразный подход к распознаванию дефектных объектов с небольшими вариациями их размеров и характера выбрано значение полосы прозрачности режекторного фильтра, близкое к указанному оптимуму:  $N=10$ .

#### Заключения

Представлено решение задачи оптимального формирования усеченного спектра контура и оптимизации полосы прозрачности режекторного фильтра. В качестве



целевых функций были использованы среднеквадратическая ошибка представления исходного контура сглаженной моделью и полоса прозрачности режекторного фильтра. Показано, что для контуров, рассматриваемых в докладе, оптимальная полоса прозрачности режекторного фильтра составляет,  $N_{opt} = 10...12$  и она практически не зависит от класса и типа дефекта.

### Литература

1. Батищев Д. И. Методы оптимального проектирования. – М.: Радио и связь, 1984. – 320с
2. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов. Под ред. Я. А. Фурмана. – М.: Физматлит, 2003. – 588с
3. Фурман А.Я. Распознавание векторных сигналов, представленных в виде линейной комбинации. Работехника и электроника. Т. 55, № 6, 2010. – 480с

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСА ЖИВУЧЕСТИ ЭЛЕМЕНТА В СБОЙНОМ СОСТОЯНИИ

Белоусов И.М., Дианов В.Н.  
Москва, МГИУ

Проведен анализ определений понятия «сбой». Вводятся новые понятия «время жизни сбоя», «запас живучести элемента». Предложен метод оценки запаса живучести элемента в сбойном состоянии.

### **Method for determination of stock vitality element in a failed state. Belousov I.M., Dianov V.N.**

The analysis of definitions of the concept of «fault». Introduces new concept of «life time of failure», «reserve of vitality element». The method of assessment of the survivability of the element in the failed state

В современной российской технической и нормативной литературе гражданского назначения на сегодняшний день не существует однозначного определения понятия сбоя и того, как соотносится между собой сбой и отказ.

Например, в теории надежности согласно действовавшему до 2009 года стандарту **ГОСТ 27.002-89** сбой трактуется как самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора, или, другими словами, не требующий замены отказавших компонентов [ 1 ]. В настоящее время ГОСТ 27.002-89 был заменен новым стандартом **ГОСТ Р 27.002-2009**, в котором определение сбоя вообще не было прописано [ 2 ]. Тем не менее, согласно другому источнику, а именно все еще актуальному стандарту **ГОСТ 28195-89**, сбой – это событие, заключающееся в нарушении исправного состояния технических средств при сохранении ими работоспособного состояния [3 ].

Данное определение выглядит логично, однако по тому же ГОСТ Р 27.002-2009 неисправность – это состояние изделия, характеризующееся неспособностью выполнить требуемую функцию, исключая такую неспособность во время профилактического технического обслуживания или других запланированных действий или из-за нехватки внешних ресурсов [2, п. 69], а неработоспособность – состояние изделия, при котором оно неспособно выполнить требуемую функцию по любой

причине [2, п. 40]. То есть, согласно данным определениям и неисправное, и неработоспособное состояние в случаях отсутствия профилактического обслуживания или других запланированных действий являются синонимами, поэтому очень сложно определить момент, когда между ними начинаются различия.

Таким образом, в действующей понятийной среде сбой и отказ отличаются, в основном, степенью физического разрушения компонент и необходимостью их замены. Отсюда следует связь этого события со временем восстановления: сбой устраняется «мгновенно», а отказ устраняется «долго». Однако в отечественных стандартах нет четкого определения временного либо причинно-следственного порога, позволяющего разделять сбои и отказы. Превалирующей остается классификация, базирующаяся на учете степени физического разрушения и различиях методов устранения нарушения работоспособности аппаратуры.

В зарубежной литературе пошли по другому пути определения сбоя. Сбой (*fault, ISA 84.01-96*) - это ненормальная ситуация, которая может привести к снижению или потере способности функционального узла к выполнению предопределенной функции, то есть к отказу [ 4 ]. При такой классификации сбой отличается от отказа тем, что находится ниже по временной шкале возникновения неисправностей, и, в отличие от отечественной классификации, сбой и отказ не являются де-факто разными событиями, а представляют собой два последовательных следственных этапа развития какой-либо неисправности. Помимо понятия «сбой», современная аппаратура, в частности микроэлектроника (КМОП БИС), оперирует и с понятием «автосбой» [5].

Поскольку текущие определения работоспособности и исправности не дают однозначного ценза для отделения их друг от друга, то существует потребность корректировок этих определений. *Исправностью* следует называть такое состояние объекта, параметры которого не выходят за рамки, предписанные требованиями нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. А *работоспособностью* - такое состояние объекта, при котором его параметры, даже выходя за рамки, предписанные требованиями нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации, позволяют объекту выполнять свои функции.

То есть, исправный объект автоматически будет работоспособным, в то время как работоспособный объект не обязательно будет полностью исправным.

В новой терминологии воспользуемся зарубежным опытом и будем считать, что сбойное и отказное состояние являются взаимосвязанными событиями.

Поскольку состояние объекта с момента выхода из границ исправности до момента выхода из границ работоспособности (до выхода на отказ) имеет в общем случае некую протяженность по времени, то, согласно вводимой нами трактовке, *сбойное состояние* – это прогрессирующее нарушение исправного состояния объекта, зачастую сопровождаемое сравнительно легко устранимыми потерями работоспособности, с определенной вероятностью ведущее к полной утере объектом работоспособности (к отказу). Соответственно этому непосредственно сам *сбой*- это проявление данного нарушения, выраженное в сравнительно легко устранимых потерях работоспособности. Появление сбоя однозначно свидетельствует о наступлении сбойного состояния, тем не менее, обратная ситуация- отсутствие каких либо внешних проявлений (ухудшение наблюдаемых характеристик, краткосрочные отказы), еще не говорит о исправности объекта. Например, при росте числа внутренних трещин в находящемся под нагрузкой крепежном элементе внешних проявлений не будет до срыва крепления, т.е. до отказа, несмотря на то, что весь период растрескивания элемент фактически находился в сбойном состоянии. Такие дефекты

называются **скрытыми дефектами**. Данное определение не противоречит определению скрытого дефекта, известного по **ГОСТ 15467-79\*** [6].

Период, начинающийся с фактического момента нарушения исправного состояния до момента выхода за пределы работоспособного состояния, называется **временем жизни сбоя**. Однако существующие методы неразрушающего контроля зачастую не позволяют зафиксировать фактический момент нарушения исправного состояния, а использование элемента вплоть до его полного отказа так же является неэффективным и зачастую небезопасным. Поэтому в данной работе введем еще одно определение: период, начинающийся с наиболее раннего момента регистрации нарушения исправного состояния элемента используемыми методами контроля до момента выхода за предельное состояние называется **запасом живучести элемента**. Предельным же согласно ГОСТ Р 27.002-2009 назовем такое состояние элемента, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна по причинам техническим, экономическим или экологическим.

Какое либо количественное определение данного запаса на сегодняшний день является актуальной научной и инженерной задачей.

Одним из методов для определения активного запаса живучести элемента является использование теории вероятности. Например, в работе [7] была установлена зависимость между скоростью падения микросхемы и шансом на выход данной микросхемы из строя (рис. 1).

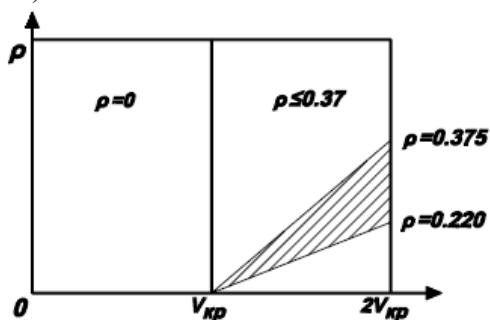


Рис. 1 Образование зоны риска отказа при ударном воздействии для БИС различного веса

Предположим, что каждое последующее падение либо удар по исследуемой микросхеме действует независимо от остальных, при этом расходуется запас живучести. Поэтому для расчета вероятности работоспособности элемента воспользуемся формулой вероятности совместного появления зависимых событий:

$$P(AB) = P(B)P(A|B) \quad (1)$$

Если считать, что вероятность дальнейшей работы после удара А будет равна  $1 - P_A$ , где  $P_A$  – экспериментальная вероятность выхода элемента из строя, то для двух ударов получаем следующее:

$$P(AB) = P(B)P(A|B) = (1 - P_A)((1 - P_B) + k(1 - P_A)) , \quad (2)$$

где  $k$ - коэффициент воздействия, описывающий изменение вероятности отказа при текущем ударе в зависимости от воздействия предыдущего). Аналогично можно рассчитать вероятности и для большего числа ударов.

Очевидно, что такой метод обладает недостатком в необходимости экспериментального вычисления вероятностей и нахождения коэффициента  $k$ .

Более перспективным, на наш взгляд, методом будет непрерывный контроль исследуемого объекта с целью определения точки входа в сбойное состояние. Например, согласно проведенному в работе [8] исследованию, подвергнутый продолжительному воздействию ионизирующего излучения (ИИ)

микропроцессор (рис. 2) с определенной дозы облучения начинает резко увеличивать свой ток потребления, что в конечном итоге приводит к его перегоранию.

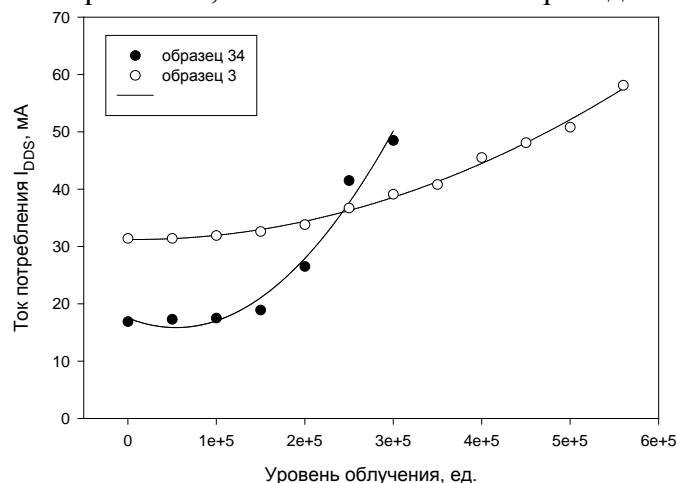


Рис. 2. Увеличение тока потребления (черные отметки) К-МОП микропроцессора при длительном воздействии ионизирующего излучения (белые отметки)

Контроль скорости изменения тока позволяет установить точку, в которой начинается резкий рост. Эта точка является точкой входа в сбойное состояния.

Совокупным недостатком первых двух методов является наличие требования к дополнительным датчикам для измерения контрольных параметров. Третий метод же метод лишен этих недостатков и подразумевает использование только объекта диагностики и элементов вычислительной техники. Этого можно добиться несколькими способами.

Первый способ заключается в использовании вместо датчика сам объект диагностики. Например, в той же работе [8] помимо тестирования микропроцессоров на устойчивость к накапливающейся дозе ионизирующего излучения было рассмотрено так же влияние на них кодоимпульсных доз (рис. 3).

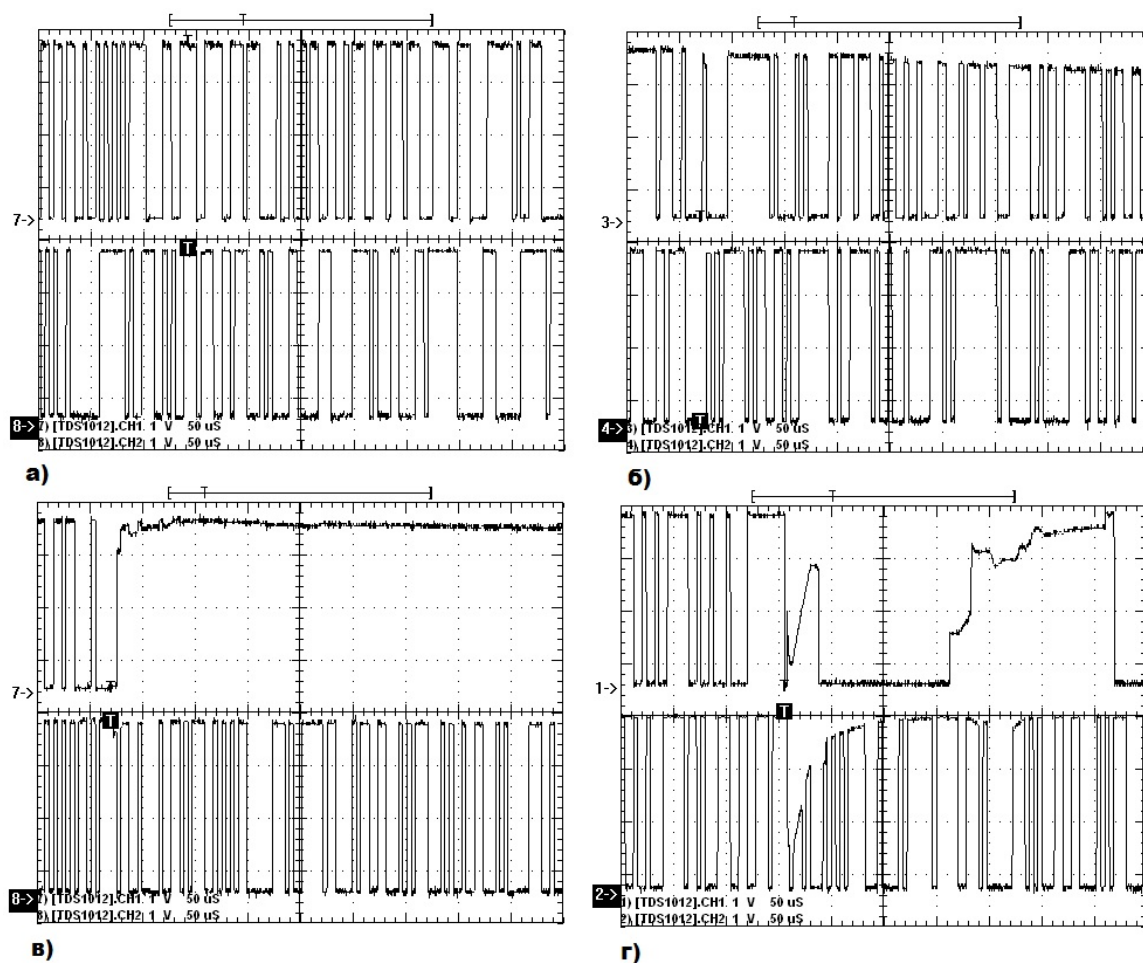


Рис. 3. Осциллограммы выходного сигнала TDO (верхний луч) микропроцессора R-500S при воздействии импульсного ИИ (нижний луч – TDI)

Видно, что на осциллограмме (рис.3в ) микроконтроллер выдает не дискретный сигнал, а ступеньку, тем не менее, с точки зрения пользователя осциллограммы (рис.3а и 3в) при увеличении шага развертки сигнала приведут к одинаковому результату, и ошибок в работе не будет. Осциллограмма (рис.3г) уже явно показывает отказ микропроцессора.

Следовательно, если сигналы (рис.3а и 3в) провести через АЦП другого микропроцессора, имеющего частоту работы меньше частоты сигнала (рис.3а, то данный сигнал в дискретном виде будет иметь как единицы, так и нули, а сигнал (рис.3в) - только единицы. Таким образом можно явно указать на наличие сбойного состояния в исследуемом микропроцессоре.

Наиболее же перспективным представляется второй способ. Он заключается в использовании тестовых кодов особой структуры, именуемой интегро-дифференциальной кодоимпульсной модуляцией [9]. Преимущества данного способа состоят в том, что, во- первых, исследуемый элемент способен проверять сам себя, во вторых, проверяться могут и объекты со сложной структурой, и, в третьих, становится возможным спрогнозировать запас живучести элемента на основании сбора данных о предыдущем тестировании кодо-импульсными последовательностями.

#### Выводы

1. Проведено расширение понятия «сбой» с вводом новых определений «время жизни сбоя», «запас живучести элементов».

2. Для количественной оценки запаса живучести элемента в сбойном состоянии предложено использование интегро-дифференциальной кодоимпульсной модуляции обработки сигналов.

### Литература

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – введ. 01.07.90, переиздан 01.07.2005, выведен из использования 01.01.2011. – М: Госкомитет СССР по управлению качеством и стандартами. ГОСТ 28195-89.
2. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – введ. 01.01.2011. –М: Технический комитет по стандартизации ТК 119 «Надежность в технике». – 32 с.
3. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения. – введ. 01.07.90, переиздан 01.09.2001. –М: Министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР. – 31 с.
4. ANSI/ISA 84.01 "Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries
5. Иванов Ю.П., Тагаченков А.М., Зайцев В.В. Эффект автосбоя в быстродействующих КМОП БИС// Вопросы радиоэлектроники. Серия «Электронно-вычислительная техника». Выпуск 2. М: 1994, с.129 – 138
6. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения ( с изменением № 1). – введ. 01.07.1979. – М: Государственный комитет СССР по стандартам. – 22 с.
7. Large IG Chip impact analysis and Handling Protection. L.C. Karlatd, W.G. Burger, С.М. Hsien, W.A. Casgroove. and others // Solid-state technol. -1973. –vol.16. № 8, P. 41-44.
8. Радиационная стойкость микропроцессоров семейства МЦСТ-R / Боровской Д.В., Волин В.С., Калашников О.А., Некрасов П.В. и др. // Вопросы радиоэлектроники. –М.: ЦНИИ «Электроника». – 2010. – №3. – с. 102-112.
9. Дианов В.Н.,Гевондян Т.А., Белоусов И.М., Люминарская Е.С. Интегро-дифференциальная кодо-импульсная модуляция в задачах повышения надежности в аппаратуре. Труды международного симпозиума «Надежность и качество 2012». Россия, Пенза, 21 – 31 мая 2012г., т.2, с.136 – 137.

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОЙ ВЫБОРКИ

Гродзенский Я.С., Чесалин А.Н.

*Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (МГТУ МИРЭА)*

Исследуется эффективность статистических последовательных критериев Вальда и Айвазяна при распределениях биномиальном и Пуассона. Свойства критериев анализируются путем математического моделирования (метод Монте-Карло).

**Reliability analysis of high-tech products based on sequential analysis using discrete sample. Grodzenskiy Ya.S., Chesalin A.N. Moscow State Technical University of Radioengineering, Electronics and Automation.**

The effectiveness of sequential statistical criteria of Wald and Aivazian at binomial and Poisson distributions is researched. The properties of the criteria are analyzed by mathematical modeling (Monte Carlo method).

Контроль надежности наукоемкой продукции с помощью статистических методов остается одним из наиболее эффективных способов, позволяющих получать результаты с высокой достоверностью при наименьших затратах, как материальных, так и временных.

В докладе представлен анализ надежности наукоемкой продукции (доля которой доля дефектных изделий не должна превышать 10%) на основе последовательного критерия отношения вероятностей Вальда [1] и приближенного варианта оптимального обобщенного последовательного критерия Айвазяна [2] для распределений Пуассона и биномиального.

Методом Монте-Карло проводится сравнение среднего количества испытаний для каждого критерия и каждого распределения, а также рассчитываются фактические ошибки первого и второго рода. Некоторые результаты исследования для биномиального распределения представлены в работах [3-5]. В настоящем докладе, по-видимому впервые, проводится сравнение эффективности оптимальных последовательных процедур в случае распределения биномиального и Пуассона.

### 1 Критерий Вальда.

В случае биномиального распределения для заданных  $q_0$  и  $q_1$  после проверки каждого очередного изделия рассчитывается логарифм отношения правдоподобия  $\ln(Z)$  по формуле:

$$\ln(Z) = \ln\left(\frac{P_0}{P_1}\right) = \begin{cases} \ln\left(\frac{P_0}{P_1}\right), & \text{если } k = 1 \\ \ln\left(\frac{1-P_1}{1-P_0}\right), & \text{если } k = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Следовательно, при  $n$  испытаниях:

$$\sum_{i=1}^n \ln Z_i = \ln\left(\frac{P_{1n}}{P_{0n}}\right) = k \ln\left(\frac{q_1}{q_0}\right) + (n-k) \ln\left[\frac{1-q_1}{1-q_0}\right], \quad (2)$$

где  $P_{1n}$  и  $P_{0n}$  – вероятности получения выборок, соответствующих альтернативным гипотезам  $H_1$  и  $H_0$  относительно неизвестного параметра  $q$ ;  $q_1$ ,  $q_2$  – уровни дефектности;  $n$  – объем выборки;  $k$  – число дефектных единиц среди  $n$  проверенных.

Если в результате  $n$ -го наблюдения ( $n = 1, 2, \dots$ ) оказалось, что:

$$\ln A_0 < \sum_{i=1}^n \ln Z_i < \ln A_1, \text{ при } A_0 = \frac{\beta}{1-\alpha} \text{ и } A_1 = \frac{1-\beta}{\alpha}, \quad (3)$$

то проводится следующее  $(k+1)$ -е наблюдение;  
если  $\sum_{i=1}^n Z_i \leq \ln(A_0)$ , то принимается гипотеза  $H_0$ ,  
если  $\sum_{i=1}^n Z_i \geq \ln(A_1)$ , то принимается гипотеза  $H_1$ .

В случае распределения Пуассона для заданных  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  после проверки каждого очередного изделия рассчитывается логарифм отношения правдоподобия

$$\ln(P_{1n}/P_{0n}) = \lambda_0 - \lambda_1 + k \ln(\lambda_1/\lambda_0), \quad (4)$$

Вследствие того, что  $\lambda=nq$  и в каждом опыте проверяется одно изделие ( $n=1$ ), то в формуле (4) будем использовать  $q$  вместо  $\lambda$ :

$$\ln Z = \ln \left( \frac{P_{1n}}{P_{0n}} \right) = q_0 - q_1 + k \ln(q_1 / q_0), \quad (5)$$

Следовательно, при  $n$  испытаниях:

$$\sum_{i=1}^n \ln(Z_i) = n(q_0 - q_1) + \sum_{i=1}^n k \cdot \ln \left( \frac{q_1}{q_0} \right) \quad (6)$$

Если в результате  $n$ -го наблюдения ( $n = 1, 2, \dots$ ) оказалось, что выполняется неравенство (3), то проводится следующее  $(n+1)$ -е наблюдение, если нарушается первое неравенство, то принимается гипотеза  $H_0$ , а если второе, то гипотеза  $H_1$ .

## 2 Критерий Айвазяна.

В случае биномиального распределения для заданных  $q_0$  и  $q_1$  после проверки каждого очередного изделия рассчитывается логарифм отношения правдоподобия  $\ln(Z)$  по формуле (1), если в результате  $k$ -го наблюдения ( $k = 1, 2, \dots$ ) оказалось, что:

$$-C_0 \left( 1 - \frac{k}{D} \right) < \sum_{i=1}^k \ln Z_i < C_1 \left( 1 - \frac{k}{D} \right), \quad (7)$$

где:

$C_0=C_{\xi_1}$  и  $C_1=C_{\xi_2}$ , если  $\alpha < \beta$ ,

$C_0=C_{\xi_2}$  и  $C_1=C_{\xi_1}$ , если  $\alpha > \beta$ ,

$C_0=C_{\xi_2}=C_1=C_{\xi_1}$ , если  $\alpha = \beta$ ;

$$C_{\xi_i} = 2 \ln \left( \frac{1}{\varepsilon_1} \right) \left\{ 1 + \frac{\left\{ R^{-1} \left[ (2\pi)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_1} \right) - R \left[ 2 \ln \left( \frac{1}{\varepsilon_1} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right] \right\}}{\left( 2 \ln \left( \frac{1}{\varepsilon_1} \right) \right)^{\frac{1}{2}}} \right\}, \quad (8)$$

где  $\xi_1 = \min(\alpha, \beta)$ ,  $\xi_2 = \max(\alpha, \beta)$ ,  $i=1, 2$ .

$R(X)$  – отношение Миллса, определяемое как:

$$R(x) = \frac{[1 - \Phi(x)]}{\varphi(x)}, \quad (9)$$

$$D = \frac{8 \ln \left( \frac{1}{\min(\alpha, \beta)} \right)}{\rho(H_0, H_1)}, \quad (10)$$

- ордината точки пересечения, характеризующая максимальное число отказов, которые могут произойти при испытаниях;

$$\rho(H_0, H_1) = (q_1 - q_0) \left( \ln \left( \frac{q_1}{q_0} \right) + \ln \left( \frac{1 - q_0}{1 - q_1} \right) \right), \quad (11)$$

-«расстояние между гипотезами» в случае биномиального распределения;  
то проводится следующее  $(k+1)$ -е наблюдение;

если  $\sum_{i=1}^n Z_i \leq -C_0 \left( 1 - \frac{k}{D} \right)$ , то принимается гипотеза  $H_0$ ;

если  $\sum_{i=1}^n Z_i \geq C_1 \left( 1 - \frac{k}{D} \right)$ , то принимается гипотеза  $H_1$ .

В случае распределения Пуассона для заданных  $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  после проверки каждого очередного изделия рассчитывают логарифм отношения правдоподобия по формуле



(4), если в результате  $k$ -го наблюдения ( $k = 1, 2, \dots$ ) оказалось, что выполняется неравенство (5), где:

$$\rho(H_0, H_1) = (q_1 - q_0) \ln\left(\frac{q_1}{q_0}\right), \quad (12)$$

- «расстояние между гипотезами» в случае распределения Пуассона;  
то проводится следующее  $(n+1)$ -е наблюдение, если нарушается первое неравенство, то принимается гипотеза  $H_0$ , а если второе, то гипотеза  $H_1$ .

### 3 Математическое моделирование

В рассмотренных критериях используются приближенные критические границы, в результате чего фактические риски  $\alpha^*$  и  $\beta^*$  могут не совпадать с заданными. Аналитические расчеты точных границ очень сложны. Наиболее удобным способом для расчета фактических рисков и эффективности критериев является математическое моделирование методом Монте-Карло.

Исходными данными для моделирования являются:

- вид распределения;
- значение контролируемого параметра;
- риски  $\alpha, \beta$ ;
- уровни дефектности;
- тип критерия.

С помощью датчика случайных чисел моделируется последовательность реализации случайной величины распределенной по заданному распределению (биномиальному, Пуассона) до принятия одной из конкурирующих гипотез ( $H_0, H_1$ ). Число реализаций берется 10000, чтобы, исходя из центральной предельной теоремы, с вероятностью не меньшей 0.90, полученная оценка ординаты оперативной характеристики отличалась от истинной не более чем на 0.01.

Случайные величины  $n_i$  для биномиального распределения рассчитываются по формуле:

$$n_i = \frac{\ln(x_i)}{\ln(1-q)}, \quad (13)$$

где  $n_i$  – номер  $i$ -го дефекта;  $q$  – вероятность появления несоответствия.

Случайные величины  $n_i$  для распределения Пуассона находятся по формуле:

$$n_i = \frac{\ln(x_i)}{-q}, \quad (14)$$

где  $n_i$  – номер  $i$ -го дефекта;  $q$  – вероятность появления несоответствия.

Некоторые результаты моделирования представлены в табл. 1. Выводы делаются на основании сравнения средней продолжительности испытаний до принятия решения (как в случае принятия основной гипотезы, так и альтернативной), в случаях, когда  $q = q_0$ ;  $q = q_1$ ;  $q = (q_1 + q_0)/2$ .

Таблица 1

Результаты моделирования последовательных процедур

Распределение	Заданные риски		Фактические риски		Тип критерия	Средний объем выборки, шт.								
						$q=q_0$			$q=(q_0+q_1)/2$			$q=q_1$		
						пр.	бр.	общ	пр.	бр.	общ	пр.	бр.	общ
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha^*$	$\beta^*$		$q_0 = 0,05$			$q_1 = 0,25$					

Пуассона	00,3	00,3	0,22 6	0,06 7	Вальд	35. 3	4.8	28.4	22. 5	6.2	9.9	19. 4	4.7	5. 7
			0,10 4	0,03 8	Айвазя н	41. 8	8.3 9	38.3	34. 0	14. 1	19. 6	25. 8	8.8	9. 5
Биномальное	00,3	00,3	0,27 2	0,06 4	Вальд	34, 0	5,0 9	26,1	21, 1	5,7 4	9,0 3	17, 5	5,7 4	9, 03
			0,17 9	0,03 6	Айвазя н	37, 6	6,9 3	32,1	28, 5	10, 4	14, 5	20, 1	6,2 7	6, 77
Пуассона	00,05	00,3	0,03 9	0,05 9	Вальд	40. 9	12. 9	39.8	35. 3	22. 8	27. 3	25. 6	13. 8	14. 5
			0,00 3	0,03 7	Айвазя н	43. 5	14. 3	43	44. 7	42. 4	43. 4	24. 5	22. 5	22. 6
Биномальное	00,05	00,3	0,05 5	0,03 8	Вальд	38, 4	10, 5	36,9	30, 0	17, 9	21, 5	20, 6	9,6 7	10 ,1
			0,01 8	0,03 9	Айвазя н	40, 7	16, 4	40,2	37, 3	28, 0	31, 2	24, 3	15, 5	15 ,9
Пуассона	00,3	00,05	0.19 9	0.00 8	Вальд	50. 5	7.3 2	42.0	49. 2	14. 3	19. 9	33. 0	7.2 2	7. 43
			0.16 5	0.00 7	Айвазя н	67. 0	7.5	57.2	74. 1	19. 5	24. 4	40. 1	8.7	8. 9
Биномальное	00,3	00,05	0,22 9	0,00 7	Вальд	45, 5	5,7 2	36,4	37, 1	10, 6	14, 8	27, 0	5,5 5	5, 70
			0,20 6	0,00 1	Айвазя н	57, 9	7,3 0	47,5	56, 4	15, 6	19, 3	63, 5	6,5 0	6, 56
			$q_0 = 0,10 \quad q_1 = 0,20$											
Пуассона	00,3	00,3	0,28 7	0,15 4	Вальд	39. 6	16. 0	32.8	38. 9	18. 7	26. 4	34. 9	15. 9	18. 8
			0,15 2	0,10 1	Айвазя н	65. 9	35. 4	61.3	77. 5	46. 2	59. 2	56. 6	33, 6	35. 9
Биномальное	00,3	00,3	0,33 1	0,11 9	Вальд	35, 0	14, 1	28,1	33, 4	14, 7	20, 5	28, 9	11, 8	13 ,9
			0,26 9	0,06 6	Айвазя н	52, 8	28, 7	46,3	55, 9	32, 1	39, 5	50, 7	21, 9	23 ,8
Пуассона	00,05	00,3	0,04 5	0,14 5	Вальд	62. 3	56. 0	62.0	81. 4	79. 0	80. 3	56. 8	58. 3	56. 0
			0,00 6	0,13 5	Айвазя н	74. 3	84. 8	74.4	106	168	130	69. 3	99. 2	95. 2
Биномальное	00,05	00,3	0,09 8	0,10 2	Вальд	56, 4	45, 2	55,3	65, 7	58, 6	61, 4	45, 6	39, 0	39 ,6
			0,03 2	0,06 8	Айвазя н	69, 3	96, 3	70,2	78, 9	100	90, 6	52, 3	61, 5	60 ,9
Пуассона	00,3	00,05	0,23 6	0,02 3	Вальд	93. 2	31. 2	78.5	119	49. 9	66. 5	81. 5	31. 6	30. 9
			0,21 4	0,00 5	Айвазя н	150	40	126	217	79. 2	103	120	35. 7	36. 3
Биномальное	00,3	00,05	0,32 9	0,01 7	Вальд	81, 3	29, 5	64,2	86, 9	34, 2	44, 3	65, 8	20, 7	21 ,5
			0,30 1	0,00 3	Айвазя н	133	34	103	162	55, 2	66, 3	126	23, 5	25 ,7

### **Выводы:**

1 Получены расчетные соотношения для использования оптимальных последовательных процедур в случае распределения Пуассона;

2 Проведенное математическое моделирование процедур последовательного анализа для распределений Пуассона и биномиального в случаях использования критериев Вальда и Айвазяна показало, что:

- более экономичным является критерий Вальда (Критерий Айвазяна требует в среднем на 17% больше наблюдений в случае биномиального распределения и на 28% в случае распределения Пуассона).

- критерий Айвазяна позволяет получить более достоверные результаты (меньше фактические ошибки (в случае критерия Айвазяна фактические риски в среднем в более чем в два раза меньше, чем в случае критерия Вальда);

- более экономично использовать биномиальное распределение (требуется в среднем на 25% меньше испытаний), чем при распределении Пуассона, но при этом фактические риски  $\alpha^*$  при использовании Пуассона более чем на 30% меньше фактических рисков при биномиальном распределении, а фактические риски  $\beta^*$  при распределении Пуассона в среднем на 40% больше, чем при биномиальном).

Дальнейшее исследование предполагает поиск оптимального критерия, позволяющего совмещать достоинство известных статистических процедур при любых исходных данных.

### **Литература**

1. Вальд А. Последовательный анализ.– М.: Физматгиз, 1960. – 325 с.
2. Айвазян С. А. Различение близких гипотез о виде плотности распределения в схеме обобщенного последовательного критерия // Теория вероятностей и ее применения. – 1965. – Вып. 4. – С. 713-726.
3. Гродзенский Я.С. Новые возможности статистического регулирования технологических процессов // Методы менеджмента качества, 2009, № 9, с. С. 40-42.
4. Гродзенский Я.С. Эффективность последовательных критериев при контроле параметра, имеющего биномиальное распределение // Сб. Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий / Материалы научно-практической конференции. М.: МИЭМ, 2009, с.101-102.
5. Гродзенский С.Я, Чесалин А.Н. Контроль показателей надежности высоконадежных изделий с использованием оптимальных статистических последовательных критериев. // Метрология, 2011, № 10, с.29-34.

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

Милаев Д., Шаховская О.

*Тольятти, ФГБОУ ВПО Поволжский государственный университет сервиса, кафедра «Прикладная информатика в экономике», гр. ББИ-201*

Статья содержит описание методов визуализации криптографических средств защиты информации. В основе этих методов лежит преобразование информации одного вида в информацию другого вида: текстовую в графическую.

**Visualization of cryptographic protection of the information. Milaev D., Shahovskaya O.**

The article describes the methods of visualization of information protection by means

of cryptographic tools. These methods are based on information conversion of one type into a different one: text information into graphic one.

В природе человека заложена способность использовать определенные формы в качестве символов, которые помогают работе мысли. 80-90% всей воспринимаемой информации проходит в виде визуальных образов. Всю свою жизнь человек не только видит, сколько узнает, опознает, оценивает, сравнивает и догадывается, причем, зачастую не отдавая себе в этом отчет. Человек воспринимает как части увиденного, так и все изображение в целом одновременно. Эта информация сливается воедино в некую картину.

При этом только человек может видеть картину целиком, и отдельные вещи, из которых она состоит, видеть в них вместилища совсем иных невидимых предметов и представлять как они могут работать.

Большинство картин классических художников можно рассматривать и наслаждаться, а можно, зная к какому мистическому течению или религии принадлежал художник, читать их как текст. Ведь одежды, разворот лица, поза руки, окружающие предметы и, конечно, цвета в композиции тогда будут иметь определенный смысл. В природе человека заложено искать в увиденном скрытый смысл и скрывать информацию в том, что находится на виду.

В настоящее время существует множество способов того, как зашифровать или спрятать информацию. Чаще всего человек пользуется какой-либо программой для того, чтобы его информация осталась в тайне. Эти программы превращают читаемую информацию в нечитаемую: шифруют или кодируют. Но все алгоритмы шифрования более-менее известны, ведь самые древние придуманы людьми от нескольких тысяч лет назад, а самые новые – появились в XX веке. В этой области практически невозможно изобрести что-то абсолютно новое. Криптостойкости часто добиваются усложнением ключей и математических действий над текстом, а это, в свою очередь, расходует ресурсы компьютера.

На наш взгляд, самое интересное направление из криптографии – это стеганография. Она представляет из себя науку о скрытой передаче информации путём сохранения в тайне самого факта передачи. При этом стеганография скрывает не только информацию, но и сам факт её наличия.

Стеганографию обычно используют совместно с методами криптографии, таким образом, дополняя её. Чем совершенней способ скрытия информации при помощи этого метода, тем меньше шансов, что информацию не то чтобы прочитают, ее даже не найдут. А если эта информация дополнительно зашифрована, то имеет еще один, дополнительный, уровень защиты. Компьютерные технологии придали новый импульс развитию стеганографии. Появилась компьютерная стеганография, которая обеспечила незаметное для человеческих органов восприятия встраивание скрываемых данных в файлы, содержащие графическую, аудио или мультимедийную информацию.

В настоящее время существует много различных методов встраивания информации в информацию другого вида:

- метод замены наименьших значащих битов или LSB-метод, заключающийся в использовании погрешности дискретизации, существующей в цифровых изображениях, аудио и видеофайлах.
- использование особенностей форматов данных, использующих сжатие с потерей данных, имеется возможность в широком диапазоне варьировать качество сжатого изображения, что делает невозможным определение происхождения искажения.

- формирования цифровых водяных знаков, использующее принцип встраивания метки – узкополосного сигнала, в широкий диапазон частот маркируемого изображения.

Общеизвестно, что самым удобным методом для преобразования информации в скрытую, а не зашифрованную, является конвертация ее в абстрактное, но привычное для человека изображение. Данный метод может быть исполнен благодаря особенностям цифровых изображений: любая растровая графика состоит из точек - пикселей. Каждый пиксель имеет свои параметры – местоположение и цвет, причем цвет задается тремя числами от 0 до 255. Эти три числа соответствуют каналам RGB (red, green, blue). Комбинации чисел, которые задают цвет каждого канала, позволяют представлять на экране любой из 16 777 216 цветов.

На современном рынке большинство программ, занявших нишу компьютерной стеганографии, работают по следующему принципу: графические файлы с цветовой моделью RGB для световоспроизводящих устройств кодируют каждую точку изображения тремя байтами. Изменение каждого из трех менее значимых бит в байтах отвечающих за основные цвета (красный, зеленый и синий) теоретически приводят к изменению около 1% цветности точки, что не заметно при просмотре изображения. На основе описанной стеганографической технологии рассмотрим несколько предлагаемых нами методов.

Первый метод – превращение ограниченного объемами текста в цветовой ряд, который не надо прятать в другое изображение, а можно воспроизводить на любом устройстве и использовать как штрих-коды. Для усложнения можно использовать предварительную обработку текстовой информации, например, используя метод поли-алфавитной замены, после чего зашифрованный текст конвертируется в изображения. При шифровке текста используются так называемые ASCII - коды (American Standard Code for Information Interchange), которые представляют собой числовой эквивалент любой буквы алфавита или символа. Всего ASCII – кодов 256, от 0 до 255. Нетрудно заметить, что коды ASCII похожи с числовыми эквивалентами цветов в RGB канале, с той разницей, что для 1 символа используется 1 число, а для пикселя – 3 числа. Поэтому требуется зашифровать в 1 пиксель 3 символа. В результате получается изображение в виде якобы хаотического расположения цветных пикселей, которое при передаче, сканировании и обратном преобразовании превращается в первоначальный текст.

Приведенный алгоритм можно усовершенствовать различными способами, такими как использование двухуровневой поли-алфавитной замены, то есть, когда зашифрованный текст используется для шифрования ключа, после чего новый ключ используется для зашифровки, благодаря чему подбор ключа становится совершенно невыполнимым, так как он будет состоять из нечитаемых символов. Также можно усложнить конвертацию зашифрованного текста в изображение, например, в нечетные пиксели канала R будет присваиваться каждый третий символ, каналу G – каждый символ после третьего, каналу B – каждый символ идущий после первого, а нечетные – наоборот. Кроме того, можно использовать пиксельный ключ, который будет формироваться из ключа, конвертированного в изображение при помощи программы. После создания пиксельного ключа, зашифрованный текст будет накладываться на ключ, но символы будут идти уже в другом порядке – каждая строка текста разворачивается. Все это поможет усложнить расшифровку изображений.

Второй метод в чем-то схож с идеей QR-кодов. При получении изображения используется три параметра геометрической фигуры – тип, размер и, конечно, цвет в кодировке RGB. Один символ равен одной фигуре, составляющей изображение.

Каждому символу соответствует определенный код, состоящий из указанных параметров, считав который можно получить отдельный символ зашифрованного текста. Шифрование происходит обратимым, несимметричным способом – каждому символу текста сопоставляется программный код, по нему определяется какую фигуру вывести и добавляется случайный параметр, который делает фигуру и ее расположение на изображении уникальным. Цвет фигуры определяет порядок ее наложения, тип фигуры – начертание букв или язык, размер фигуры – регистр.

Установлено, что в полученном изображении можно скрыть до 16 777 216 символов (именно столько цветов получается при использовании самой распространенной цветовой модели RGB). Но, как было оговорено ранее, описанный метод подходит для обработки не слишком большого текста, иначе полученное изображение получится слишком заполненным и невозможным для дешифрования. Программа не сможет определить, какие пиксели должны быть под обрабатываемой фигурой, изображение будет испорчено, а результат искажен.

Недостаток растровых изображений – эффект растривания, с которым борются разработчики графических программ путем сглаживания, в описанном случае является достоинством. Ведь пиксели должны быть четкие, без искажений, ухудшения качества или потери части изображения, иначе дешифровка будет невозможна или сделана с ошибками. Поэтому изображение можно хранить только на электронном носителе, т. к. отсканированное, распечатанное или сфотографированное изображение не сможет четко передать используемые цвета и расшифровка будет произведена программой неверно.

Компьютерная стеганография нашла свое применение во многих областях человеческой деятельности: традиционная тайная передача конфиденциальной информации, электронная защита авторских прав на аудио и видео продукцию, создание секретных архивов, преодоление различных систем управления и мониторинга сетевых ресурсов, обмен разведывательной информацией и многое другое.

При попытке пересмотреть технические и информационные системы через призму живых организмов было выявлено множество аналогов технических и программных решений в окружающем нас мире. Нами были предложены методы, которые как нельзя более соответствуют человеческому способу восприятия информации через картинку. И возможно, еще можно будет в дальнейшем обнаружить новые эффективные бионические методы, пока не используемые в современных информационных системах.

### Литература

1. Генне О. В., Основные положения стеганографии. // Защита информации. – 2000. - №3
2. Конахович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. — К.: МК-Пресс, 2006. — 288 с, ил.
3. Марченко В.С. Анализ систем защиты информации с точки зрения бионики. [Текст] // Вестник ПВГУС. Серия Экономика.- 2011.- № 2(16).- Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2011. С. 153-157

## О РАЗБИЕНИИ ЧИСЛА НА ФИКСИРОВАННОЕ КОЛИЧЕСТВО СЛАГАЕМЫХ ОГРАНИЧЕННОГО РАЗМЕРА

Энатская Н.Ю., Хакимуллин Е.Р.  
*МИЭМ НИУ ВШЭ*

Предлагается два подхода к решению задачи определения количества делений числа на фиксированное число слагаемых ограниченного размера – это рекуррентный метод точного решения задачи и метод отбраковки при стохастическом моделировании близкой (сопровождающей) схемы для ее приближенного решения.

There are two approaches to solving the problem of determining the number of divisions of a fixed number of terms of limited size - this recursive method of exact solution of the problem and the method of culling the stochastic simulation close (accompanying) scheme for an approximate solution.

Постановка задачи и идеи ее решения.

Решается задача нахождения количества вариантов  $N = N(r, n, l)$  делений числа  $r$  на  $n$  ненулевых слагаемых, каждое  $\leq l$ . Явная формула для определения числа  $N$  не найдена. Однако, для точного численного решения задачи построены рекуррентные соотношения, рекомендуемые при разных соответствиях между параметрами процесса. Идея такого решения состоит в построении рекуррентной процедуры последовательного понижения значения одного из параметров до уровня, когда число  $N$  известно, приводящей к соответствующему рекуррентному соотношению, по которому обратным пересчетом определяется искомое значение  $N$ .

Метод размещений.

Для наглядности переформулируем задачу в терминах размещений как нахождение числа размещений  $r$  неразличимых шаров по  $n$  различным ящикам без пустых и в каждом  $\leq l$  шаров при допускающих требуемое размещение параметрах.

В качестве рекуррентных процедур, например, по параметру  $l$  (до  $l = 2$ ) предложены следующие:

а) принудительное размещение по одному шару во все ящики с после дующим докладыванием остальных шаров с учетом ограничений размещения;

б) заполнение ящиков шарами до допустимого максимума возможно большим числом шаров с последующим выбором (удалением) лишних шаров.

При процедуре а) наблюдается закономерность: число размещений  $r$  неразличимых шаров по  $n$  различным ящикам, в каждом  $\leq l$  шаров, совпадает с числом размещений  $(r - n)$  неразличимых шаров по не более, чем  $n$  различным ящикам, в каждом  $\leq (l - 1)$  шаров, что приводит к следующему рекуррентному соотношению:

$$N(r, n, l) = \sum_{i=1}^n C_n^i N(r - n, i, l - 1). \quad (1)$$

При процедуре б) наблюдается закономерность: число размещений  $r$  неразличимых шаров по  $n$  различным ящикам, в каждом  $\leq l$ , совпадает

с числом размещений  $((l - 1)n - r)$  неразличимых шаров по не более, чем  $n$  различным ящикам, в каждом  $\leq (l - 1)$  шаров, что приводит к следующему рекуррентному соотношению:

$$N(r, n, l) = \sum_{i=1}^n C_n^i N((l - 1)n - r, i, l - 1). \quad (2)$$

**Замечание.** Рекуррентное соотношение (1) для меньших затрат времени на решение задачи рекомендуется использовать при значениях  $r$ , принадлежащих к первой половине допустимых значений в порядке их роста, а соотношение (2) – для остальных допустимых значений  $r$ .

Метод коэффициентов.

Другой численный метод точного нахождения числа  $N$  основан на наблюдении совпадения совокупности исходов требуемых размещений и слагаемых при формировании коэффициента при  $x^{r-n}$  в разложении по степеням  $x$  функции  $\varphi_n(x) = (1 + x + x^2 + \dots + x^{l-2})^n$ . А с учетом вида основания степени  $n$  в  $\varphi_n(x)$ , оказывается, что последовательные коэффициенты при степенях  $x$  в  $\varphi(x)$  при росте  $k$  от 0 до  $n$  представляют таблицу значений ( $j$  – показатель степени  $x$  в  $\varphi_k(x) = (1 + x + x^2 + \dots + x^{l-2})^k$ ;  $j = 0, k(l-2)$ ) и связаны, например, при  $j \leq l-1$  рекуррентным соотношением:

$$a_{k+1, j+1} = a_{kj} + a_{k+1, j}. \quad (3)$$

Рекурренты при других значениях  $j$  будут даны ниже.

Метод отбраковки.

При больших значениях параметров  $r, n, l$  вычисления по рекуррентам (1) – (3) достаточно трудоемки, поэтому в этом случае предлагается проводить приближенное вычисление  $N$  методом отбраковки по данным ограничениям при стохастическом моделировании наиболее близкой, легко реализуемой схемы с известным общим числом вариантов  $M$ .

Тогда из наблюдаемого отношения  $p = N^*/M^*$ , где  $M^*$  – число разных смоделированных размещений в близкой (сопровождающей) схеме, а  $N^*$  – число разных из  $M^*$  (с учетом ограничений) требуемых размещений, искомое число  $N = N(r, n, l)$  приближенно находится из соотношения:  $N \approx p \cdot M$ .

В качестве такой близкой схемы предлагается рассматривать схему размещения  $r$  неразличимых шаров по  $n$  различным ящикам без пустых ящиков с общим числом вариантов  $M = C_{r-1}^{n-1}$ .

Аналогичным методом стохастического моделирования с отбраковкой может быть решена задача приближенного нахождения общего числа размещений  $r$  неразличимых шаров по  $n$  различным ящикам и размещений без пустых ящиков (при  $r \geq n$ ), где в качестве близких схем могут быть использованы соответствующие схемы размещения  $r$  неразличимых шаров по  $n$  различным ящикам.

Для наглядности приведем детализацию описанных идей точного и приближенного решений задачи на примерах разбора отдельных алгоритмов.

**Детализация точного решения задачи методом размещений.** В качестве иллюстрации точного решения методом размещений проведем детальное обсуждение реализации рекуррентного метода, например,

по описанной в п.1 процедуре б).

Итак, решается задача: сколькими способами  $N = N(r, n, l)$  можно разместить  $r = r_0$  неразличимых шаров по  $n = n_0$  без пустых и с уровнем заполнения каждого ящика менее, чем на  $l$  шаров?

Предполагается, что значения параметров  $r, n, l$  допускают возможность требуемого размещения, то есть должны удовлетворять условиям:

А)  $r \geq n$  для возможности размещения  $r$  шаров по  $n$  ящикам без пустых ящиков;

Б)  $r \leq n(l-1)$  для возможности непривышения максимально допустимого



уровня заполнения по  $(l - 1)$  шару в каждом ящике ( $l > 1$ ).

Эти условия объединяются в одно:

$$n \leq r \leq n(l - 1) \quad (1)$$

при  $l > 1$ .

Идея решения задачи нахождения числа  $N = N(r, n, l)$  состоит в построении процедуры размещения шаров по ящикам, описываемого соответствующим рекуррентным соотношением, пошагово и поединично понижающего допустимый уровень заполнения ящиков в исходной схеме размещения (далее числа шаров и ящиков будут меняться) и приводящего к известному или легко вычисляемому числу размещений.

Тогда при  $l = 2$  с последними вычисленными параметрами  $r = r^*$  и  $n = n^*$  имеем очевидные равенства:

$$N(r^*, n^*, 2) = 1 \quad (2)$$

при  $r^* = n^*$  и

$$N(r^*, n^*, 2) = 0 \quad (2)$$

при  $r^* \neq n^*$

Теперь в обратном порядке по рекуррентному соотношению можно вычислить искомое число  $N(r_0, n_0, l) = N(r, n, l)$ .

Таким образом, вычисления по данному методу сводятся к нахождению промежуточных значений параметров в рекуррентном соотношении и применению формулы (2).

Предлагается следующая процедура. На 1-ом шаге раскладываем во все ящики по  $(l - 1)$  шаров. На это потребуется  $n_0(l - 1)$  шаров, превышающих по количеству данное число  $r = r_0$  на излишек  $r_1 = n_0(l - 1) - r_0$  шаров. (При  $r_1 = 0$  это и будет требуемое размещение, и  $N = 1$ ). Эти  $r_1$  шаров нужно вынуть из  $n_0$  ящиков, причем менее, чем по  $(l - 1)$  из каждого, то есть от 0 до  $(l - 2)$  шаров.

Таким образом, задача нахождения  $N = N(r_0, n_0, l)$  сводится к нахождению числа вариантов размещения  $r_1$  неразличимых шаров по новым  $n$  ящикам возможно с пустыми ящиками с менее, чем  $(l - 1)$  шарами в каждом ящике. Тогда вычитанием этого размещения из первоначального в каждом ящике мы будем получать требуемое размещение шаров по ящикам.

Обозначим через  $N^*(r_1, n_0, l - 1)$  – число размещений по новым ранее пустым  $n_0$  ящикам, то есть размещений, возможно с пустыми ящиками и с менее, чем  $(l - 1)$  шарами в каждом ящике. В силу взаимно однозначного соответствия искомых размещений с описанным размещением по новым  $n_0$  ящикам очевидно равенство:  $N(r_0, n_0, l) = N^*(r_1, n_0, l - 1)$ , а так как число  $N^*(r_1, n_0, l - 1)$ , можно интерпретировать как сумму чисел размещений  $r_1$  шаров по любым  $n_1$  из  $n_0$  ящикам без пустых, где  $n_1 = \overline{1, n_0}$ , то получаем

$$N(r_0, n_0, l) = \sum_{n_1=1}^{n_0} C_{n_0}^{r_1} N(r_1, n_1, l - 1) \quad (3)$$

То есть в результате первого шага удалось понизить уровень заполнения ящиков на единицу.

На втором шаге повторяем для вычисления  $N(r_1, n_1, l - 1)$  описанную процедуру с заменой  $r_0$  на  $r_1$ ,  $r_1$  на  $r_2$ ,  $l$  на  $l - 1$ ,  $n_0$  на  $n_1$ ,  $n_1$  на  $n_2$  и приходим к аналогичному (3) равенству:

$$N(r_1, n_1, l) = \sum_{n_2=1}^{n_1} C_{n_1}^{r_2} N(r_2, n_2, l - 2).$$

Аналогично для  $j$ -го шага ( $0 \leq j \leq l - 2$ ) имеем соотношение:

$$N(r_j, n_j, l - j) = \sum_{n_{j+1}=1}^{n_j} C_{n_j}^{r_{j+1}} N(r_{j+1}, n_{j+1}, l - j - 1) \quad (4)$$

при

$$r_{j+1} = n_j(l - j) - r_j, \quad j = \overline{0, l - 2} \quad (5)$$

и назовем (4) и (5) основными формулами нашего рекуррентного метода нахождения числа  $N = N(r_0, n_0, l)$

Для (1 - 2)-го шага по (4) получаем равенство:

$$N(r_{l-3}, n_{j-3}, 3) = \sum_{n_{l-2}=1}^{n_{l-3}} C_{n_{l-3}}^{n_{l-2}} N(r_{l-2}, n_{l-2}, 2),$$

в котором числа  $N(r_{l-3}, n_{j-3}, 3)$  вычисляются по (2), откуда получаем:

$$N(r_{l-3}, n_{j-3}, 3) = C_{n_{l-3}}^{n_{l-2}},$$

так как по (2)  $N(r_{l-2}, n_{l-2}, 2) = 1$  только при  $r_{l-2} = n_{l-2}$ , а коэффициент при  $N(r_{l-2}, n_{l-2}, 2)$  в (4) для  $N(r_{l-3}, n_{j-3}, 3)$  есть  $C_{n_{l-3}}^{n_{l-2}}$ , который при  $r_{l-2} = n_{l-2}$  и равен  $C_{n_{l-3}}^{n_{l-2}}$ .

Замечание 1. Описанная процедура понижения уровня заполнения ящиков шарами без пустых при указанном ограничении уровней заполнения ящиков с пересчетом параметров схемы (числа шаров и ящиков) до возможности получения численного значения левой части (4) может состоять из меньшего числа шагов, чем  $(l - 2)$ , при некоторых частных соотношениях между параметрами, а именно:

$$N(r_j, n_j, l - j) \quad (7)$$

при  $r_{j+1} = 0$  или по (5) при  $r_j = n_j (l - j - 1)$ ;

$$N(r_j, n_j, l - j) = C_{r_{j-1}}^{n_{j-1}} \quad (8)$$

при  $r_j \leq l - j + n_j - 2$ ;

$$N(r_j, n_j, l - j) = C_{n_j + r_{j+1} - 1}^{r_{j+1}}$$

при  $r_{j+1} < l - j$  (или по (5) при  $r_j > (n_j - 1)(l - j)$ ).

В указанных в (7) случаях при  $j = 0$  имеем по (7) явные формулы для вычисления  $N$ .

Замечание 2. Для облегчения вычислений приведем некоторые свойства числа  $N(r, n, l)$ :

$$N(r, n, l) = 1 \quad (9)$$

при  $n = 1, r < l$ ;

$$N(r, n, l) = 1 \quad (10)$$

при  $r = n(l - 1)$ ;

$$N(r, n, l) = 1 \quad (11)$$

при  $r = n$ ;

$$(r, n, l) = 0 \quad (12)$$

при  $r < n$ ;

$$N(r, n, l) = 0 \quad (13)$$

при  $r > n(l - 1)$ , (при  $n = 1, r > l - 1$ );

$$N(r, n, l) = 0 \quad (14)$$

при  $l = 1$ . Рассмотрим для иллюстрации метода числовой пример:  $r = r_0 = 8, n = n_0 = 3, l = 5$ . Найдем  $N = N(8, 3, 5)$  по (4).

1-ый шаг. Анализируем число  $N(8, 3, 5)$ .  $l = 5$ ;  $r_1 = 3 \cdot 4 - 8 = 4$ ; по (4)

$$N(8, 3, 5) = C_3^1 N(4, 1, 4) + C_3^3 N(4, 2, 4) + C_3^2 N(4, 3, 4). \quad (15)$$

2-ой шаг. Анализируем числа 1)  $N(4, 1, 4)$ , 2)  $N(4, 2, 4)$ , 3)  $N(4, 3, 4)$  в (15),  $l = 4$ ;

1)  $r_2 = 1 \cdot 3 - 4 < 0$ , по (13)

$$N(4, 1, 4) = 0; \quad (16)$$

2)  $r_2 = 2 \cdot 3 - 4 = 2$ , по (4)

$$N(4, 2, 4) = C_2^1 (2, 1, 3) + C_2^2 N(2, 2, 3); \quad (17)$$

$$N(4, 3, 4) =$$

$$C_3^1 N(5, 1, 3) + C_3^2 N(5, 2, 3) + C_3^3 N(5, 3, 3). \quad (18)$$

3-ий шаг. Анализируем числа 1)  $N(2, 1, 3)$ , 2)  $N(2, 2, 3)$  в (17),

3)  $N(5, 1, 3)$ , 4)  $N(5, 2, 3)$ , 5)  $N(5, 3, 3)$  в (18)  $l = 3$ ;

$$1) r_3 = 1 \cdot 2 - 2 = 0, \text{ по (10)}$$

$$N(2, 1, 3) = 0; \quad (19)$$

$$2) r_3 = 2 \cdot 2 - 2 = 2, \text{ по (11)}$$

$$N(2, 2, 3) = 1; \quad (20)$$

$$3) r_3 = 1 \cdot 2 - 5 < 0, \text{ по (13)}$$

$$N(5, 1, 3) = 0; \quad (21)$$

$$4) r_3 = 2 \cdot 2 - 5 < 0, \text{ по (13)}$$

$$N(5, 2, 3) = 0; \quad (22)$$

$$5) r_3 = 3 \cdot 2 - 5 = 1, \text{ по (4)}$$

$$N(5, 3, 3) = C_3^1 N(1, 1, 2) + C_3^2 N(1, 2, 2) + C_3^3 N(1, 3, 2). \quad (23)$$

4-ый шаг. По (2) вычисляем числа 1)  $N(1, 1, 2)$ , 2)  $N(1, 2, 2)$ , 3)  $N(1, 3, 2)$  в (23),  $l = 3$ ;

1)

$$N(1, 1, 2) = 1; \quad (24)$$

2)

$$N(1, 2, 2) = 0; \quad (25)$$

3)

$$N(1, 3, 2) = 0. \quad (26)$$

Теперь обратным пересчетом находим искомое число  $N(8, 3, 5)$ , проведя предварительно вычисления по формулам 1) (17), 2) (23) и 3) (18):

1) по (17) с учетом (19) и (20)

$$N(4, 2, 4) = 3; \quad (27)$$

2) по (23) с учетом (24), (25), (26)

$$N(5, 3, 3) = 3; \quad (28)$$

3) по (18) с учетом (21), (22), (28)

$$N(4, 3, 4) = 3. \quad (29)$$

И окончательно по (15) с учетом (16), (27) и (29) вычисляем число  $N = N(8, 3, 5) = 3 \cdot 0 + 3 \cdot 3 + 1 \cdot 3 = 12$  – это искомое число вариантов.

Проверим полученный по рекуррентному методу размещений результат:  $N = 12$  визуально представленным ручным перебором всех требуемых размещений – это варианты составов (4,3,1); (4,2,2) и (3,3,2), что с учетом различимости ящиков дает для состава (4,3,1) –  $3! = 6$  вариантов, для состава (4,2,2) – 3 варианта, для состава (3,3,2) – 3 варианта – всего  $6+3+3=12$  вариантов: (4,3,1), (4,1,3), (3,1,4), (3,4,1), (1,3,4), (1,4,3), (4,2,2), (2,4,2), (2,2,4), (3,3,2), (3,2,3), (2,3,3) (снова получаем 12 вариантов).  $N(r_0, n_0, l)$

Для иллюстрации применения формулы (6) (на шаг раньше, не переходя к уровню  $< 2$  на (1 - 2)-м шаге) вычислим, например, число  $N(5, 3, 3)$ , где  $r_{l-2} = 3 \cdot 2 - 5 = 1$ . Тогда по (6)  $N(r_{l-3} = 5, n_{l-3} = 3, 3) =$

$$C_{n_{l-3}}^{r_{l-2}} = C_3^1 3, \text{ что совпадает с полученным выше результатом с помощью формулы (2) на (1 - 2)-м шаге.}$$

Как видно из примера, вычисление числа  $N = N(r, n, l)$  при больших  $r, n, l$  технически трудоемко, поэтому рекомендуется программное применение предложенного алгоритма решения задачи с подстановкой данных значений параметров  $r, n, l$  в стандартную программу и с проверкой условий замечаний 1 и 2 для анализа числа необходимых шагов описанной процедуры, когда впервые имеем явные

формулы для вычисления искомого числа  $N$  по (4) – основной формуле нашего рекуррентного метода размещений или по формуле (7) замечания 1.

3. Детализация точного решения задачи методом коэффициентов.

Как оказалось (см. [2]) задача нахождения числа  $N = N(r, n, l)$  сводится к определению коэффициента при  $x^{r-n}$  в многочлене  $\varphi_n(x) = (1 + x + x^2 + \dots + x^{l-2})^n$ . Для этого будем строить рекуррентную процедуру вычисления коэффициентов при всех степенях  $x$  в многочлене  $\varphi_n(x) = (1 + x + x^2 + \dots + x^{l-2})^n$  (общей длиной  $L = k(l - 2) + 1$ ) по мере роста показателя степени  $k$  от 1 до  $n$ , когда на каждом шаге будем умножать результат предыдущего шага на многочлен  $(1 + x + x^2 + \dots + x^{l-2})$  с единичными коэффициентами при степенях  $x$  от 0 до  $l - 2$ . При этом проявляются закономерности, приводящие к ряду рекуррентных соотношений в разных диапазонах изменения  $j$  – показателя степени  $x$  в многочлене  $\varphi_k(x)$ .

Пусть  $a_{kj}$  – коэффициент при  $x^j$  в многочлене  $k(x)$ ,  $k = 1, n$ ;  $j = 0, (l - 2)$ . Тогда имеем следующие рекуррентные соотношения для разных значений  $j$ :

а)  $j \leq l - 1$ ,

или

$$a_{kj} = a_{k-1j} + a_{k,j-1};$$

$$a_{kj} = \sum_{i=1}^j a_{ki};$$

б)  $l - 1 < j \leq l^*$ , где  $l^* = L/2$ , если  $L$  четно, или  $l^* = [L/2] + 1$ , если  $L$  нечетно, и  $[Z]$  – целая часть числа  $Z$ :

$$a_{kj} = \sum_{i=j-(i-1)}^j a_{k-1}$$

в)  $j > l^*$

$$a_{kj} = a_{k(i-1)j}$$

то есть коэффициенты в  $\varphi_k(x)$ , равноотстоящие от концов множества  $(a_{k0}, a_{k1}, \dots, a_{k(l-2)+1})$  совпадают.

Пример.  $n = 4$ ;  $l - 2 = 3$ ;  $\varphi_n(x) = (1 + x + x^2 + x^3)^n$ ;  $\varphi_n(x) = (1 + x + x^2 + x^3)^k$ ;  $k = 1, n = 1, 4$ .

Вычисляем многочлены  $\varphi_1(x)$ ,  $\varphi_2(x)$ ,  $\varphi_3(x)$ ,  $\varphi_4(x)$  по (1) – (3) и непосредственно умножением:

$$k = 1) \varphi_1(x) = 1 + x + x^2 + x^3;$$

$$k = 2) \varphi_2(x) = 1 + 2x + 3x^2 + 4x^3 + 3x^4 + 2x^5 + x^6;$$

$$k = 3) \varphi_3(x) = 1 + 3x + 6x^2 + 10x^3 + 12x^4 + 12x^5 + 10x^6 + 6x^7 + 3x^8 + x^9;$$

$$k = 4) \varphi_4(x) = 1 + 4x + 10x^2 +$$

$$20x^3 + 31x^4 + 40x^5 + 44x^6 + 40x^7 + 31x^8 + 20x^9 + 10x^{10} + 4x^{11} + x^{12}$$

Детализация приближенного решения задачи.

Обсудим алгоритмизацию деталей приближенного вычисления искомого числа решений  $N = N(r, n, l)$  с использованием стохастического моделирования.

Предлагается моделировать сопровождающую схему размещений  $r$  неразличимых шаров по  $n$  различным ящикам без пустых ящиков с отбраковкой вариантов с превышением заданного уровня заполнения ящиков.

Этапы моделирования:

1) смоделировать схему сочетаний  $C_{r-1}^{n-1} L$  раз;

2) перевести результаты 1) в размещение шаров по ящикам в сопровождающей схеме;

3) отбраковать повторяющиеся размещения в 2) (останется  $L_1$  вариантов);

4) среди результатов 3) отбраковать результаты с превышением заданного

уровня заполнения хотя бы в одном ящике (останется  $L_2$  вариантов);

5) приближенно вычислить искомое число  $N$  по формуле:

$$N \approx \binom{L_2}{L_1} C_{r-1}^{n-1}.$$

Алгоритмы выполнения этапов 1) и 2).

Алгоритм 1. Этап 1). (Моделирование схемы сочетаний.)

Шаги моделирования схемы сочетаний  $C_{r-1}^{n-1}$ :

а) генерируем  $(r - 1)$  случайных чисел:  $\bar{R} = (R_1, \dots, R_{r-1})$ ;

б) строим из  $R$  вариационный ряд  $\bar{R}_{(C)} = (R_1, \dots, R_{(r-1)})$ ;

в) выписываем номера элементов  $(R_1, \dots, R_{n-1})$  из  $\bar{R}$  в векторе  $\bar{R}_{(C)}$  в порядке его просмотра – получаем возрастающую последовательность

Пример.  $r = 6$ ;  $n = 4$ ;  $r - 1 = 5$ ;  $n - 1 = 3$ ;  $\bar{R} = (0, 37; 0, 11; 0, 84; 0, 42; 0, 56)$ ;  $\bar{R}_{(C)} = (0, 11; 0, 37; 0, 42; 0, 56; 0, 84)$ . Тогда элементы  $(0, 37; 0, 11; 0, 84)$  из  $R$  в порядке просмотра вектора  $R$ ) занимают места  $\bar{m} = (1, 2, 6)$  – это результат моделирования.

Алгоритм 2. Этап 2. (Перевод результата этапа 1  $m$  в размещение шаров по ящикам в сопровождающей схеме.)

Заполнение  $n$  ящиков  $r$  шарами в указанной схеме без пустых ящиков в порядке их просмотра получается как разность между выбранными из множества  $(0, 1, \dots, r)$  элементами, если они не крайние, а для крайних: первого – это заполнение  $m_1$ , последнего – это заполнение  $r - m_{n-1}$

Пример 2. Пусть в Примере 1 результат первого этапа  $m = (1, 2, 6)$ . Тогда заполнение ящиков есть  $(1, 2 - 1, 6 - 2, 7 - 6) = (1, 1, 4, 1)$ .

Детализация приближенного нахождения чисел а)  $M_0$ ,  $M_1$  размещений  $r$  неразличимых шаров по  $n$  неразличимым ящикам а) без ограничений; б) без пустых ящиков при  $r \geq n$ .

Этапы моделирования:

смоделировать схемы сочетаний для сопровождающих схем

а)  $C_{n+r-1}^r$

$C_{r-1}^{n-1}$  при  $r \geq n$   $L$  раз;

2) перевести результаты 1) в размещение  $r$  шаров по  $n$  ящикам в сопровождающих схемах;

3) провести маркировку результатов 2), то есть получить результаты заполнений ящиков в виде а)  $(s_0, s_1, \dots, s_r)$  и б)  $(s_1, s_2, \dots, s_{r+n-1})$ , где  $s_i$  – число ящиков, содержащих ровно  $i$  шаров  $i = \overline{0, r}$ ;

4) отбраковать повторяющиеся результаты в 3) – останется  $L_1$  вариантов;

5) приближенно вычислить искомые числа  $M_1$  и  $M_0$  и по формулам:

$$M_0 \approx (L_1/L) C_{n+r-1}^r; \quad M_1 \approx (L_1/L) C_{r-1}^{n-1}$$

Алгоритмы выполнения этапа 2.

а) Алгоритм 3.

Требуется по результату этапа 1)  $m = (m_1, \dots, m_r)$  выписать заполнение  $n$  ящиков  $r$  шарами без ограничений с общим числом вариантов

$C_{n+r-1}^r$  по алгоритму: в порядке просмотра последовательности  $m$

1) подряд идущие невыбранные элементы с краю (от 1 до  $(n + r - 1)$ ) заменить тем же числом нулей (пустых ящиков), а не с краю заменить тем же числом нулей, уменьшенным на единицу (пустых ящиков);

2) подряд идущие выбранные элементы (от 1 до  $(n + r - 1)$ ) заменить их числом (заполнением ящика).

Пример 3. Пусть  $n = 4$ ,  $r = 3$  и получено  $m$ :

1.  $m = (2, 3, 5)$ . Тогда  $n - r + 1 = 6$ , и получаем заполнение ящиков:  $(0, 2, 1, 0)$ ;

2.  $m = (1, 3, 6)$ . Тогда  $n + r - 1 = 6$ , и получаем заполнение ящиков:  $(1, 1, 0, 1)$ .

в) В случае б) см. Алгоритм 2 с общим числом вариантов  $C_{r-1}^{n-1}$

Явная формула для  $N(r, n, k)$

$N(r, n, k)$  – число размещений  $r$  неразличимых частиц по  $n$  различным ящикам без пустых.

Обозначим  $L_j$  – число непустых ящиков, когда в каждом ящике меньше  $j$  шаров. Положим

$$L_{j_1} \leq L_j \leq L_{j_2}^*$$

$$\sum_{i=j_1}^{j_2} a_i = 0 \text{ при } j_1 > j_2 \quad (*)$$

$$l = 2) N(r, n, 2) = \begin{cases} 1, r = n \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$l = 3)$  По всем ящикам размещаем по одному шару, а остальные  $r-n$  шаров размещаем по всем  $n$  ящикам (возможно с пустыми), в каждом  $<2$  шаров, тогда:

$$N(r, n, 3) = \begin{cases} C_n^{r-n}, n \leq r \leq 2n \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

$l = 4)$  По всем ящикам размещаем по одному шару, а остальные  $r-n$  шаров размещаем по всем  $n$  ящикам (возможно с пустыми), в каждом  $<3$  шаров, тогда:

$$N(r, n, 4) = \begin{cases} \sum_{L_2} C_n^{L_2} N(r-n, L_2, 3) = \sum_{L_2} C_n^{L_2} C_{L_2}^{r-n-L_2}, n \leq r \leq 3n \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

где

$$\begin{cases} L_{2*} = \left[ \frac{r-n}{2} \right] + \begin{cases} 0, r-n : 2 \\ 1, \text{ в пр. случае} \end{cases} \\ L_2^* = \min(n, r-n) \end{cases}$$

$l = 5)$  По всем ящикам размещаем по одному шару, а остальные  $r-n$  шаров размещаем по всем  $n$  ящикам (возможно с пустыми), в каждом  $<4$  шаров, тогда:

$$N(r, n, 5) = \begin{cases} \sum_{L_3} C_n^{L_3} N(r-n, L_3, 4) = \sum_{L_3} \sum_{L_2} C_n^{L_3} C_{L_3}^{L_2} C_{L_2}^{r-n-L_2-L_3}, n \leq r \leq 4n \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

где

$$\begin{cases} L_{3*} = \left[ \frac{r-n}{3} \right] + \begin{cases} 0, r-n : 3 \\ 1, \text{ в пр. случае;} \end{cases} \\ L_3^* = \min(n, r-n) \end{cases} \quad \begin{cases} L_{2*} = \left[ \frac{r-n-L_3}{2} \right] + \begin{cases} 0, r-n-L_3 : 2 \\ 1, \text{ в пр. случае} \end{cases} \\ L_2^* = \min(n, r-n-L_3) \end{cases}$$

$l = 6)$  По всем ящикам размещаем по одному шару, а остальные  $r-n$  шаров размещаем по всем  $n$  ящикам (возможно с пустыми), в каждом  $<5$  шаров, тогда:

$$N(r, n, 6) = \begin{cases} \sum_{L_4} C_n^{L_4} N(r-n, L_4, 5) = \sum_{L_4} \sum_{L_3} \sum_{L_2} C_n^{L_4} C_{L_4}^{L_3} C_{L_3}^{L_2} C_{L_2}^{r-n-L_2-L_3-L_4}, n \leq r \leq 5n \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

где

$$\begin{cases} L_{4*} = \left[ \frac{r-n}{4} \right] + \begin{cases} 0, r-n : 4 \\ 1, \text{ в пр. случае;} \end{cases} \\ L_4^* = \min(n, r-n) \end{cases} \quad \begin{cases} L_{3*} = \left[ \frac{r-n-L_4}{3} \right] + \begin{cases} 0, r-n-L_4 : 3 \\ 1, \text{ в пр. случае} \end{cases} \\ L_3^* = \min(n, r-n-L_4) \end{cases} \\ \begin{cases} L_{2*} = \left[ \frac{r-n-L_3-L_4}{2} \right] + \begin{cases} 0, r-n-L_3-L_4 : 2 \\ 1, \text{ в пр. случае} \end{cases} \\ L_2^* = \min(n, r-n-L_3-L_4) \end{cases} \end{cases}$$

$l = k)$  (Общий случай) По всем ящикам размещаем по одному шару, а остальные  $r-n$  шаров размещаем по всем  $n$  ящикам (возможно с пустыми), в каждом  $<(k-1)$  шаров, тогда

$$N(r, n, k) = \begin{cases} \sum_{L_{k-2}} \sum_{L_{k-3}} \dots \sum_{L_2} C_n^{L_{k-2}} C_{L_{k-2}}^{L_{k-3}} \dots C_{L_2}^{L_3} C_{L_2}^{r-n-\sum_{i=2}^{k-2} L_i}, n \leq r \leq (k-1)n \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

$$\text{где, с учетом (*): } \begin{cases} L_j = \left\lfloor \frac{r - n - \sum_{i=j+1}^{k-2} L_i}{j} \right\rfloor + \begin{cases} 0, r - n - \sum_{i=j+1}^{k-2} L_i \div j \\ 1, \text{ в противном случае} \end{cases} \\ L_j^* = \min(n, r - n - \sum_{i=j+1}^{k-2} L_i) \end{cases}$$

### Литература

1. Энатская Н.Ю., Хакимуллин Е.Р. Стохастическое моделирование, М., МИЭМ, 2009.
2. Виленкин Н.Я. Комбинаторика, М., Наука, 1969.

## COMPLETE PULSE FEATURE EXTRACTION FOR RADAR SIGNALS BASED ON EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION AND HILBERT TRANSFORM

Sergei Shulga, Konstantin Biloshenko, Guo Qiang, Nan Pulong, Wan Jian  
*V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkov, Ukraine; College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, China*

**Abstract:** A novel method for extracting complete pulse features of radar signals is presented. For the radar pulse sequences received by radar interception receiver, the Radio Frequency (CF) and Time of Arrival (TOA) of all pulses form a 2-dimensional information sequence. In complex and intensive electromagnetic environment, TOA of pulses distributes unevenly, randomly and nonstationary, for which to directly analyze such a time series is difficult. This work applies Gaussian noise insertion and structure function to the received complete pulse sequences respectively such that the equalization of time intervals and correlation processing are accomplished. The components with different frequency in the derived structure function series are separated using Empirical Mode Decomposition (EMD). And Hilbert transform and bandwidth detection are introduced to determine the signal to be measured and extract the changing feature of RF. Experimental results indicate that the proposed methodology is able to extract the slippage frequency of slippage signal effectively in the case that multiple radar pulse sequences overlap.

**Keywords:** Gaussian noise insertion; structure function; Empirical Mode Decomposition; feature extraction

### 1 Introduction

In complex and dense signal environment, radar signal sorting is the core technology of radar signal detection system. Traditional sorting technologies usually depend on feature parameters such as Time of Arrival (TOA), Radio Frequency (RF), Pulse Width (PW), Angle of Arrival (AOA), Pulse Amplitude (PA)[1][2]. However, with the rapid development of radar technology, the number of emitters increases dramatically. That results in the consequences that signals overlaps more severely, the modulation forms of signals become more complicated. Many new radar systems are simultaneously provided with slippage, transition and random agility of different parameters including RF, PW, Pulse Repetition Interval (PRI) and so on. And the between-class boundary of signals described by conventional feature parameters overlaps severely as well. Therefore, the radar signal sorting based on 5 traditional parameters is no more applicable in modern electronic battlefield.

Recent methods for extracting feature parameters of radar signals include atom decomposition[3][4], ambiguity function[5], phase difference[6] and non-ambiguity phase restoral[7]. Directing at the changing characteristics of instantaneous radar pulse parameters, this work exploits 2-dimensional feature information comprised of RF and TOA and presents an approach for extracting complete pulse feature of radar signals based on EMD and Hilbert

transform. In this paper, a periodic structure function series can be achieved first by preprocessing, i.e. insert Gaussian noise into original radar pulse sequence to equalize the intervals between pulses and do correlation processing utilizing structure function. Next, adopting EMD, the function series derived is departed to several Intrinsic Mode Functions (IMFs). Then an attempt is made to apply Hilbert transform to each IMF. Detecting the bandwidth of time-frequency spectrum of each IMF, we can assure that the IMF, bandwidth of which is the narrowest, corresponds to the slippage signal. Simulation results show the effectiveness of the approach.

## 2 Preprocessing

### 2.1 Gaussian Noise Insertion

The RF and TOA parameters constitute a 2-dimensional information series in radar pulse sequence received by radar interception receiver. It is troublesome to directly analyze such a time series because the distribution of TOA in this series is uneven, random, as well as nonstationary. For this reason, we change original time series into a new one that has equal time intervals by Gaussian noise insertion.

Specific procedures are as follows: suppose  $k_1$  is the serial number of pulse. The domain of  $k_1$  is  $[1, K_1]$ , where  $K_1$  represents the total number of pulses. The RF and TOA parameters of radar complete pulses received are defined to be functions with respect to  $k_1$ , and denoted to be  $f(k_1)$  and  $T(k_1)$  respectively.

The mean value of the RF of sequence can be expressed as  $\bar{f}$  :

$$\bar{f} = \frac{1}{K_1} \sum_{k=1}^{K_1} f(k_1) \quad (1)$$

define the maximum range of  $f(k_1)$  that acts on  $[1, K_1]$  as  $R_f$  :

$$R_f = \sup_{1 < i, j < K_1} |f(i) - f(j)| \quad (2)$$

And the noise to be inserted follows Gaussian distribution,

$$X \sim N(\bar{f}, (\frac{R_f}{6})^2) \quad (3)$$

where  $\bar{f}$  denotes the expectation of Gaussian distribution,  $R_f$  denotes confidence interval. And the upper percentile of Gaussian distribution is  $3\delta$  ( $\delta$  represents the standard deviation), i.e. the degree of confidence is 99.7%, so the variance of Gaussian distribution is

$$\delta^2 = (\frac{R_f}{6})^2$$

given by

To guarantee that the time series inserted by Gaussian noise is equal-interval and as short as possible, we let the greatest common divisor,  $G$ , be the interval of inserting Gaussian noise

$$G = \text{gcd}[T(k_1) - T(k_1 - 1)] \quad 1 < k_1 \leq K_1 \quad (4)$$

Hence the RF of new time series can be attained:

$$S_1(k_2) = \begin{cases} f(k_1) & k_2 = T(k_1)/G \\ X & \text{other} \end{cases} \quad (5)$$

where  $k_2 \leq K_2 = T(k_1)/G$ ,  $k_2$  and  $K_2$  represent the serial number and total number of inserted time series respectively.



Figure 1 shows the original radar pulse sequence, Figure 2 the noise-inserted pulse sequence. It is obviously illustrated that after being inserted Gaussian noise, original pulse sequence with random TOA distribution changes into the pulse sequence with equal intervals that is easy to be analyzed.

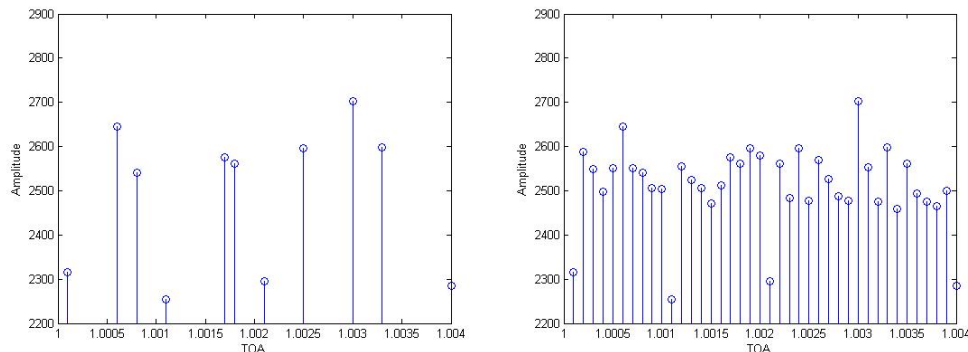


Figure 1 Original pulse sequence Figure 2 Noise-inserted sequence

## 2.2 Structure Function

The SNR of the random process, defined as  $S_1(m)$  ( $m = k_2 \times G$  is TOA), derived above is much low, hereby the structure function involved in fractal geometry is introduced to  $S_1(m)$  so that the correlation processing reduce the noise and enhance the energy of weak periodic signal in random process[8].

Taking the incremental variance of random process  $S_1(m)$  as structure function  $S_2(h)$  and employing the structure function to the theory of Fractional Brownian motion (FBM), we have

$$S_2(h) = \left\langle |S_1(x+k) - S_1(x)|^2 \right\rangle \sim |k|^{2(2-D)} \quad (6)$$

where  $\langle \dots \rangle$  denotes mean of time,  $D$  is the fractal dimension,  $h$  is process increment. As a statistic of the random process, the structure function  $S_2(h)$  represents the variance of increment of  $S_1(m)$ . The structure function  $S_2(n)$  of noise-inserted random series  $S_1(m)$  is defined to be:

$$S_2(n) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |S_1(i+n) - S_1(i)|^2 \quad (7)$$

where  $M = K_2 - n$ ,  $n_{\max}$ , the length of the structure function series  $S_2(n)$ , can be chosen properly as long as it satisfies  $n_{\max} < K_2$ .  $K_2$  denotes the length of random series  $S_1(m)$ .

We can further calculate the structure function of  $S_2(n)$  to improve the SNR, since the SNR of original series is low, in addition, there exists no impact on the frequency characteristic of periodic signal in random process after multiple correlation processing.

To validate the effectiveness of the correlation processing involving structure function, suppose a mixture of a sinusoidal signal  $x = \sin(314t)$  and Gaussian white noise  $noise$ . Then we have  $y = x + noise$  with SNR=-10dB, sampling at  $F_s = 10^4$  Hz. This is illustrated in Figure 3. Figure 4 shows the structure function after correlation processing once and Figure 5 shows the structure function after correlation processing twice. Obviously, structure function

has excellent denoising effect when SNR is low and can take on the periodicity of useful signal submerged in noise.

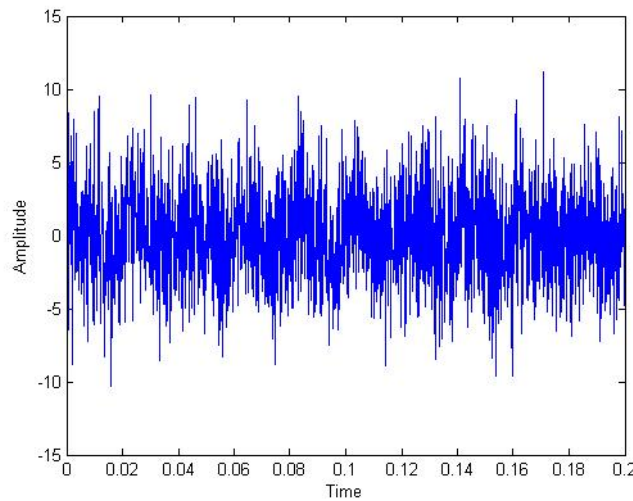


Figure 3 The mixture of sinusoidal signal and Gaussian White noise

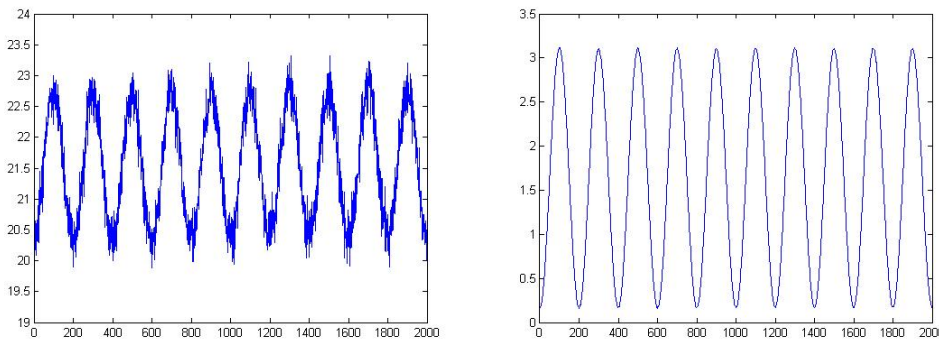


Figure 4 The structure function correlation processing once

Figure 5 The structure function correlation processing twice

From the characteristic of curve in Figure 5, obtaining the mean value of each interval of adjacent minima (maxima), we work out the frequency of periodic signal using

$$f = \frac{Fs}{\frac{1}{N-1} |n_{\min 1} - n_{\min N}|} = \frac{(N-1) \times Fs}{|n_{\min 1} - n_{\min N}|} \quad (8)$$

where  $N$  is the number of minima of curve and  $n_{\min i}$  is the  $i$ th minimum. Then the frequency of sinusoidal signal is attained  $f = \frac{10 \times 10^4}{2000} = 50\text{Hz}$ . The result is coincide with physical truth.

### 3 Feature Extraction

#### 3.1 Empirical Mode Decomposition

The structure function  $S_2(n)$  after correlation processing is still a nonstationary process. Here EMD is adopted so as to decompose the structure function into IMF components containing high-frequency components and low-frequency components[9].

In fact, EMD is a process that the components with different fluctuation or trend are separated by turn. The scale features of different IMF components differ. That makes for analyzing the signal particularly.

IMF components have to satisfy the following two conditions: (1) in the whole data set, the number of extrema and the number of zero crossings must either equal or differ at most by one; (2) at any point, the mean value of the envelope defined by the local maxima and the envelope defined by the local minima is zero.

In the following, we specify the EMD process of the structure function series  $S_2(n)$  that is obtained by preprocessing radar complete pulses. This process involves the envelopes of local maxima and local minima of  $S_2(n)$ . Once all of extrema are known, the cubic spline function connecting all the local maxima shapes the upper envelope. The lower envelope can be gained by repeating same procedure for all the local minima. Define the mean value of the upper and lower envelopes as  $m_1$ . Subtracting  $m_1$  from  $S_2(n)$ , we derive

$$S_2(n) - m_1 = h_1 \quad (9)$$

If  $h_1$  does not satisfy two basic conditions of IMF mentioned above, it has to be 'sifted' repetitively. Take  $h_1$  as data set and let  $m_{11}$  be the mean of envelope of  $h_1$ . This procedure can be expressed as

$$h_{11} = h_1 - m_{11} \quad (10)$$

In order to remove ride waves and make the data more symmetrical, we must repeat the 'sifting' process until the kth  $h_{1k} = h_{1(k-1)} - m_{1k}$  meets two basic conditions of IMF. And define  $IMF_1 = h_{1k}$ , i.e.  $IMF_1$  is the first IMF component separated from the original structure function series  $S_2(n)$ .

There are two effects of the 'sifting' process: the first effect is to remove ride waves; the other is to smooth nonstationary amplitude. Nevertheless, useful fluctuation of amplitude will be removed when the second effect does its best. We have to limit the stopping condition of the 'sifting' process so that IMF is meaningful physically. The stopping condition can be defined to be the standard variance  $SD$  of  $h_{1(k-1)}$  and  $h_{1k}$ :

$$SD = \sum_{t=0}^T \frac{|h_{1(k-1)} - h_{1k}|^2}{h_{1(k-1)}^2} \quad (11)$$

When  $SD$  is less than the setting value, the 'sifting' process will stop. Norden E. Huang suggested that  $SD$  be setted to be 0.2~0.3, since the difference is equivalent to only five out of 1024 points from the same data if contrasting two decomposition functions by the Fourier transform. Thus, it is relatively strict for  $SD$  to range from 0.2 to 0.3.

From the 'sifting' process above, we see that  $IMF_1$  includes the component with smallest scale or shortest period in the structure function series  $S_2(n)$ . Original data  $S_2(n)$  minus  $IMF_1$  is remaining component  $r_1$ :

$$r_1 = S_2(n) - IMF_1 \quad (12)$$

Supposing that there still exist several long-periodic components in  $r_1$ , repeat the 'sifting' process for  $r_1$  which is considered as a new data set. Repeating the procedures above, we have

$$\begin{aligned}
 r_2 &= r_1 - IMF_2 \\
 r_3 &= r_2 - IMF_3 \\
 &\vdots \\
 r_n &= r_{n-1} - IMF_n
 \end{aligned} \tag{13}$$

The decomposition stops when  $r_n$  is monotonous in that monotonous function cannot be decomposed further. The last remaining component  $r_n$  is regarded as trend component. Combine Eq (12) and Eq (13) and express  $S_2(n)$  as:

$$S_2(n) = \sum_{j=1}^n IMF_j(n) + r_n(n) \tag{14}$$

Thus, the structure function series which is obtained by preprocessing the 2-dimensional time series comprised of RF and TOA are decomposed into a IMF set and remaining component.

### 3.2 Hilbert Transform and Bandwidth Detection

For the IMF components above, it is difficult to directly and precisely distinguish the IMF corresponding to the periodic signal to be detected. The combination of Hilbert transform and bandwidth detection is employed so as to accomplish the detection of periodic signal<sup>[9]</sup>.

Hilbert transform is linear transform emphasizing on local properties. The introduction of Hilbert transform aims at achieving the instantaneous frequency spectrum that makes straight physical sense.

Transforming each IMF component to time-domain signal with  $t = n / Fs$ , we work out the Hilbert transform of  $i$ th IMF component and the analytic signal corresponded.

$$H[IMF_i(t)] = IMF_i(t) * \frac{1}{\pi t} = P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{IMF_i(t-\tau)}{\pi \tau} d\tau \tag{15}$$

$$z_i(t) = IMF_i(t) + jH[IMF_i(t)] = a_i(t) \exp[j\varphi_i(t)] \tag{16}$$

where  $P$  denotes Cauchy principal value integration.  $IMF_i(t)$  and  $H[IMF_i(t)]$  constitute the real and imaginary part of analytic signal  $z_i(t)$ .  $a_i(t) = \sqrt{IMF_i^2(t) + H^2[IMF_i(t)]}$ ,  $\varphi_i(t) = \arctan(H[IMF_i(t)] / IMF_i(t))$  are the amplitude function and phase function of  $IMF_i(t)$ .

Eq (15) indicates that the Hilbert transform of  $IMF_i(t)$  is the convolution of  $IMF_i(t)$  and  $1/\pi t$ , which emphasize the local property of  $IMF_i(t)$ . As polar form, Eq (16) further highlights the local property. Based on Eq (16), instantaneous frequency is defined as

$$\omega_i(t) = \frac{d\varphi_i(t)}{dt} \tag{17}$$

If the frequency spectrum  $Z_i(\omega_i)$  of analytic function  $z_i(t)$  exists, define the mean frequency of  $IMF_i(t)$ :

$$\langle \omega_i \rangle = \int \omega_i |Z_i(\omega_i)|^2 d\omega_i \tag{18}$$

Eq (18) can also be expressed as:

$$\begin{aligned}
 \langle \omega_i \rangle &= \int z_i^*(t) \frac{1}{j} \frac{d}{dt} z_i(t) dt \\
 &= \int [\hat{\phi}_i(t) - j \frac{\hat{a}_i(t)}{a_i(t)}] a_i^2(t) dt \\
 &= \int \hat{\phi}_i(t) a_i^2(t) dt
 \end{aligned} \tag{19}$$

where  $\hat{\phi}_i(t)$  is deemed as instantaneous frequency. On the basis above, the bandwidth coefficient of  $IMF_i(t)$  is defined to be :

$$\begin{aligned}
 v_i^2 &= \frac{(\omega_i - \langle \omega_i \rangle)^2}{\langle \omega_i \rangle^2} = \frac{1}{\langle \omega_i \rangle^2} \int (\omega_i - \langle \omega_i \rangle)^2 |Z_i(\omega_i)|^2 d\omega_i \\
 &= \frac{1}{\langle \omega_i \rangle^2} \int z_i^*(t) \left( \frac{1}{j} \frac{d}{dt} - \langle \omega_i \rangle \right)^2 z_i(t) dt \\
 &= \frac{1}{\langle \omega_i \rangle^2} \left[ \int \hat{a}_i^2(t) dt + \int (\hat{\phi}_i(t) - \langle \omega_i \rangle)^2 a_i^2(t) dt \right]
 \end{aligned} \tag{20}$$

Observing Eq (20), we conclude that the narrower the bandwidth of  $IMF_i(t)$  is, the smaller the bandwidth coefficient  $v_i^2$  is. On the contrary,  $v_i^2$  becomes larger. According to the fact that the periodic signal to be detected is narrowband in frequency-domain, the bandwidth coefficient of the corresponding IMF component is close to zero theoretically. The phase rate, i.e. the instantaneous frequency, is not constant in that each IMF component, which is attained by EMD decomposition of nonstationary series  $S_2(n)$ , is nonstationary. This leads to widening bandwidth, hence we decide the IMF with minimum bandwidth as the component corresponding to the signal to be detected.

#### 4 Experiments

The efficiency and accuracy of the presented approach are evaluated based on experiments involving two sets of radar pulse sequences. Both sets are comprised of 4 radar signals. In first set, the RF parameter of Radar 1 changes according to sine regulation, the frequency is 70Hz; the RF parameters of Radar 2 and Radar 4 are randomly agile, and that of Radar 3 switches randomly among 10 setting frequency points. For the second set, the RF parameter of Radar 1 changes according to sine regulation, the frequency is 85Hz; the RF parameters of Radar 2 and Radar 4 switch randomly among setting frequency points, and that of Radar 3 is randomly agile. They are listed in Table 1 and Table 2.

Table 1 Simulation data of the first set of radar complete pulse sequence

Radar	Radio Frequency /MHz	Pulse Repetition Frequency/Hz	Signal pulse count
1	2300 + 50sin(2π × 70t) (slippage frequency)	1500~1510 (PRF jitter)	1000
2	2550~2650 (agile frequency)	400~600 (PRF jitter)	1000
3	2050~2150 (jumping frequency)	1200~1500 (PRF stagger)	1000

4	2350~2550 (agile frequency)	1000~1200 (PRF jitter)	1000
---	--------------------------------	---------------------------	------

Table 2 Simulation data of the second set of radar complete pulse sequence

Radar	Radio Frequency /MHz	Pulse Repetition Frequency/Hz	Signal pulse count
1	$2500 + 100\sin(2\pi \times 85t)$ (slippage frequency)	1200~1220 (PRF jitter)	1000
2	2550~2650 (jumping frequency)	400~500 (PRF jitter)	1000
3	2050~2150 (jumping frequency)	1000~1200 (PRF stagger)	1000
4	2350~2550 (agile frequency)	800~1100 (PRF jitter)	1000

Two sets of original pulse sequence are illustrated in Figure 6 and Figure 7. Inserting Gaussian noise into two sets of radar pulse sequences as the way showed in Eq (5), we derive two sets of equal-interval time series,  $S_1(m)$  and  $S_1'(m)$ , that are showed in Figure 8 and Figure 9.

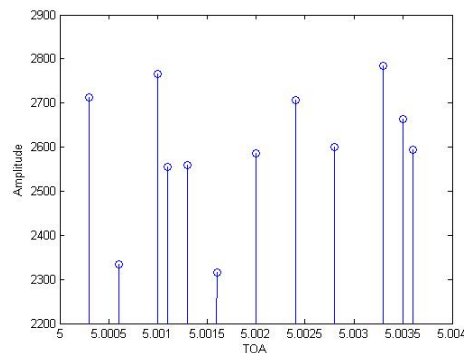
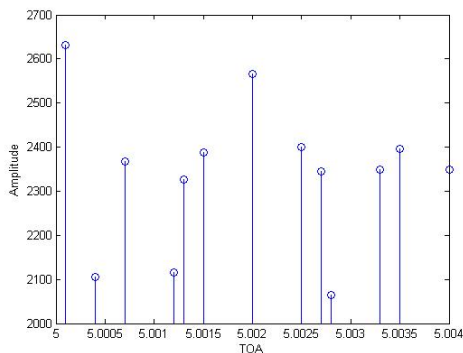


Figure 6 Original pulse sequence in first set of radar complete pulse sequence  
 Figure 7 Original pulse sequence in second set of radar complete pulse sequence

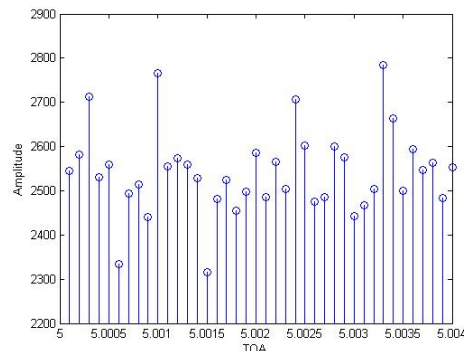
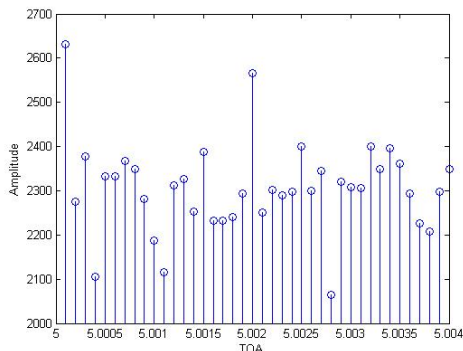


Figure 8 Noise-inserted sequence of first set of radar complete pulse sequence  
 Figure 9 Noise-inserted sequence of second set of radar complete pulse sequence

Then the correlation processing of  $S_1(m)$  and  $S_1'(m)$  can be repeated more than once so that denoising effect is better and low-energy periodic component is highlighted. Take into account that too much time-consuming appears due to enormous amount of calculation, we choose to repeat correlation processing three times as a result of trade-off. The structure function series  $S_2(n)$ ,  $S_2'(n)$  after correlation processing are illustrated in Figure 10 and Figure 11.

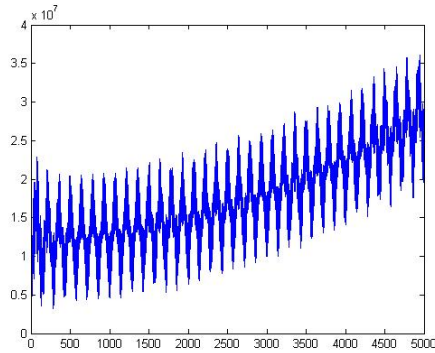


Figure 10 The structure function  $S_2(n)$  after 3 correlation processing

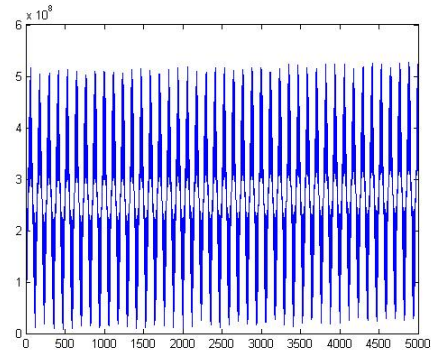


Figure 11 The structure function  $S_2'(n)$  after 3 correlation processing

Two sets of signal sequences after preprocessing are decomposed by EMD, and the results are shown in Figure 12 and Figure 13.

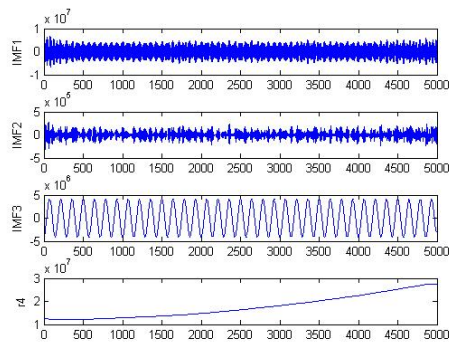


Figure 12 All of IMF components derived by the EMD process of  $S_2(n)$

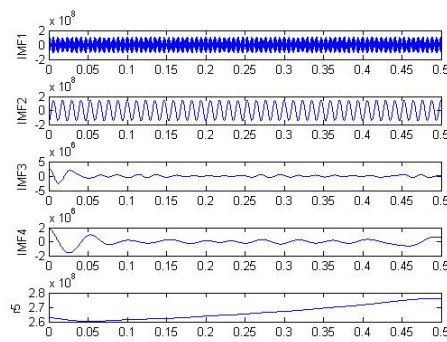


Figure 13 All of IMF components derived by the EMD process of  $S_2'(n)$

We determine the bandwidth coefficient of each IMF component of  $S_2(n)$  and  $S_2'(n)$  with Eq (20). Table 3 lists these bandwidth coefficients. By comparison, the bandwidth of  $IMF_3$  is the narrowest in IMF components of  $S_2(n)$ , and that of  $IMF'_2$  is the narrowest in IMF components of  $S_2'(n)$ . Therefore, it can be concluded that  $IMF_3$  is the periodic signal to be detected in the first set of radar pulse sequence, and  $IMF'_2$  in the second set of radar pulse sequence.

Table 3 The bandwidth coefficient of each IMF component of  $S_2(n)$  and  $S_2'(n)$

	$\nu_1^2$	$\nu_2^2$	$\nu_3^2$	$\nu_4^2$
IMF components of $S_2(n)$	14.2	30.6	7.2	
IMF components of $S_2'(n)$	318.1	25.9	203.1	305.8

To examine the accuracy of detection results, we extract  $IMF_3$  and  $IMF'_2$  that are illustrated in Figure 14 and Figure 15 and obtain the spectrum of  $IMF_3$  and  $IMF'_2$  respectively by means of Fast Fourier Transform (FFT). They are demonstrated in Figure 16 and Figure 17. From Figure 16 and Figure 17, we see that in the first set of radar pulse sequences the frequency of  $IMF_3$  is 70Hz and in the second set the frequency of  $IMF'_2$  is 85Hz. The results are consistent with the setting frequency.

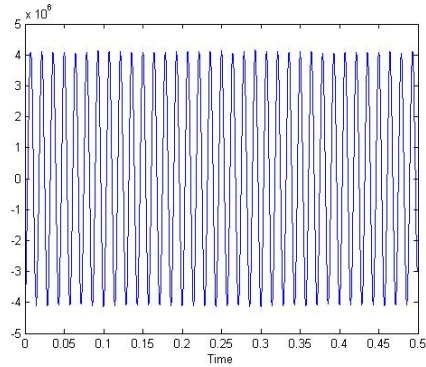


Figure 14 The time-domain chart corresponding to  $IMF_3$

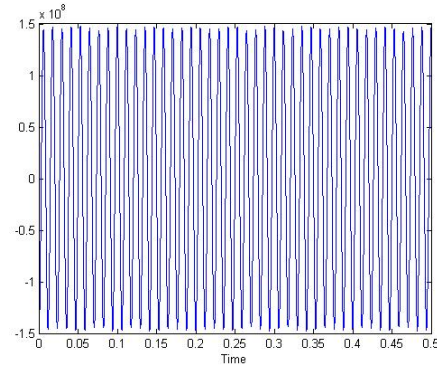


Figure 15 The time-domain chart corresponding to  $IMF'_2$

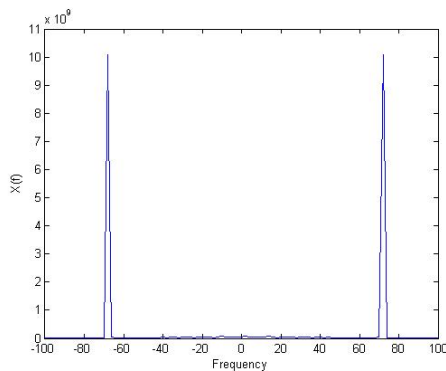


Figure 16 The frequency-domain chart corresponding to  $IMF_3$

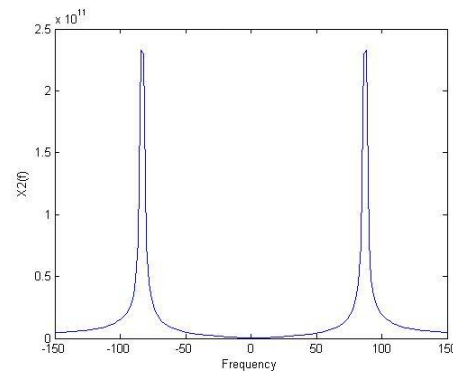


Figure 17 The frequency-domain chart corresponding to  $IMF'_2$

#### 4 Conclusion

Signal sorting is key technology in the field of electronic countermeasure and premise of identification and analysis of radar emitter signals. The difficulty lies in that along with the continuous increasing of signal density and rapid augment of the number of radars, different radar signals overlaps more severely, as well as the characteristics of radar emitter signals intercepted are unknown. As a result, the traditional methods that involve 5 parameters (including RF, PW, PRF PA and DOA) and sort signals by turn works much inefficiently. In the case that parameters overlaps much severely in certain range, even clustering method is also inefficient. Combining EMD and bandwidth detection for the first time, this work extract the parameter changing characteristics of pulses in dense and complex complete pulse sequences. An important sorting feature hidden in complete pulse sequences, which is the slippage frequency of slippage periodic signal, is extracted. This method can also be adapted to analyze the 2-dimensional information constituted with other sorting parameter and TOA, not just RF and TOA.

#### 5 Acknowledgement



National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60872108), in part by the Fundamental Research Funds for the Central Universities (Grant No. HEUCFZ1015), in part by Key Science and Technology Project of Harbin (Grant No. 2011AA2CG007-2), in part by Chinese Postdoctoral Science Foundation Funded Projects (No. 20080430903), in part by Chinese Postdoctoral Science Foundation Specially Funded Projects (No. 200902411), in part by Heilongjiang Post-doctoral Research Foundation (No. LBH-Q10140).

### References

- [1] D. G. Wilkinson, A. Watson. Use of metric techniques in ESM data processing. *Proc. of IEE Radar and Signal Processing: Part F*, 1985, 132(7): 121-125.
- [2] D. J. Milojevic, B. M. Popovic. Improved algorithm for the deinterleaving of radar pulses. *Proc. of IEE Radar and Signal Processing: Part F*, 1992, 139(1): 98-104
- [3] Lopez-risueno G, Grajal J, Yeste-Ojeda O, et al. Atomic decomposition-based radar complex signal interception[J]. *IEE Proc. Radar Sonar Narig*, 2003, 150(4): 323-331
- [4] M. Zhu, W. D. Jin, L. Z. Hu, et al. Cascade Feature extraction for radar emitter signals based on atomic decomposition[J]. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 2007, 42(6): 659-664
- [5] Y. W. Pu, et al. Extracting the main ridge slice characteristics of ambiguity function for radar emitter signal[J]. *Infrared Millim Waves*, 2008, 27(2): 133-137
- [6] Z. T. Huang, Y. Y. Zhou, W. L. Jiang. The automatic analysis of intra-pulse modulation characteristics based on the relatively nonambiguity phase restoral[J]. *J. of China Institute of Communication*, 2003, 24(4): 153-160
- [7] Y. M. Wei, Z. T. Huang, F. H. Wang, et al. The analysis of PSK modulation rules based on the coherent integration of single pulse[J]. *Signal Processing*, 2006, 22(2): 281-284
- [8] K. FALCONER. *Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications*[M]. Chichester: John Wiley and Sons. 1990
- [9] N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. *Proc R Soc Lond A*, 1998 454: 903-995

## О НОВЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ КОНЕЧНОГО ВРАЩЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Переляев С.Е.

Москва, ОАО «Концерн «Авионика»

### New Kinematic Parameters of the Finite Rotation of a Solid. Perelyaev S.E.

**Введение.** Представлено и описано новое семейство кинематических параметров ориентации твердого тела (глобальных и локальных). Все кинематические параметры получены методом отображения переменных на соответствующее ориентированное подпространство (гиперплоскость). В частности, для классических направляющих косинусов углов, задающих ориентацию двух систем координат, показан способ стереографического проецирования точки, принадлежащей пятимерной сфере  $S^5 \subset R^6$ , на ориентированную гиперплоскость  $R^5$ . Описано семейство глобальных кинематических параметров, которые получены методом отображения пятимерных кинематических параметров Хопфа, заданных в пространстве  $R^5$ , на четырехмерное ориентированное подпространство  $R^4$ . На основании теоремы о

гомеоморфизме двух топологических пространств (четырёхмерной сферы  $S^4 \subset R^5$  с одной выколотой точкой и ориентированной гиперплоскости  $R^4$ ) устанавливается соответствие между пятимерными и четырёхмерными кинематическими параметрами, заданными в соответствующих пространствах. Проекционным методом получены кинематические дифференциальные уравнения вращения, соответствующие пятимерным и четырёхмерным параметрам ориентации. Все новые кинематические параметры ориентации тела позволяют с помощью соответствующих им кинематическим уравнениям решить классическую задачу Дарбу – определить текущее угловое положение тела в трёхмерном пространстве по известной (измеренной) угловой скорости вращения объекта и заданному его начальному положению.

**1. Постановка задачи.** Пусть абсолютно твердое тело с одной закрепленной точкой, которая в первый момент совпадает с началом инерциальной системы координат  $OX_1X_2X_3$ , жестко связано с правой подвижной системой координат  $OY_1Y_2Y_3$ . Поставим задачу определения пространственного положения такого тела в пространстве  $R^3$  с помощью новых глобальных параметров ориентации. С математической точки зрения ее следует рассматривать как методы вложения многообразия  $SO(3)$  (множества всех поворотов твердого тела) в  $n$ -мерное пространство  $R^n$ . Эта задача определения ориентации тела в  $R^3$ , как проблема параметризации группы  $SO(3)$ , рассмотрена ранее и достаточно подробно изложена (см., например, [1,2]). Так же были проанализированы и описаны [3-4] основные методы глобальной взаимно однозначной параметризации группы вращений  $SO(3)$ . Заметим, что кроме классических методов параметризаций – девятимерной (с помощью ортогональной  $(3 \times 3)$  матрицы  $A \equiv X$  направляющих косинусов и шестимерной (с помощью двух столбцов той же матрицы), известна модифицированная шестимерная параметризация [3], вводимая для описания малоизвестной пятимерной параметризации Хопфа.

Конфигурационное пространство  $SO(3)$ , образованное всеми возможными положениями твердого тела с одной неподвижной точкой, при стандартном вложении в пространство  $R^6$  задает открытое множество точек, расположенных на самой сфере  $S^5 \subset R^6$ . Обозначая это множество через  $M^5 (M^5 \subset S^5)$ , имеем соответствующее топологическое пространство  $M^*$ . Действительно, группа  $SO(3)$  тесно связана с пятимерной сферой  $S^5 \subset R^6$ . В частности,  $M^*$  – множество точек поверхности сферы  $S^5$  и одновременно ориентированное подпространство – многообразие  $SO(3) \subset S^5$ . Также будем считать, что сфера  $S^5$  вложена в пространство  $R^6$  стандартным образом, т.е. как множество точек, заданное уравнением

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2 = 1 \quad (1.1)$$

При этом множество  $M^*$  сопоставляет с каждой точкой сферы  $S^5$  некоторый пятимерный вектор ориентации, который может быть проведен через любые две точки ее открытой поверхности.

Ниже рассмотрим новые кинематические параметры ориентации твердого тела, полученные методом стереографического проектирования точек сфер  $S^5 \subset R^6$  и  $S^4 \subset R^5$  (и идентичных им векторов) на ориентированные гиперплоскости подпространств  $R^5$  и  $R^4$  соответственно.

**2. Пятимерная сфера, шести- и пятимерные параметры ориентации.** Для задания новых кинематических параметров, кратко напомним модифицированную шестимерную параметризацию и процедуру вложения группы  $SO(3)$  в пятимерное пространство  $R^5$  (см. [3,4]). Введем шестимерный вектор как вектор-столбец  $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \tilde{x}_4, \tilde{x}_5, \tilde{x}_6)^T$ , элементы которого состоят из первых двух столбцов перенормированной матрицы ориентации  $A \equiv X$ , то есть, вектор-столбец  $\tilde{x} = X/\sqrt{2}$ . При этом сама матрица  $X \in SO(3) \subset R^6$ .

Поскольку рассматриваемая здесь матрица поворота  $A \equiv X$  ортогональная ( $X^T \equiv X^{-1}$ ), то для ее элементов можно составить шесть известных [1,3] независимых условий связи, которые учитывают ортогональность базовых осей тела в триэдре. Используя эти условия и введя специально перенормированные направляющие косинусы углов, задающих ориентацию двух базисных векторов (двух триэдров – соответствующих систем координат, которые введены выше), с учетом нормировки  $X/\sqrt{2}$  получим равенства

$$\tilde{x}_1^2 + \tilde{x}_2^2 + \tilde{x}_3^2 = 1/2 \quad \tilde{x}_4^2 + \tilde{x}_5^2 + \tilde{x}_6^2 = 1/2 \quad \tilde{x}_7^2 + \tilde{x}_8^2 + \tilde{x}_9^2 = 1/2 \quad (2.1)$$

Известно, что для глобальной взаимно однозначной параметризации необходимо всего шесть введенных выше направляющих косинусов углов. Отбрасывая в уравнениях связи (2.1) последнее уравнение и складывая первые два, можем представить их в виде

$$\tilde{x}_1^2 + \tilde{x}_2^2 + \tilde{x}_3^2 + \tilde{x}_4^2 + \tilde{x}_5^2 + \tilde{x}_6^2 = 1 \quad (2.2)$$

Анализ приведенных выше условий связи показывает, что специально перенормированный вектор параметров  $\tilde{x} \in R^6$ , соответствующий равенству (2.2), остался по сути тем же шестимерным вектором ориентации  $x \in R^6$ , элементы которого классические направляющие косинусы углов, хотя и отвечает другим условиям нормировки – (2.1) или (2.2). Поэтому вектор  $\tilde{x}$  состоит из шести перенормированных элементов – параметров ориентации (стандартных направляющих косинусов  $x_{ik}$  ( $i,k = 1,2,3$ ) углов двух систем координат), и для него справедливы следующие матричные тождества [4]:

$$\tilde{x}^T \tilde{x} = 1, \quad \tilde{x}^T J_i \tilde{x} = 0, \quad i = 1,2; \quad J_1 = \begin{vmatrix} E_3 & O_3 \\ O_3 & -E_3 \end{vmatrix}, \quad J_2 = \begin{vmatrix} O_3 & E_3 \\ E_3 & O_3 \end{vmatrix} \quad (2.3)$$

где  $E_3$  – единичная и  $O_3$  – нулевая ( $3 \times 3$ ) - матрицы. В равенствах (2.3) скалярное произведение  $\tilde{x}^T \tilde{x} = 1$ , оно представляет собой множество точек пятимерной сферы  $S^5$  единичного радиуса, вложенной стандартно в пространство  $R^6$ .

В рассматриваемом пространстве  $R^6$  перенормированных (специальным образом) параметров  $\tilde{x} \in (S^5 \setminus \{\alpha\})$  через две заданные точки – «северный полюс»  $N$  и текущую точку  $\tilde{x}$  ( $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \tilde{x}_4, \tilde{x}_5, \tilde{x}_6)$ ) на сфере  $S^5$  можно провести прямую линию до ее пересечения с ориентированной гиперплоскостью  $P\{(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \tilde{x}_4, \tilde{x}_5) \in R^5; \tilde{x}_6 = 0\}$ . Это означает, что существует стереографическая проекция точки  $\tilde{x}$  и соответствующего этой точке модифицированного вектора  $\tilde{x} \in M^* \subset S^5$  на ориентированную гиперплоскость  $P \subset R^5$ . Точка пересечения прямой с гиперплоскостью и представляет

собой искомым пятимерный вектор ориентации  $y \in P$ , который удовлетворяет следующему проекционному уравнению [3,4]:

$$y = \frac{V\tilde{x}}{1 - \alpha^T \tilde{x}} \quad (2.4)$$

где оператор проектирования  $V$  – прямоугольная  $(5 \times 6)$  - матрица, которая может быть представлена в виде двух подматриц:  $V = \|\mathbf{E}_{5 \times 5} \mid \mathbf{O}_{5 \times 1}\|$  ( $\mathbf{E}_5$  – единичная  $(5 \times 5)$  матрица).

Таким образом, уравнение (2.4) задает точку пересечения прямой, соединяющей определенную точку  $N(0,0,0,0,1)$  стереографической проекции и произвольную точку  $\tilde{x} \in M^*$  на сфере  $S^5 \subset R^6$  (единичного радиуса) с ориентированной в подпространстве  $R^5$  гиперплоскостью  $P \subset R^5$ .

Обратное отображение – инверсия, или проекция пятимерного вектора  $y$ , как точки, принадлежащей ориентированной гиперплоскости  $P \subset R^5$ , на сферу  $S^5 \subset R^6$ . Именно инверсия позволяет непосредственно найти введенный выше шестимерный вектор  $\tilde{x} \in R^6$ , для которого имеет место уравнение обратного проективного преобразования [4]

$$\tilde{x} = \frac{\alpha(y^T y - 1) + 2V^T y}{y^T y + 1} \quad (2.5)$$

Здесь следует кратко напомнить определенную геометрическую интерпретацию уравнения (2.5). Матрично-векторное произведение  $V^T y$  – шестимерный вектор, ортогональный радиусу, проходящему через «центр» стереографической проекции – «северный полюс»  $N$ . Линия, соединяющая точки  $V^T y$  и  $N$  (центр проекции), пересекает сферу  $S^5$  в определенной точке  $\tilde{x} \in M^*$  ( $M^* \subset R^6$  – открытое множество). При этом, если  $\tilde{x}$  – специальным образом перенормированный шестимерный вектор  $\tilde{x} \in M^*$ , то искомым пятимерный вектор ориентации  $y \in R^5$  должен удовлетворять двум уравнениям связи [4]

$$\alpha^T J_i \alpha (y^T y - 1)^2 + 4y^T V J_i \alpha (y^T y - 1) + 4y^T V J_i V^T y = 0, \quad i = 1, 2 \quad (2.6)$$

где  $J_i$  - матрицы, определенные выше в соотношениях (2.3).

Уравнение (2.4) стереографического проектирования перенормированного вектора  $\tilde{x} \in R^6$  на ориентированное подпространство  $R^5$  позволяет получить новый класс пятимерных кинематических параметров. Для решения этой задачи подставим полученные выше специальным образом перенормированные направляющие косинусы  $\tilde{x}$  углов ориентации двух базисов в уравнение (2.4).

После несложных преобразований имеем следующие пять новых кинематических параметров ориентации:

$$y_j = \tilde{x}_j / (1 - \tilde{x}_6), \quad j = 1, 2, \dots, 5 \quad (2.7)$$

для которых справедливы известные тождества: (2.2) и

$$(\tilde{x}_1^2 + \tilde{x}_2^2 + \tilde{x}_3^2) - (\tilde{x}_4^2 + \tilde{x}_5^2 + \tilde{x}_6^2) = 0.$$

В выражениях (2.7) параметр  $\tilde{x}_6 \neq 1$ , так как при заданном стереографическом проектировании прямая, проходящая через точку  $N(0,0,0,0,1)$  и текущую точку  $\tilde{x} \in S^5$  пересекает ориентированную гиперплоскость  $P \subset R^5$  в точке  $\tilde{x}_6 = 0$ .

Пятимерные кинематические переменные (2.7) лежат на сфере  $S^4 \subset R^5$  и имеют ту же размерность, что и перенормированные в соответствии с равенствами (2.1) или (2.2) классические направляющие косинусы  $X$  углов ориентации двух базисов (триэдров). Таким образом, здесь конечный поворот жестко связанного с телом ортогонального триэдра  $oY_1Y_2Y_3$  относительно неподвижного триэдра  $oX_1X_2X_3$  задается пятимерным вектором  $y \in R^5$ , который позволяет определять любую произвольную ориентацию тела.

Вектор такой размерности позволяет определять взаимно однозначно глобальную ориентацию произвольно вращающегося тела в трехмерном пространстве. Рассматриваемый способ задания ориентации отличается от наиболее распространенного метода задания конечных поворотов (ортогональное преобразование с помощью оператора поворота [1,2,3] – классической матрицы направляющих косинусов) меньшим всего на одну единицу числом параметров.

Получим кинематические дифференциальные уравнения вращения для введенных выше пятимерных параметров ориентации. Вычисляя производную пятимерного вектора параметров ориентации  $y \in R^5$  по времени  $t$ , получим [3,4] следующее кинематическое дифференциальное уравнение (КДУ):

$$\dot{y}'(t) = \left( \frac{1}{2}(y^T y - 1)E_5 - yy^T \right) VA_6 \alpha + VA_6 V^T y \quad (2.8)$$

Для реализации метода пятимерной параметризации в современных векторно-матричных процессорах необходимо знать аналитические выражения всех векторов и матриц, которые входят в правую часть этого уравнения.

Не останавливаясь на методах получения элементов таких преобразований, приведем выражения всех матриц, необходимых для формирования производных нового вектора ориентации  $y \in R^5$ .

Выбрав в качестве центра («полюса») стереографической проекции точку  $\alpha \equiv N$ , координаты которой  $(0,0,0,0,1)$ , найдем необходимые аналитические выражения матриц, входящих в правую часть КДУ вида (2.8)

$$V = \left\| E_5 \mid O_{5 \times 1} \right\|, \quad A_6 = \left\| \begin{array}{c|c} \Omega_3 & O_3 \\ \hline O_3 & \Omega_3 \end{array} \right\|, \quad \Omega_3 = \left\| \begin{array}{ccc} 0 & \omega_z & -\omega_y \\ -\omega_z & 0 & \omega_x \\ \omega_y & -\omega_x & 0 \end{array} \right\|,$$

$$\alpha = \left\| 0,0,0,0,1 \right\|^T$$

$$VA_6 \alpha = \left\| 0,0,0,-\omega_y, \omega_x \right\|^T, \quad VA_6 V^T = \left\| \begin{array}{c|c} \Omega_3 & O_{3 \times 2} \\ \hline O_{2 \times 3} & \Omega_2 \end{array} \right\|, \quad \Omega_2 = \left\| \begin{array}{c|c} 0 & \omega_z \\ \hline -\omega_z & 0 \end{array} \right\| \quad (2.9)$$

Используя соответствующие выражениям (2.9) представления векторов и матриц, запишем векторно-матричное КДУ (2.8) в скалярном виде

$$\begin{aligned} \dot{y}'_j(t) &= (y_j y_4 \omega_2 - y_j y_5 \omega_1) + \rho_j, \quad j = 1,2,3; \\ \rho_1 &= (y_2 \omega_3 - y_3 \omega_2) \quad \rho_2 = (y_3 \omega_1 - y_1 \omega_3) \quad \rho_3 = (y_1 \omega_2 - y_2 \omega_1) \\ (-1)^k \dot{y}'_k(t) &= \left( -\frac{1}{2}|y|^2 + y_k^2 \right) \omega_{6-k} - y_4 y_5 \omega_{k-3} + y_{9-k} \omega_3, \quad k = 4,5 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Квадрат модуля нового пятимерного вектора параметров ориентации равен

$$|y|^2 = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 + y_5^2$$

Было показано [4], что сам вектор параметров  $y \in R^5$  удовлетворяет двум приведенным выше уравнениям связи (2.6).

Анализ КДУ (2.8) (или эквивалентной системы скалярных уравнений (2.10)) показывает, что они несимметричные и нелинейные. Кроме того, рассматриваемое КДУ не такое простое по структуре, как известное линейное дифференциальное уравнение [3] для модифицированного шестимерного вектора  $\tilde{x}$  перенормированных направляющих косинусов.

Однако при всех этих недостатках метод глобальной и взаимно однозначной (1-1) пятимерной параметризации Хопфа требует решения минимального числа скалярных кинематических уравнений вида (2.10), которые, как и классические кватернионы, не имеют сингулярных (особых) точек. Подчеркнем, что рассматриваемая пятимерная параметризация, в отличие от известной четырехмерной параметризации (например, кватернионов), не имеет двузначностей. Поясним, что имеется в виду. Согласно известной теореме [1] произвольное положение твердого тела с одной неподвижной точкой относительно инерциального базиса  $OX_1X_2X_3$  обычно задается некоторым нормированным (гамильтоновым) кватернионом и каждому положению (повороту) тела соответствуют два значения кватерниона, различающиеся знаком.

Все кватернионные нормы единица образуют единичную сферу  $S^3$  в  $R^4$ . Соответствие каждого кватерниона (нормы единица) вращению задает отображение сферы  $S^3$  на всю группу вращений – двулистное накрытие:  $S^3 \rightarrow SO(3) = S^3/\pm 1$ .

Таким образом, вектор  $y \in R^5$  представляет любую точку группы вращений  $SO(3)$  взаимно однозначно. Поэтому пятимерная параметризация, представляет интерес как основанный на использовании минимально возможного числа переменных (параметров ориентации) способ глобального и взаимно однозначного (1-1) отображения группы  $SO(3)$  на пространство параметров.

**3. Четырехмерная сфера и пятимерные параметры ориентации.** Возьмем произвольную гиперплоскость, ориентированную в пространстве  $R^5$ , и произвольную точку в проективном замыкающем пространстве  $R^5$  (это может быть, например, бесконечно удаленная точка). Очевидно, что любая проекция такой гиперплоскости на сферу  $S^4 \subset R^5$  из данной точки переводит все прямые в окружности, т.е. здесь имеем дело со стереографической проекцией.

Будем также считать, что сфера  $S^4$  вложена в пространство  $R^5$  стандартным образом, как множество точек, заданных известным уравнением

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 = 1$$

Выше были получены пятимерные кинематические параметры, принадлежащие сфере  $S^4 \subset R^5$ . Они, как и все ранее известные параметры, также задают ориентацию объекта в трехмерном пространстве.

Возникает очевидный вопрос, каким пятимерным параметрам ориентации тела соответствуют, например, классические (гамильтоновы) кватернионы поворота. Для ответа на него введем четырехмерный вектор-столбец  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T$ , координаты которого – вещественные параметры классического (гамильтонова) кватерниона  $\Lambda$  [1,2], а именно

$$x_j = \lambda_{j-1} \quad j = 1, 2, 3, 4$$

Возьмем произвольную точку  $x \in R^4$  на ориентированной гиперплоскости  $P \subset R^4$  и выполним обратное проецирование заданной точки  $x \in P$  на четырехмерную сферу ( $S^4 \subset R^5$ ). Такая задача может быть решена с помощью введенного выше инверсного уравнения (2.5). Используя последнее, перепроектируем классические (гамильтоновы) четырехмерные кватернионы  $x \in R^4$  вида

$$\Lambda = \lambda_0 + \lambda_1 i_1 + \lambda_2 i_2 + \lambda_3 i_3, \quad \lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \in R^1, \quad \lambda = \lambda_1 i_1 + \lambda_2 i_2 + \lambda_3 i_3 \in R^3 \quad (3.1)$$

на четырехмерную сферу  $S^4$ . Полагая, что квадрат модуля четырехмерного вектора  $x \equiv \Lambda$  равен единице, а также, используя известную тригонометрическую форму представления гамильтонова кватерниона конечного поворота  $\Lambda$ , получим пятимерный вектор новых искомым параметров ориентации

$$x_j = \lambda_j = e_j \sin(\phi), \quad j = 1, 2, 3; \quad x_4 = \lambda_0 = \cos(\phi); \quad x_5 = 0 \quad (3.2)$$

где  $e = (e_1, e_2, e_3) \in R^3$  – единичный вектор;  $\phi$  – угол поворота в пространстве свободных векторов (равен половине угла плоского эйлера поворота ( $\phi = \varphi/2$ )).

Важно отметить, что вектор с компонентами (3.2) по общему числу кинематических переменных (параметров ориентации [3]) соответствует пятимерному вектору (2.8). Однако пятый параметр ориентации равен нулю.

Назовем [5] вектор вида (3.2) ассоциированным пятимерным вектором (вектором, который имеет одну переменную равную нулю). Для проверки перепроектируем пятимерные параметры вида (3.2) на ориентированное в пространстве  $R^5$  подпространство  $R^4$  – гиперплоскость  $P \subset R^4$ . На основании уравнения проектирования (2.4) и представления вектора вида (3.2) получим классические четырехмерные параметры ориентации – компоненты гамильтонова кватерниона поворота твердого тела

$$y_j = x_j / (1 - x_5) = e_j \sin(\phi), \quad j = 1, 2, 3, \quad y_4 = x_4 / (1 - x_5) = \cos(\phi); , \\ y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2 = 1 \quad (3.3)$$

Таким образом, при стандартной норме четырехмерного вектора, равной единице, классическим (гамильтоновым) кватернионам поворота  $y \in R^4$  вида (3.3) соответствует полученный выше ассоциированный пятимерный вектор параметров ориентации с компонентами (3.2). Аналитические выражения КДУ для классических (гамильтоновых) параметров ориентации вида (3.1) в кватернионной форме записи принимают вид [1-4]

$$2\dot{\Lambda}' = \Lambda \circ \omega_x(t); \quad \Lambda = \lambda_0 + \lambda_1 i_1 + \lambda_2 i_2 + \lambda_3 i_3; \quad \omega_x(t) = \omega_1(t) i_1 + \omega_2(t) i_2 + \omega_3(t) i_3, \quad (3.4)$$

где  $\Lambda$  – гамильтонов кватернион поворота тела;  $\omega_x(t)$  – вектор-функция, соответствующая кватерниону угловой скорости;  $(\circ)$  – знак кватернионного умножения.

Приведенные выше выражения справедливы только для гамильтоновых кватернионов, квадрат модуля которых равен единице. В противном случае получим новый пятимерный вектор  $\bar{y}$ , соответствующий четырехмерному вектору параметров – обобщенному кватерниону  $\bar{x}$  с заданной нормой.

Возьмем, например, модуль обобщенного кватерниона в виде  $|q^*| = \phi_e$ , т.е. длина соответствующего ему вектора равна углу плоского эйлера поворота.

Применяя введенное выше уравнение обратного проективного преобразования (2.5), получим следующие пятимерные параметры ориентации тела:

$$x_j = 2e_j\phi_e/(\phi_e^2 + 1), \quad j = 1, 2, 3, \quad x_4 = (2\phi_e^2 - 1)/(\phi_e^2 + 1), \quad x_5 = 0; \quad (3.5)$$

Аналогично рассматриваются частные случаи  $|q^*| = (1 - \cos(\phi_e/2))$ ,  $|q^*| = \operatorname{tg}(\phi_e/4)$ ,  $|q^*| = \operatorname{ctg}(\phi_e/4)$  и др..

Таким образом, используя как известные гамильтоновы кватернионы, которые имеют стандартную норму (равную единице), так и ассоциированные кватернионы (скалярная часть таких векторов равна нулю), для которых модуль отличен от единицы можно получить новые искомые параметры ориентации.

Все эти кинематические параметры находятся в пространстве  $R^5$  и математически эквивалентны рассмотренным выше классическим и ассоциированным кватернионам. Для новых параметров ориентации можно вывести соответствующие им КДУ вращения твердого тела.

**4. Трехмерная сфера и ассоциированные кватернионы.** Трехмерная сфера, определяемая как подпространство четырехмерного векторного пространства  $R^4$ , задается уравнением

$$S^3 = \{x(x_1, x_2, x_3, x_4) \in R^4 \mid |x|^2 = 1\}$$

Она может быть стандартным образом вложена в четырехмерное арифметическое пространство  $R^4$ , задает алгебру кватернионов и тесно связана с группой  $SO(3)$ . Множество положений вращающегося твердого тела вокруг неподвижной точки эквивалентно множеству его поворотов – конфигурационному пространству  $SO(3)$ . Задание поворотов в пространстве  $R^3$  при помощи классических кватернионов  $\Lambda$  дает конфигурационное многообразие  $SO(3)$  всех положений тела с одной закрепленной точкой. Оно является односвязным, но не находится во взаимно однозначном соответствии с группой  $SO(3)$ .

Рассмотрим не широко применяемый на практике и в аналитических исследованиях способ определения ориентации твердого тела с помощью кватернионов единичной нормы (гамильтоновых кватернионов), а относительно новый подход к проблеме параметризации группы трехмерных вращений  $SO(3)$ .

Для решения данной задачи введем четырехмерные параметры ориентации, у которых скалярная часть равна нулю. Назовем такие кинематические параметры ассоциированными кватернионами [5].

Покажем способ введения таких кватернионов как четырехмерных кинематических параметров. Для этого перепроектируем трехмерный вектор конечного поворота Гиббса [6] и/или Родрига [7]

$$x_3 \equiv G = (\operatorname{tg}(\phi/2)e \quad (4.1.)$$

принадлежащий ориентированной в пространстве трехмерной гиперплоскости, на трехмерную сферу  $S^3 \subset R^4$  единичного радиуса. Здесь  $e$  - единичный вектор ( $e \in R^3$ ), направленный вдоль оси плоского эйлера поворота. Норма такого единичного вектора  $|e| = 1$ .

Рассматриваемая здесь стереографическая проекция устанавливает взаимно однозначное соответствие между точками сферы  $S^3$  и точками ориентированной гиперплоскости  $\Gamma^3 \subset R^3$ . Действительно, при стереографической проекции



бесконечно удаленной точке гиперплоскости  $\Gamma^3$  соответствует единственная точка сферы  $S^3$  – «полюс»  $\alpha$ .

При этом прямая линия, соединяющая точку конца вектора  $(V^T y) \in R^4$  и «полюс»  $\alpha$  стереографической проекции, пересекает трехмерное многообразие – сферу  $S^3$  в одной точке  $x \in R^4$  с четырьмя координатами  $x_1, x_2, x_3, x_4$ .

Используя введенное выше уравнение обратного (инверсного) проектирования (2.5), имеем следующий ассоциированный четырехмерный вектор:

$$x_4 = 0 + \operatorname{tg}(\phi/2)e_4 \quad (4.2)$$

Здесь единичный вектор  $e_4 \in R^4$  – орт оси конечного поворота, а непосредственно сам вектор (4.2) имеет нулевую скалярную часть и модуль, равный  $\operatorname{tg}(\phi/2)$ .

Проецируя ассоциированный кватернион  $q_A = x_4$  (с нулевой скалярной частью), определяемый (4.2), на ориентированную трехмерную гиперплоскость (применяя проекционное уравнение вида (2.4)), получим известный вектор конечного поворота Гиббса (Родрига)

$$y_3 \equiv G = (\operatorname{tg}(\phi/2))e_3$$

Перепроецируя трехмерный вектор Гиббса (4.1) на трехмерную сферу с помощью инверсионного уравнения (2.5), для квадрата модуля вектора  $x^T x = |\operatorname{tg}(\phi/2)|^2 = \operatorname{tg}^2(\phi/2) \neq 1$  получим модифицированный кватернион  $q_M \in R^4$  вида

$$q_M = \cos(\phi/1) + e \sin(\phi/1) \quad (4.3)$$

а для квадрата модуля вектора  $x^T x = |\operatorname{tg}(\phi/2)|^2 = \operatorname{tg}^2(\phi/2) = 1$  ассоциированный кватернион вида (4.2):

$$q_A = 0 + \operatorname{tg}(\phi/2)e_4$$

имеющий нулевую скалярную часть. Следует отметить, что модифицированный кватернион поворота вида (4.3) отвечает в трехмерном действительном пространстве матрице поворота на угол  $(2\phi)$ .

По аналогии с вышеприведенным доказательством можно показать, что при стереографическом проектировании  $S^3 \setminus \{\alpha\} \rightarrow R^3$  кватерниона вида (4.3) из «южного» полюса  $\alpha \equiv S^3$  трехмерной сферы ( $S^3 \setminus (0,0,0,-1)$ ) единичного радиуса, получим трехмерный вектор Гиббса (4.1).

Проекция же модифицированного кватерниона поворота вида (4.3) из «северного» полюса  $\alpha \equiv N$  трехмерной сферы ( $S^3 \setminus (0,0,0,1)$ ) порождает малоизвестный трехмерный вектор конечного поворота

$$x_3 = (\operatorname{ctg}(\phi/2))e_3 \quad (4.4)$$

Последнему вектору в пространстве  $R^4$  соответствует следующий ассоциированный четырехмерный вектор:

$$x_4 = 0 + \operatorname{ctg}(\phi/2)e_4 \quad (4.5)$$

Отметим, что вектор конечного поворота (4.4) нельзя получить используя тригонометрическое представление классического (гамильтонова) кватерниона  $\Lambda$  и на основании операции деления его скалярной части на его векторную часть.

Для кватернионов поворота вида (4.2), (4.5) нетрудно вывести кинематические дифференциальные уравнения вращения. Так, кинематическое дифференциальное уравнение вращения для трехмерного вектора конечного поворота Гиббса (4.1), записанное в осях твердого тела, имеет вид

$$\dot{\bar{x}}_3(t) = \frac{1}{2} [\bar{\omega}_Y - \bar{\omega}_Y \times \bar{x}_3 + (\bar{\omega}_Y \cdot \bar{x}_3) \cdot \bar{x}_3] \quad (4.6)$$

На основании изоморфизма пространств кинематических параметров выполним эквивалентную подстановку – заменим в уравнении (4.6) каждый вектор трехмерного евклидова пространства его гиперкомплексным отображением [8,9] в четырехмерном пространстве. Получим КДУ (в связанных осях), которое в кватернионной записи имеет следующий вид:

$$4\dot{\bar{x}}_4(t) = 2\bar{\omega}_{(4)Y} - (\bar{\omega}_{(4)Y} \circ \bar{x}_4 - \bar{x}_4 \circ \bar{\omega}_{(4)Y}) - (\bar{\omega}_{(4)Y} \circ \bar{x}_4 + \bar{x}_4 \circ \bar{\omega}_{(4)Y}) \circ \bar{x}_4 = \\ = (2 + \bar{x}_4^2) \bar{\omega}_{(4)Y} - \bar{\omega}_{(4)Y} \circ \bar{x}_4 + \bar{x}_4 \circ \bar{\omega}_{(4)Y} - \bar{x}_4 \circ \bar{\omega}_{(4)Y} \circ \bar{x}_4 \quad (4.7)$$

где  $\bar{x}_4$  – ассоциированный четырехмерный вектор (кватернион поворота (4.2));  $\bar{\omega}_{(4)Y}$  – кватернион угловой скорости, с нулевой скалярной частью [9].

Для решения задачи Дарбу наряду с дифференциальным уравнением вращения вида (4.7) можно использовать другие кватернионные кинематические уравнения типа Риккати, методика вывода которых была подробно изложена ранее [8,9].

Полезно сравнить введенное выше уравнение (4.7) с известным кватернионным кинематическим уравнением типа Риккати [8,9]:

$$4\dot{q}_A(t) = [q_A \circ \omega_Y \circ q_A + q_A \circ \omega_Y - \omega_Y \circ q_A - \omega_Y] \quad (4.8)$$

$$q_A = q_1 i_1 + q_2 i_2 + q_3 i_3 = -\text{tg}(\phi/4)(e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3),$$

$$\omega_Y = \omega_1 i_1 + \omega_2 i_2 + \omega_3 i_3.$$

Здесь  $q_A$  – ассоциированный кватернион поворота,  $\omega_Y$  – отображение вектора угловой скорости на связанные с твердым телом координатные оси.

Классический (гамильтонов) кватернион ориентации  $\Lambda \in R^4$  связан с ассоциированным кватернионом  $q_A$  следующим соотношением:

$$\Lambda = (1 - q_A^2 - 2q_A)/(1 + q_A^2); \quad q_A^2 = q_1^2 + q_2^2 + q_3^2$$

которое при значении  $q_A = 0$  не вырождается.

Были отмечены ([9], с.246, с.253) преимущества использования четырехмерных кососимметрических операторов, в которых записаны уравнения (4.7), (4.8), перед использованием трехмерных кососимметрических операторов [10], в которых часто записываются уравнение вида (4.6) и другие векторные кинематические уравнения движения относительно неподвижной точки.

Следует заметить, что указанные [9] преимущества важны как в аналитических исследованиях, так и при синтезе (построении) алгоритмов численного интегрирования новых кинематических уравнений (алгоритмов ориентации, реализуемых в бескарданных инерциальных навигационных системах).

**5. Заключение.** Метод стереографической проекции  $S^4 \setminus \{\alpha\} \rightarrow R^5 \subset R^5$  точек пятимерной сферы позволяет не только получить новые пятимерные кинематические параметры, описывающие вращения твердого тела в пространстве  $R^3$ , но и установить

взаимно однозначное и взаимно непрерывное соответствие пятимерных и четырехмерных параметров ориентации. Кинематические дифференциальные уравнения, соответствующие пятимерным параметрам ориентации, не имеют двузначностей и особых точек при любых произвольных и максимально возможных угловых скоростях вращения тела в трехмерном пространстве. Ассоциированные кватернионы (четырёхмерные параметры ориентации с нулевой скалярной частью) представляют интерес при аналитических и прикладных исследованиях, например, в задачах глобальной взаимно однозначной параметризации группы трехмерных вращений. Кинематические дифференциальные уравнения, соответствующие ассоциированным кватернионам, также не имеют сингулярностей. С помощью приведенных выше кинематических дифференциальных уравнений типа Риккати автором и Ю.Н. Челноковым получен [11] новый класс алгоритмов решения задачи Дарбу [9], имеющий весомые преимущества перед всеми известными (опубликованными в открытой печати) алгоритмами ориентации отечественных и зарубежных специалистов.

### Литература

1. Журавлев В.Ф. Основы теоретической механики. М.: Наука. Физматлит, 1997. 320 с.
2. Кирпичников С.Н., Новоселов В.С. Математические аспекты кинематики твердого тела. Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. 249 с.
3. Переляев С.Е. О глобальных параметризациях группы трехмерных вращений // Изв. РАН. МТТ. 2006. № 3. С.30-44.
4. Stuelpnagel J. On the parametrization of the three-dimensional rotation group // SIAM REV. 1964. V. 6. № 4. P.422-429.
5. Pars L.A. A Treatise on Analytical Dynamics. L.: Heinemann, 1965 =Парс Л.А. Аналитическая динамика. М.: Наука, 1971. 635 с.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1977. 830 с.
7. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. М.: Наука, 1973. 320 с.
8. Челноков Ю.Н. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения. М.: Наука. Физматлит, 2006. 512 с.
9. Переляев С.Е. О соответствии трехмерных и четырехмерных параметров группы трехмерных вращений // Изв. РАН. МТТ. 2009. № 2. С. 47-58.
10. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1967. 575 с.
11. Челноков Ю.Н., Переляев С.Е. Новые уравнения и алгоритмы ориентации БИНС в четырехмерных кососимметрических операторах // Сб. тез. докл. 14-ой международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация». М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2009. С. 35-37.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭСКАЛАТОРА

Внуков А.А., Соро Мамаду  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ, РУДН

Задача моделирования интеллектуального эскалатора осуществлена с применением пакета fuzzy logic. Модель эскалатора имеет датчик движения и счетчик, считающий количество людей, несколько скоростных режимов с фиксированными скоростями движения, может быть переведена во включенное или выключенное состояние. В интеллектуальном эскалаторе использованы принципы построения экспертных систем и нечеткого управления объектом.

### **Modelling of the expert control system by movement of the intelligent escalator.** **Vnukov A.A. , Soro Mamodu**

The problem of modeling of the intelligent escalator is carried out with fuzzy logic package application. The model of the escalator has the sensor of movement and the counter considering number of people, some high-speed modes with fixed speeds of movement, can be transferred to the included or switched-off condition. In the intelligent escalator the principles of creation of expert systems and indistinct management of object are used.

#### **Описание задачи**

Эскалатор осуществляет движение людей в городском подземном транспорте при спуске и подъеме. Механизм эскалатора создан из соединённых металлических ступеней для движения вверх или вниз. Лестница без людей не движется для экономии энергии. Функционирование соблюдается логикой с датчиком и счетчиком людей. Датчик обнаруживает присутствие людей. Когда на эскалаторе есть человек, лестница включается и движется. Счетчик в краю лестницы определяет число людей на эскалаторе, в зависимости от которого лестница движется с различными скоростями согласно периодам дня. Утром и вечером - в «часы пик», когда люди едут или возвращаются с работы, лестница движется с большой скоростью. В полдень она может пойти с немного более медленной скоростью, так как изменяется количество городских жителей, непрерывно находящихся на ней.

#### **Постановка задачи управления эскалатором**

Интеллектуальный эскалатор позволяет создать порядок между людьми и управлять порядком на эскалаторе за счет включения, изменения скорости движения и выключения. На эскалаторе стоят датчик движения и счетчик, считающий количество людей, движущихся на эскалаторе.

Для решения создаем экспертную систему, чтобы регулировать движение пассажиров эскалатора путем регулирования скорости эскалатора.

Эскалатор можно представить в качестве объекта управления, имеющего 2 входа (D1- количество людей и D2 - время час пик) и 1 выход (T- скорость эскалатора). Объект управления представлен схемой на рис. 1, где: D1 - количество людей; D2 – время час пик; T - скорость эскалатора.



Рис. 1. Схема объекта

Исходной информацией для решения задачи управления эскалатором являются данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Принадлежность переменных диапазонам

количество людей D1 [0;30]	час пик D2 [6;18h]	скорость эскалатора T [0;66,5м/с]
мало (0;10)	утром (5;10)	медленно (0; 20)
среднее (8;25)	днем (9;17)	быстро (18; 33,33)
много	вечером	очень быстро

(22;30)

(17;18)

(30; 66,5)

Требуется разработать нечеткий контроллер для управления скоростью движения эскалатора в зависимости от находящихся на нем людей.

### Решение задачи

Решение задачи осуществляем в классе экспертных систем, а ее моделирование проведем в программной среде matlab и пакета fuzzy logic.

Целью моделирования является получение зависимости выхода системы от двух её входов. В качестве входов используются параметры D1 - количество людей и D2 – время час пик. Выходом является T - скорость эскалатора. Таким образом, нас интересует зависимость скорости эскалатора от количества человек на эскалаторе и времени дня.

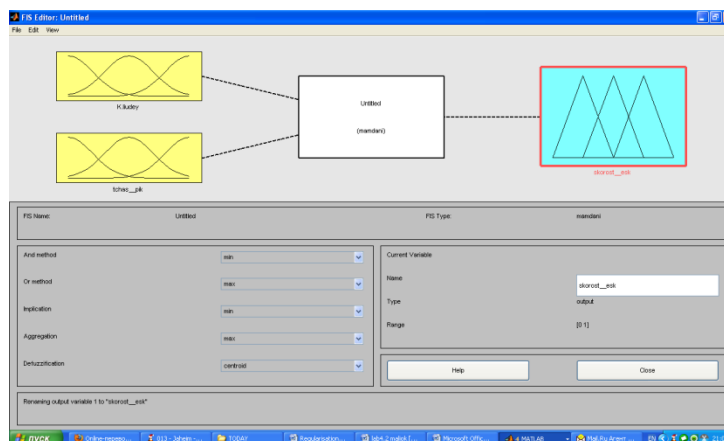


Рис. 2. Общая схема системы

На рис. 2 показана общая схема системы с двумя входными переменными (количества людей и времени час пик) и выходной переменной (скорость эскалатора).

В верхней части окна моделирования слева представлены графические окошки с изменением параметров D1 - количество людей и D2 – время час пик, в средней части показан объект управления, а справа в окошке отображается график изменения скорости движения эскалатора.

В нижней части окна моделирования задаются параметры моделирования, которые позволяют задавать разный вид входных воздействий (период и диапазон значений), отображаемых в графических окошках.

На рис. 3 показана функция принадлежности переменной «количество людей», отвечающая за поступление людей на эскалатор и классифицирующая их число как «мало», «среднее» и «много». Вид функции принадлежности виден в большом окне верхней части интерфейсного окна.

Слева в верхней части в маленьких окошках отображаются текущие графические образы входных параметров D1 - количество людей и D2 – время час пик, выходного графика скорости T эскалатора.

Переключение в этот режим моделирования производится двойным щелчком по левому верхнему маленькому окошечку «люди», которое выделяется красным контуром. Сама функция принадлежности выделяется красным контуром в большом окне вверху. В нижней части окна моделирования задаются параметры моделирования.

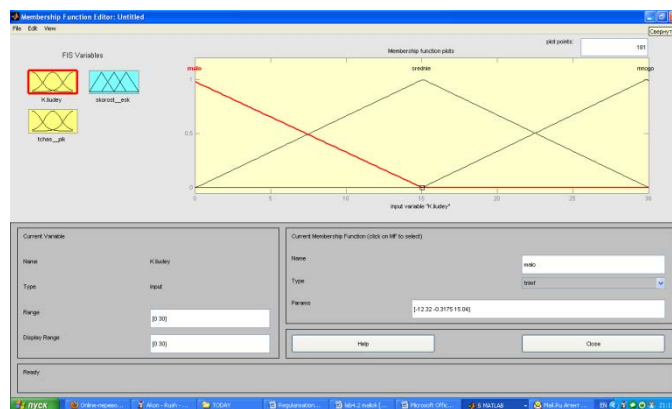


Рис. 3. Функция принадлежности переменной «количества людей»

На следующем рис. 4 показана функция принадлежности переменной «час пик», позволяющая увидеть поступление людей на эскалатор и классифицировать их количество как «мало», «среднее» и «много». Вид функции принадлежности отображается в большом окне верхней части этого интерфейсного окна. Слева в верхней части в маленьких окошечках отображаются текущие графические образы входных параметров D1 - количество людей и D2 – время час пик, выходного графика скорости T эскалатора.

Двойной щелчок по левому нижнему маленькому окошечку «час пик» переключает режим моделирования, выделяет его красным контуром.

Функция принадлежности выделяется красным контуром в большом окне вверху. В нижней части окна моделирования параметры те же, что в модели функции принадлежности переменной «количества людей».

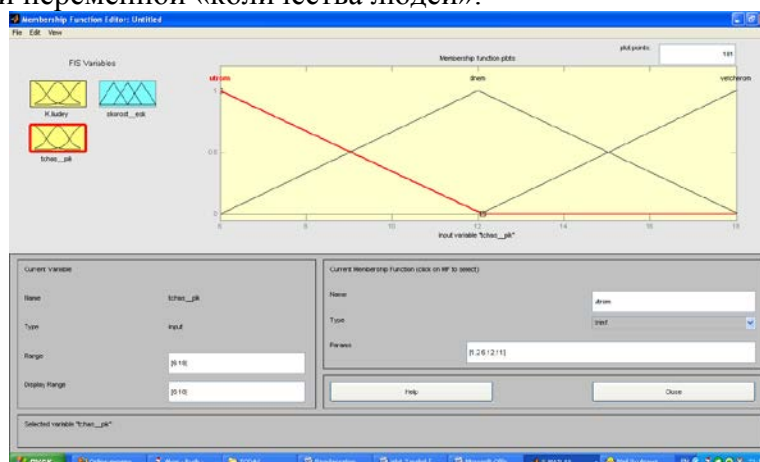


Рис. 4. Функция принадлежности переменной «час пик»

На рис. 5 показана функция принадлежности выходной переменной «скорость эскалатора», отражающая поступление людей на эскалатор и классифицирующая их количество как «мало», «среднее» и «много». Вид функции принадлежности отображается в большом окне верхней части интерфейсного окна. Слева в верхней части в маленьких окошечках отображаются текущие графические образы входных параметров D1 - количество людей и D2 – время час пик, выходного графика скорости T эскалатора.

Переключение в режим моделирования производится двойным щелчком по правому нижнему маленькому окошечку «скорость», выделяется красным контуром. Функция принадлежности выделяется красным контуром в большом окне вверху. В

нижней части окна задаются параметры моделирования такие же, как и в предыдущем случае моделирования Функции принадлежности переменной «количества людей».

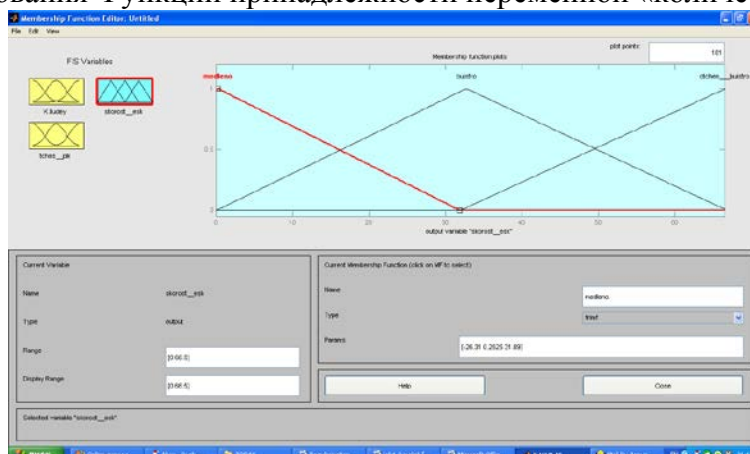


Рис. 5. Функция принадлежности выходной переменной «скорость эскалатора»

### Окно правил

Окно правил пакета fuzzy logic в системе matlab (рис. 6) содержит правила вывода, на основе которых определяется скорость эскалатора в зависимости от количества людей на нём и времени «час пик».

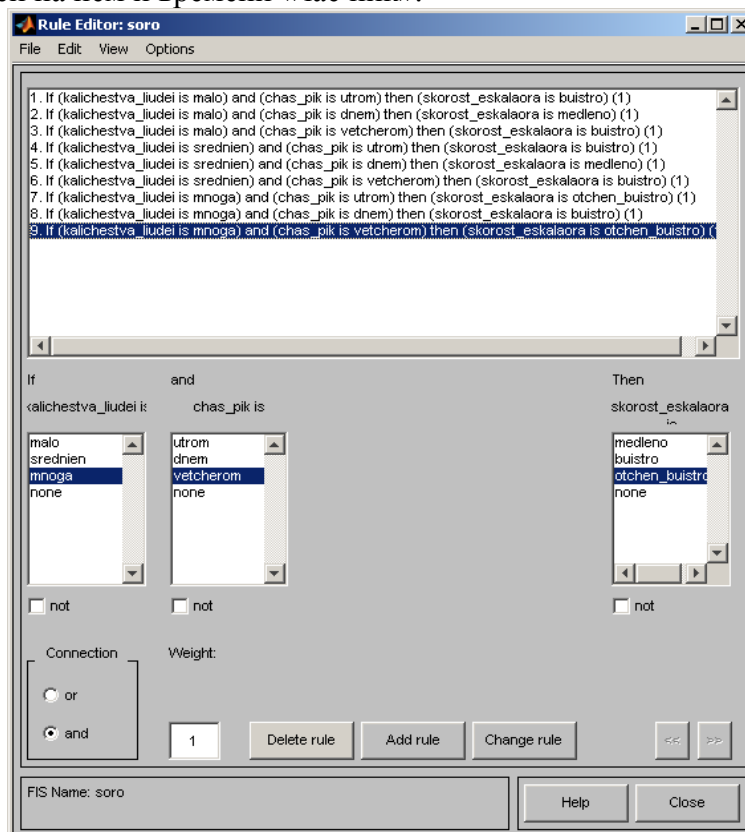


Рис. 6. Окно правил пакета fuzzy logic в системе matlab

Количество правил вывода определяется количеством групп правил, число которых всего 3. Всего правил  $3^2=9$ , число которых определяется количеством переменных диапазонов в каждой группе: людей (мало, среднее, много), времени часа «пик» (утром, днём, вечером) и скоростью эскалатора (медленно, быстро, очень быстро). Приведем все правила вывода, отображаемые в окне редактора правил.

1. ЕСЛИ людей мало и час пик утром, ТО скорость эскалатора - быстро.
2. ЕСЛИ людей мало и час пик днем, ТО скорость эскалатора - медленно.

3. ЕСЛИ людей мало и час пик вечером, ТО скорость эскалатора - быстро.
4. ЕСЛИ людей среднее и час пик утром, ТО скорость эскалатора - быстро.
5. ЕСЛИ людей среднее и час пик днем, ТО скорость эскалатора - медленно.
6. ЕСЛИ людей среднее и час пик вечером, ТО скорость эскалатора - быстро.
7. ЕСЛИ людей много и час пик утром, ТО скорость эскалатора - очень быстро.
8. ЕСЛИ людей много и час пик днем, ТО скорость эскалатора - быстро.
9. ЕСЛИ людей много и час пик вечером, ТО скорость эскалатора - очень быстро.

Окно моделирования на рис. 7 содержит 3 колонки и 9 строк, в которых находятся графические образы количества людей, времени «час пик», скорости эскалатора, а также перечисленные выше правила вывода для определения скорости эскалатора.

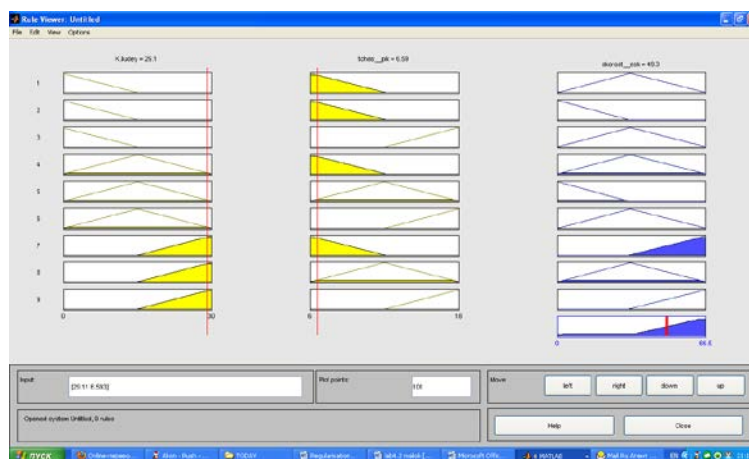


Рис. 7. Моделирование скорости эскалатора по правилам вывода

Моделирование скорости эскалатора согласно правилам вывода необходимо для выбора скорости в зависимости от значений входных параметров D1 - количество людей и D2 – время час пик. Выходом является T - скорость эскалатора.

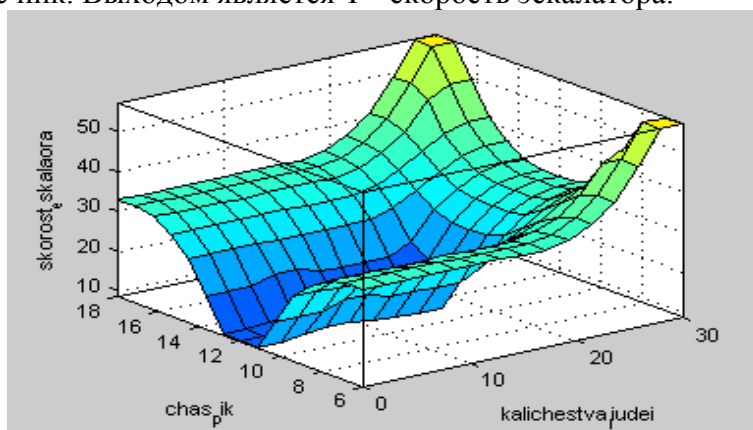


Рис. 8. Поверхность просмотра нечеткого вывода

По правилам вывода построена поверхность нечеткого вывода (рис. 8), анализ которой позволяет исследовать и установить зависимости значений выходной переменной скорости эскалатора от значений входных переменных нечеткой модели управления количества людей и времени «час пик». Зависимость нужна для реализации нечеткого алгоритма управления.

Таким образом, решена поставленная задача по разработке экспертной системы управления скоростью эскалатора с применением нечеткого контроллера, т.е. на выходе которого определяется скорость эскалатора в зависимости от количества человек на эскалаторе и времени дня.

#### Таблица случайных ситуаций



Теперь рассмотрим таблицу 2, значения которой рассчитаны в Окне графического просмотра, и пример, позволяющие определить скорости движения эскалатора для различных случайных ситуаций. Окно графического просмотра правил вывода позволяет изменять значения переменных Количество людей и Час пик путем перемещения красных вертикальных осевых линий, проходящих через оба диапазона этих переменных. В результате передвижения этих линий над каждой колонкой переменных Количество людей и Час пик, а также над колонкой результата отображается точное значение, отмечаемое в нижнем окне результата.

Таблица 2. Случайные ситуации

п/н	Количество людей D1 [0;30]	Час пик D2 [6;18h]	Скорость эскалатора T [0;66,5м/с]
1.	1.7	6.36	27.6
2.	15	7.02	32.7
3.	28.9	7.07	46
4.	29.3	6.17	52.1
5.	28.3	17.7	51.7
6.	18.3	11.7	22.5
7.	5.89	11	20
8.	2.68	17.5	33
9.	6.85	9.34	21
10.	29.1	6.59	49.3
11.	29	10.3	34.6
12.	3.15	7.58	28.1
13.	22.6	16.2	35.6
14.	14.6	12	11.9
15.	29.2	13	33.6
16.	1.49	11	16
17.	4.82	17.5	33
18.	28	12	32.9
19.	1.01	16.3	33.1
20.	29	17.7	50.7

Моделирование экспертной системы управления движением интеллектуального эскалатора позволяет рассмотреть некоторые транспортные ситуации, возникающие в связи с пересадкой пассажиров между наземным и подземным транспортом и дать им интерпретацию. Если количество людей на эскалаторе уменьшается на 14 человек, то это может означать, что разница между датчиками на входе и выходе составляет, именно, такую величину. При этом интерпретация этого факта может быть различной, например, что с него только сошли люди, и никто на него не вошел. Обратная ситуация возникает, когда на эскалатор входят 14 пассажиров, вышедших из поезда на этой станции.

Если количество людей на эскалаторе много (29.1) и время час пик утром (6.59), то скорость эскалатора очень быстрая (49.3). Через 3 минуты, когда число людей на эскалаторе среднее (15) и время час пик утром (7.02), то скорость эскалатора снижается до величины быстро (32.7). Еще через 5 минут ситуация на эскалаторе снова меняется, и он начинает двигаться с большей скоростью (46) из диапазона очень быстро, что происходит при среднем количестве людей на эскалаторе (28.9) и времени час пик утром (7.07).

#### **Внесение изменений в правила вывода**

В окне редактора правил вывода пакета fuzzy logic в системе matlab можно добавить новые правила вывода, что повлияет на результаты определения скорости эскалатора в зависимости от количества людей на нём и времени «час пик».

Добавим еще одно 10-ое правило вывода.

10. ЕСЛИ людей много и час пик днем, ТО скорость эскалатора - очень быстро.

Содержание этого правила таково, что причиной «часа пик» днем является событие, связанное с массовым притоком людей в районе, который обслуживает эскалатор. Примером этого события может быть спортивное мероприятие. На рис. 8 в редакторе правил показаны введенные изменения по сравнению с первоначальным набором правил вывода.

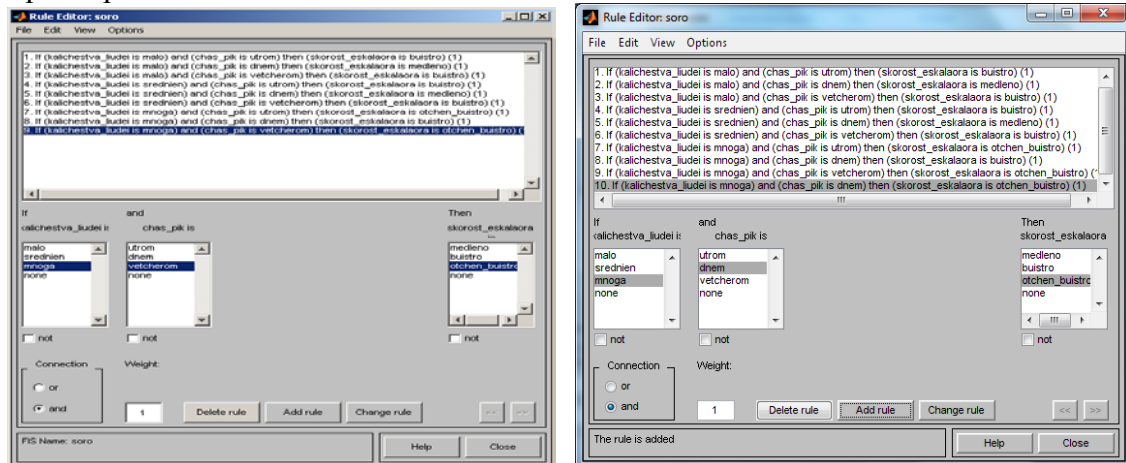


Рис. 8. Редактор правил нечеткого вывода с введенными изменениями

Окна моделирования с возможностью задания конкретных значений переменных и с графическим просмотром правил вывода с графическими образами количества людей, времени «час пик», скорости эскалатора в соответствии с перечисленными правилами вывода для моделирования изменения скорости эскалатора показаны на рис. 9.

Моделирование скорости эскалатора по новым правилам вывода, в которые добавлено десятое правило вывода, представлено на рис. 9 справа.

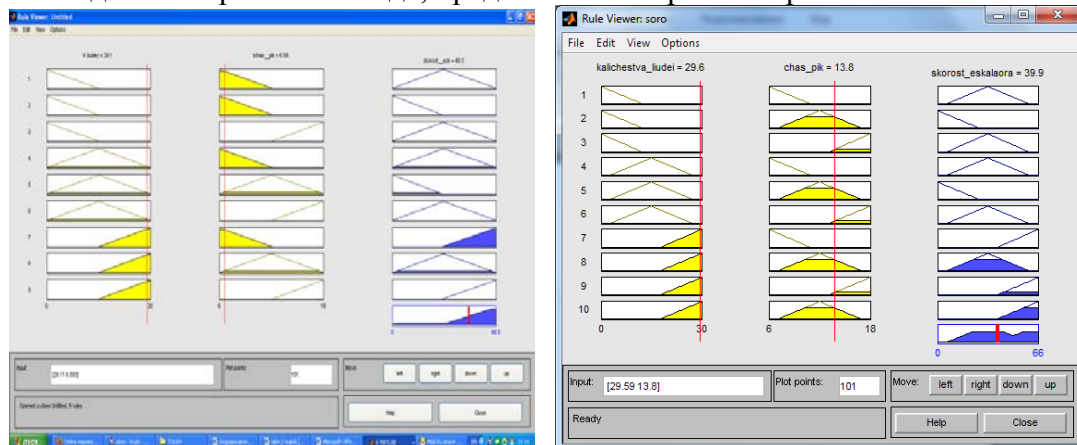


Рис. 9. Графический просмотр правил вывода

Моделирование скорости интеллектуального эскалатора со старыми и измененными правилами вывода позволяет сравнить и проанализировать поверхности нечеткого вывода и сделать выводы относительно его работы. Слева на рис. 10 показана поверхность нечеткого вывода с системой из 9 правил, а справа поверхность, соответствующая новой системе из 10 правил.

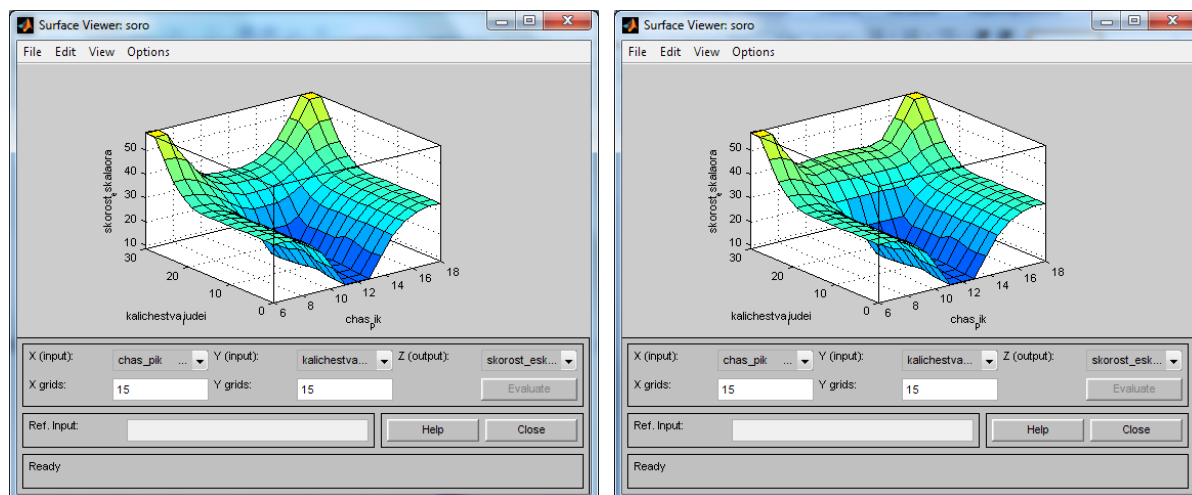


Рис. 10. Просмотр поверхностей нечеткого вывода

Сравнение поверхностей нечеткого вывода скорости на рис. 10 слева и справа показывает, что дополнительное правило позволяет при возникновении проблемы «часа пик» днем решить ее с помощью увеличения скорости эскалатора с быстрой до очень быстрой. Между наибольшими значениями скорости утром и вечером имеется локальное увеличение скорости днем.

### Выводы

Моделирование экспертной системы управления скоростью движения эскалатора является одним из этапов разработки интеллектуального эскалатора для автоматического регулирования пропускной способности эскалатора и скорости движения людей на выходе из метро.

Система автоматического управления необходима, чтобы не было скопления людей (толпы) на выходе из метро, повысить пропускную способность эскалатора, и поддерживать порядок.

Интеллектуальная система управления обеспечивает самостоятельное определение своей нагрузки с принятием решений об изменении режима работы. Она организует удобное движение людей на эскалаторе и позволяет сократить расход электроэнергии и эксплуатационные издержки, связанные с уменьшением затрат на персонал и электроэнергию.

Имитационное моделирование различных ситуаций в среде моделирования matlab и в пакете fuzzy logic выявляет недостатки и преимущества каждого решения, позволяет оптимизировать систему регулирования интеллектуального эскалатора.

Конечной целью моделирования экспертной системы управления скоростью движения эскалатора является выработка предложений по реализации нечеткого контроллера интеллектуального эскалатора в соответствующем программном обеспечении.

### Литература

1. Пупков К.А., Коньков В.Г. интеллектуальные системы (Исследование и создание) Издание первое, М., 2001, -388 с.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗАХВАТА РОБОТА КАВАСАКИ ПРИ НАНЕСЕНИИ КРАСКИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ТЕЛ

Внуков А.А.<sup>1</sup>, Прохоров К.О.<sup>1</sup>, Шейкх Салман Али.<sup>2</sup>, Шабном Мустари<sup>2</sup>  
Москва, <sup>1</sup>МИЭМ НИУ ВШЭ, <sup>2</sup>РУДН

В статье рассматриваются математические модели задач кинематики прямой, обратной, позиционирования захвата робота без учета особенностей цифрового управления электроприводом в режимах разгона и электродинамического торможения. Программные реализации этих задач позволили провести исследования сходимости и точности решений обратной задачи в зависимости от начальных значений, диапазона значений углов на каждой итерации и получить графики зависимостей точности от итераций и уменьшения углов. Для уточнения решения обратной задачи кинематики применяется результат решения задачи позиционирования для большего соответствия реальному положению схвата тому, что задано матрицей преобразования захвата  $T_6$ . Полученные результаты применяются для нанесения краски на поверхность тел.

### 1. Прямая задача кинематики

Решение прямой задачи кинематики является первым этапом работы программы (рис. 4.1), введя соответствующие конфигурации манипулятора параметры, а также обобщённые координаты получаем матрицу положения  $T_6$ . Здесь же определяется сам манипулятор, сохранив его параметры, мы можем в дальнейшем не вводить их во втором этапе при решении обратной задачи. Углы между сочленениями, то есть обобщённые координаты здесь и везде указываются в радианах. Линейные величины измерены в миллиметрах.

$\theta$	$\alpha$	$a$	$d$	$T_6$			
2	90	0	250	0.19791100	0.70553243	0.68048160	43.6240918
2	0	30	0	0.73556907	0.56575058	0.37264514	24.4470627
2	0	40	0	0.64789610	0.42679065	0.63093610	214.690827
2	90	50	0	0	0	0	1
2	90	0	0				
2	0	0	80				

Рис. 1. Реализация решения прямой задачи кинематики

Алгоритм решения состоит в последовательном произведении матриц  $A_i$ , которые ставятся в соответствие каждому звену. Все эти матрицы, кроме последней могут восприниматься как правила, преобразующие одну локальную систему координат к другой, вплоть до базовой системы координат (рис. 2). Последняя матрица  $A_6$  рассматривается в качестве матрицы, описывающей положение схвата манипулятора с точки зрения пятой локальной системы координат. Так как процесс представляет собой цепочку последовательных преобразований, то порядок умножения матриц имеет значение.

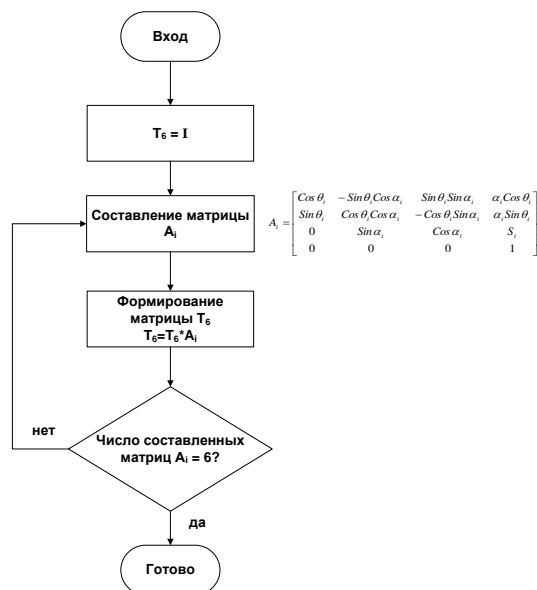


Рис. 2. Алгоритм решения прямой задачи кинематики

В блоке 2 на рис. 2  $T_6=I$  – единичная матрица

#### 4.2. Обратная задача кинематики

Для решения обратной задачи необходимо либо ввести новую конфигурацию манипулятора либо восстановить ту, что была введена на первом этапе, а также матрицу  $T_6$ , для которой мы хотим найти углы между сочленениями. Кроме того нужно указать точность и начальные обобщённые координаты, которые должны быть выбраны таким образом, чтобы итерационный процесс решения методом Ньютона сходил (рис. 3.). На практике это означает, что точка, описываемая начальными углами должна недалеко отстоять от точной позиции, которая соответствует матрице  $T_6$ .

а	$\alpha$	d	$T_6$	$\theta$				
1.5	90	0	250	0.19791103	0.70563213	0.60040160	43.6240918	1.99990623
1.5	0	30	0	0.73556907	0.56675058	-0.37064514	-24.4470627	2.00000714
1.5	0	40	0	-0.64789613	0.40279063	-0.63093618	074.690827	1.99999241
1.0	90	50	0	0	0	0	1	2.00000168
1.0	90	0	0	0	0	0	0	2.00001337
1.0	0	0	50	0	0	0	0	1.99999119

Рис. 3. Реализация решения обратной задачи кинематики

Алгоритм решения обратной задачи кинематики можно разделить на две части: во-первых, сам алгоритм, реализующий итерационный процесс, а во вторых алгоритм получения столбцов Якобиана, который является составной частью первого. В данном случае каждое новое уточнённое значение обобщённых координат находится путём решения системы линейных уравнений, процесс формирования этой системы требует получения не всего Якобиана целиком (как в случае с вычислением обратной матрицы), а только очередного его столбца. Всего система линейных уравнений состоит из двенадцати элементов, однако независимыми из них являются только шесть, что позволяет сформировать квадратную матрицу. При решении обратной задачи можно использовать и все 12 уравнений, что улучшит точность решения системы на каждом

очередном этапе. Однако библиотека Iridium позволяет решать системы линейных уравнений, которые можно описать в матричном виде, как  $A \cdot X = B$ , только в том случае, если матрица  $A$  является квадратной, то есть когда число неизвестных соответствует числу независимых уравнений. Если бы решение рассматривалось не с точки зрения СЛАУ, а Якобиана, то найти обратную матрицу можно было бы только, если она является квадратной. Однако и здесь можно было бы использовать все 12 уравнений, так как тогда вычислялась бы псевдообратная матрица, которая соответствует не всем свойствам обратной, а только части из них.

При формировании СЛАУ необходимо получать столбцы Якобиана (рис. 4).

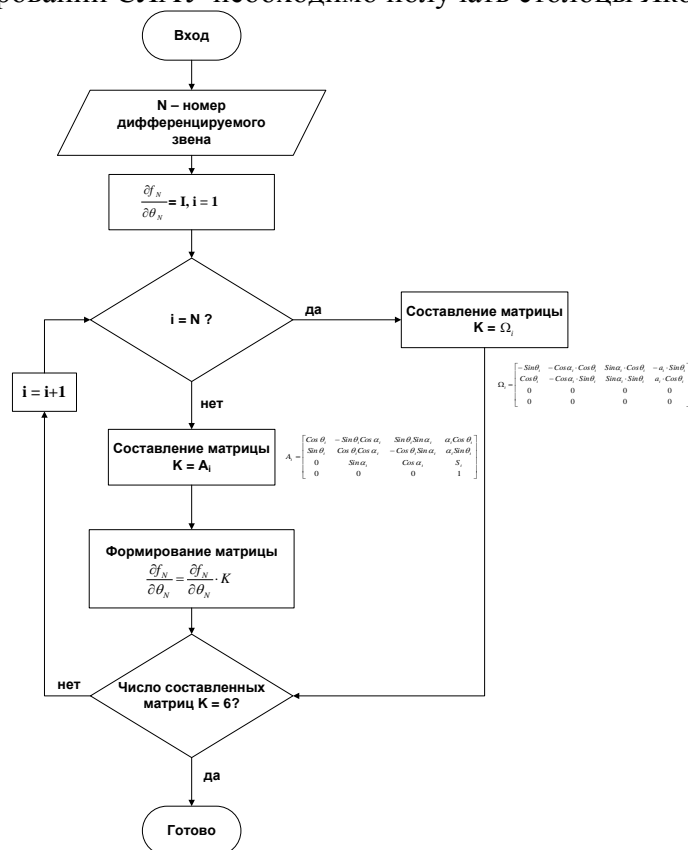


Рис. 4. Алгоритм получения столбцов Якобиана

Как видно от прямой задачи кинематики он отличается только заменой соответствующей  $i$ -й матрицы на другую – матрицу дифференциального сдвига и поворота, которая определяет малое линейное изменение локальной системы координат  $i$ -го звена и как следствие малое изменение положения схвата манипулятора. Изменение положения схвата с учётом изменения всех звеньев определяет весь Якобиан как совокупность столбцов, отвечающих за соответствующие звенья.

В итоге получаем матрицу  $4 \times 4$ , из которой потом выбираем шесть элементов, соответствующих столбцу Якобиана:

$$\frac{\partial f_N}{\partial \theta_N} = \begin{bmatrix} \cdot & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ \cdot & \cdot & f_{23} & f_{24} \\ \cdot & \cdot & \cdot & f_{34} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

В том случае, если бы формировалась система из 12 уравнений, то необходимо было бы выбрать 12 элементов получившейся матрицы дифференциального перемещения.

Итерационный алгоритм методом Ньютона можно описать следующим образом (рис. 5).

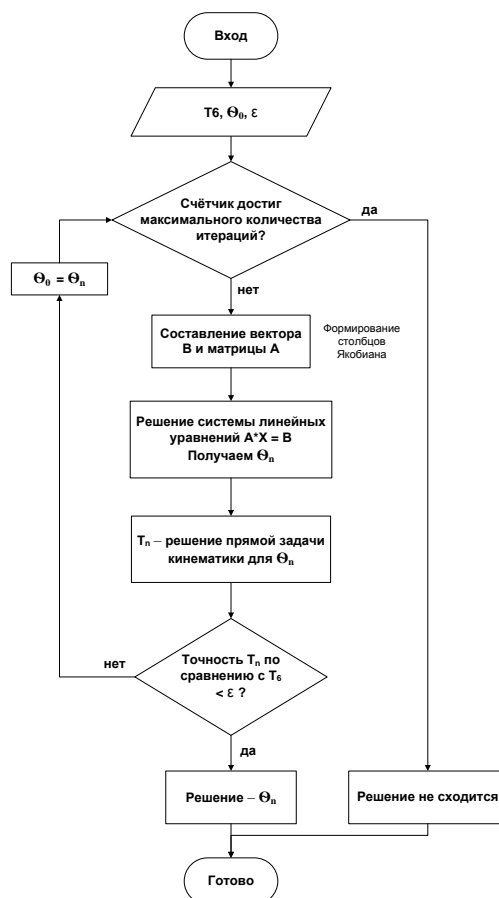


Рис. 5. Итерационный численный алгоритм методом Ньютона

Критерием окончания служит соответствие матрицы  $T_n$ , полученной на определённом шаге, точной матрице  $T_6$ . Для проверки вычисляется модуль разности матриц, а затем первые 12 элементов суммируются, эта сумма (sum) и сравнивается с числом  $\varepsilon$ :

```

Т6minusТn = Т6-Т6n;
sum = 0.0;
for i = 1:3
    for j = 1:4
        sum = sum + abs(Т6minusТn(i,j));
    end
end
  
```

В зависимости от подобранных начальных значений решение может не сходиться, кроме того, они влияют на сходимость к тому или иному решению, когда их может быть несколько. При одинаковой точности, но разных начальных углах график на рис. 6. соответствует решению:

```

1.9956
1.9987
2.0008
  
```

1.9999  
2.0034  
1.9987

Это решение совпадает с точными углами. А, график на рис. 8 соответствует решению:

0.2213  
-3.0899  
-2.1496  
-2.6052  
2.0615  
0.4732

При этом матрица  $T_n$  в данном случае совпадает с матрицей  $T_6$ .

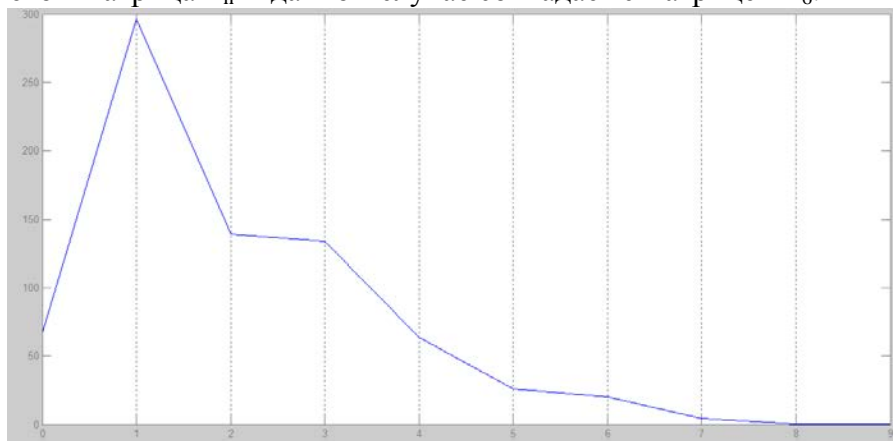


Рис. 6. График зависимости точности (sum) от итераций

Кроме того при решении системы линейных уравнений получаются большие углы в радианах:

20.677282242454829  
-55.709237201657174  
-23.063980202317705  
72.151914198811085  
-48.154640688892563  
-23.248819247347353

Их приходится уменьшать до тех пор, пока они не станут находиться в диапазоне от  $-\pi$  до  $\pi$ . Если это не делать на каждой итерации – точность решения упадёт, а в определённых случаях решение даже перестанет сходиться. Сходимость без уменьшения углов (рис. 7) хуже, чем с их корректировкой (рис. 8).

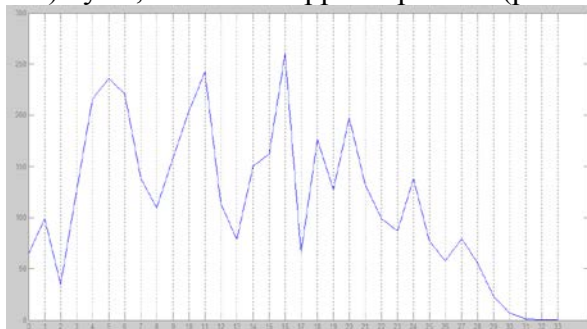


Рис. 7. График зависимости точности (sum) от итераций без уменьшения углов



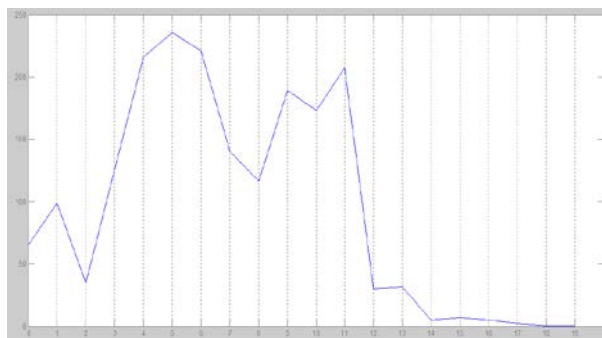


Рис. 8. График зависимости точности (sum) от итераций с уменьшением углов

Вероятно, это связано с тем, что хотя угол  $\Theta + 2\pi$  и эквивалентен углу  $\Theta$ , тем не менее, их синусы и косинусы могут незначительно отличаться при вычислении на компьютере, а так как при решении прямой задачи кинематики и Якобиана соответствующие математические функции используются интенсивно, то в сумме получается заметная погрешность.

#### 4.3. Позиционирование

Позиционирование – третий, заключительный этап работы программы, который напрямую зависит от результатов решения обратной задачи кинематики, так как, по сути, уточняет это решение (рис. 9). Единственный параметр, который необходимо ввести – точность, после чего можно запустить позиционирование. Конечным результатом является вычисление приращений обобщённых координат, которыми необходимо скорректировать решение обратной задачи кинематики, конечная цель – ещё большее соответствие реального положения схвата тому, что задано матрицей  $T_6$ . Позиционирование, таким образом, позволяет исправить две неточности: во-первых, грубое решение обратной задачи (чего в реальности быть не должно, так как точность должна быть выбрана большой) и, во-вторых, отклонения, вызванные самим манипулятором, так как на практике через некоторое время его узлы всё-таки расшатываются, что приводит к некоторому смещению от ожидаемой позиции.

**Кинематика РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА**

Прямая задача кинематики    Обратная задача кинематики    Позиционирование манипулятора

**ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ЗАХВАТА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА**

$T_6$  целевая точка     $T_6$  после позиционирования

-0.19791103	0.70553243	0.68048160	43.6240918	-0.19791103	0.70553243	0.68048160	43.6240918	$\Theta$ точн.	$\Theta$ прибл.	$\Delta$
0.73556907	0.56575058	0.37264511	24.447062	0.73556907	0.56575058	0.37264511	24.447062	2	2	2.00000000
-0.64789611	0.42679068	0.63093611	214.690827	-0.64789611	0.42679068	0.63093611	214.690827	2	2	479149E-15
0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	962353E-15
								2	2	729656E-15
								2	2	885681E-15
								2	1.99999999	887919E-15

Шаг:     Точность позиционирования:

Рис. 9. Реализация решения задачи позиционирования

Как и решение обратной задачи, позиционирование можно рассматривать, либо с точки зрения решения СЛАУ, либо вычисления обратной матрицы, что в данном случае одно и то же.

Алгоритм решения задачи позиционирования такой (рис.10):

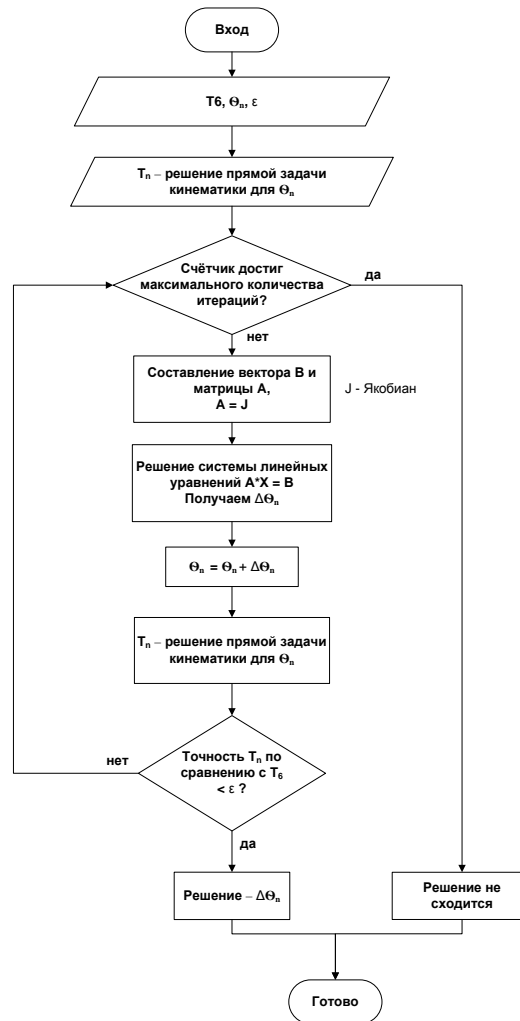


Рис. 10. Алгоритм решения задачи позиционирования

Для более точного решения обратной задачи кинематики на рис. 3. результат позиционирования будет следующий как на рис.11.

КИНЕМАТИКА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА											
Прямая задача кинематики				Обратная задача кинематики				Позиционирование манипулятора			
Позиционирование захвата РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА											
T6 целевая точка						T6 после позиционирования					
-0.19791104	0.70553243	0.68048160	43.6240918	-0.19790904	0.70553139	0.68048325	43.6240918	2	2.00001972	746564E-05	
0.73556907	0.56575058	-0.37264514	-24.447062	0.73556868	0.56575069	-0.3726457	-24.447062	2	1.99999904	194921E-06	
-0.64789610	0.42679065	-0.63093610	214.690827	-0.64789714	0.42679221	-0.63093398	214.690827	2	2.00000544	100815E-05	
0	0	0	1	0	0	0	1	2	2.00000166	938272E-08	
								2	1.99998775	133326E-05	
								2	2.00000848	736931E-05	
Шаг: 1		Точность позиционирования: 0.00000000000001									
<input type="button" value="Позиционировать"/>											

Рис. 11. Реализация решения задачи позиционирования для более точного решения обратной задачи кинематики

При уменьшении точности вычисления обратной задачи кинематики (рис. 12) робот достигает позиции, которая расположена дальше от целевой, поэтому позиционирование при той же точности осуществляется за большее число шагов (рис. 13).

**КИНЕМАТИКА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА**

Прямая задача кинематики    Обратная задача кинематики    Позиционирование манипулятора

**РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА**

$\theta_0$	$\alpha$	$a$	$d$	$T_6$	$\theta$			
1.5	-90	0	250	-0.19791100	0.70553243	0.68048160	43.6240918	1.99558132
1.5	0	30	0	0.73556907	0.56575058	-0.37264514	-24.447062	1.99868902
1.5	0	40	0	-0.64789610	0.42679065	0.63093610	214.690827	2.00082434
1	90	50	0	0	0	0	1	1.99987003
1	-90	0	0					2.00339982
1	0	0	80					1.99865400

Точность: 0.1    Шаг: 8

   [Восстановить конфигурацию](#)

Рис. 12. Реализация менее точного решения обратной задачи кинематики

**КИНЕМАТИКА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА**

Прямая задача кинематики    Обратная задача кинематики    Позиционирование манипулятора

**ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ЗАХВАТА РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА**

$T_6$ целевая точка				$T_6$ после позиционирования				$\theta$ точн.	$\theta$ прибл.	$\Delta$
-0.19791100	0.70553243	0.68048160	43.6240918	-0.19789362	0.70552315	0.68049628	43.6240918	2	2.00017145	0.00459013
0.73556907	0.56575058	-0.37264514	-24.447062	0.73556088	0.56575479	-0.37265492	-24.447062	2	1.99998491	0.00129589
-0.64789610	0.42679065	0.63093610	214.690827	-0.64791077	0.42680041	0.63091450	214.690827	2	2.00005690	-0.00076744
0	0	0	1	0	0	0	1	2	2.00001730	0.00014727
								2	1.99989352	-0.00350634
								2	2.00006965	0.00141564

Шаг: 2    Точность позиционирования: 0.000000000001

Рис. 13. Реализация решения задачи позиционирования для менее точного решения обратной задачи кинематики

### Заключение

Новые методики и алгоритмы решения типовых задач кинематики и динамики робототехники появляются регулярно. Развитие технологий с одной стороны требует новых теоретических разработок, а с другой стороны наилучшего эффективного, универсального и нетребовательного к ресурсам решения известных проблем робототехники пока не существует. Необходим некоторый компромисс между техническими характеристиками манипуляторов и теоретическими возможностями описания и управления. Конкретные способы взаимодействия с механической конструкцией робота влияют на способ его описания. Конкретные геометрические и аналитические методики решения основных задач кинематики определяют конструкцию большинства современных манипуляторов.

В научно-исследовательской работе с учётом реальных возможностей модели Kawasaki FS03N построена траектория движения манипулятора, которую он должен воспроизводить при покраске объектов. Также разработан набор алгоритмов и их программная реализация, позволяющая моделировать конкретный шестизвенный манипулятор с шестью вращательными степенями свободы. С помощью этих алгоритмов, во-первых, по конкретным координатам точек траектории может быть сгенерирован набор позиций, который должен быть вставлен в программу управления на специализированном языке программирования роботов Kawasaki AS, а, во-вторых, их можно использовать в самой системе управления роботом с целью позиционирования. Все эти средства позволяют организовать процесс покраски объектов при помощи робота-манипулятора.

### Литература

1. М.Шахинпур. Курс робототехники. Под редакцией С.Л.Зинкевича. – Москва “Мир”, 1990. — 380с.
2. Амосов А.А, Дубинский Ю. А, Копченова Н. В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. – М.: Высш. Шк., 1994, С.105-113, 201-207.
3. AS язык программирования. Руководство по программированию. Kawasaki Heavy Industries, Ltd, 2002. — 335с.
4. К.Фу, Р.Гонсалес, К.Ли. Робототехника. Под редакцией В.Г. Градецкого. –Москва “Мир”, 1989. — 620с.
5. Bill Baxter. Презентация «Fast Numerical Methods for Inverse Kinematics». University of North Carolina at Chapel Hill, 2000.
6. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. -М., 1976, С.16 -26.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОПУТНЫХ И ВСТРЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ В ГЛАДКОМ ВОЛНОВОДЕ

Мозговой Ю.Д., Хриткин С.А.  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В линейном приближении развиты методы теории связанных волн пространственного заряда для попутных и встречных потоков с учетом коэффициента редукации плазменных колебаний. Записаны уравнения связанных волн и получено решение дисперсионного уравнения в режимах трех- и четырехволновой связи волн. Рассмотрены особенности режимов взаимодействия с усилением и без усиления волн.

#### **Investigation of passing and counter electron beams interaction in a smooth waveguide, Mozgovoy Yu.D., Khritkin S.A.**

In the linear approximation developed methods of theory related charge waves for passing and counter electron beams with the reduction factor of plasma oscillations. Write the equation of coupled waves and obtained the solution of the dispersion equation of three and four-waves coupling. The features of modes of interaction with and without amplification of waves are considered.

#### **Введение**

Главные тенденции развития современной радиоэлектроники – повышение частоты и увеличение мощности различных устройств. Электроника сверхвысоких частот возникла как развитие низкочастотной радиотехники по мере продвижения в сторону все более высоких частот (или соответственно, все более коротких волн). Физические размеры среды распространения волны и неоднородностей в этих приборах не должны превышать длины волны, следовательно, принципиально наличие находящихся в непосредственной близости от электронного пучка электродов, размеры которых не превышают длину волны усиливаемого или генерируемого излучения. Это обстоятельство и является основным препятствием при создании мощных усилителей и генераторов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн.

В линейном приближении развиты методы теории связанных волн пространственного заряда для попутных и встречных потоков с учетом коэффициента

редукции плазменных колебаний [1-3]. Записаны уравнения связанных волн и получено решение дисперсионного уравнения в режимах трех и четырехволновой связей волн.

Рассмотрены особенности режимов взаимодействия с усилением и без усиления волн. Двухлучевое усиление без обратной связи (типа ЛБВ) наблюдается в системе попутных потоков. Двухлучевое усиление с обратной связью (типа ЛОВ – усилителя), а также двухлучевая генерация (типа ЛОВ – генератора) отмечаются в системе встречных электронных потоков

Будем считать, что в области дрейфа потоки хорошо перемешаны и реализуется продольное взаимодействие частиц. При ограниченной интенсивности потоков частицы движутся с постоянной скоростью, задаваемой ускоряющими потенциалами. В двухлучевых устройствах на попутных потоках усиление сигнала определяется взаимодействием пучков, имеющих различные скорости, при этом часть кинетической энергии одного потока превращается в энергию возрастающей волны второго потока [1-2]. Использование встречных пучков позволяет рассмотреть процессы генерации микроволн при продольном взаимодействии с внутренней обратной связью по потоку. Электронная мода генерации отличается перекачкой энергии между волнами пространственного заряда без участия электродинамических систем [3].

### 1. Основные уравнения связанных волн электронного потока

В рамках гидродинамического приближения и метода связанных волн проводилось теоретическое исследование продольного непрерывного взаимодействия двухлучевых потоков в круглом гладком волноводе. В линейном приближении методами теории связанных волн исследуются дисперсионные характеристики при непрерывном взаимодействии попутных или встречных электронных потоков.

Общее уравнение продольных связанных волн пространственного заряда, распространяющихся в попутных или встречных электронных потоках, имеет следующий вид [1-2]

$$\left[ \frac{d}{dz} + i \frac{\omega}{v_{01,2}} \right] V_{e1,2} = -i \left( \frac{\omega_p}{v_0} Z_{п} J \right)_{1,2} - i \left( \frac{\omega_p}{v_0} Z_{п} J \right)_{2,1}, \quad (1)$$

где для встречного потока  $v_{02} < 0$ ,  $V_{e1,2}$  – релятивистский кинетический потенциал,

$$V_{e1,2} = \left( \frac{m}{|e|} v_{\omega z} |v_0| \gamma_0^3 \right)_{1,2}, \quad J_{1,2} = j_{\omega z 1,2} S_{п1,2}, \quad S_{п1,2} - \text{площадь потока}, \quad Z_{п} = \frac{Z_{п0}}{K_{\gamma}} -$$

релятивистское волновое сопротивление потока, здесь

$$\left\{ Z_{п0} = \frac{2 |V_0| \omega_p}{|J_0| \omega}, \quad K_{\gamma} = \frac{2 |\eta| |V_0|}{v_0^2 \gamma_0^2} \right\}_{1,2}, \quad \beta_{p1,2} = \frac{\omega_{p1,2}}{|v_{01,2}|} - \text{постоянная}$$

распространения.

В методе связанных волн в теорию вводятся амплитуды нормальных волн плазменных колебаний в потоке. Они даются соотношением

$$a_{p1,2\pm} = \frac{1}{4 \sqrt{Z_{п1,2}}} [V_{e1,2} \pm Z_{п1,2} (-J_{1,2})]. \quad (2)$$

Кинетический потенциал электронных потоков  $V_{e1,2}$  и ток  $J_{1,2}$  выражаются через амплитуды нормальных волн

$$V_{e1,2} = 2\sqrt{Z_{п1,2}}(a_{p1,2+} + a_{p1,2-}),$$

$$J_{1,2} = \frac{2}{\sqrt{Z_{п1,2}}}(a_{p1,2+} - a_{p1,2-}).$$

Уравнения связанных волн плазменных колебаний в первом (или втором) потоке, находящемся под воздействием кулоновского поля другого потока, имеют вид

$$\left[ \frac{d}{dz} + i \left( \frac{\omega}{v_{01}} \mp \frac{\omega_{p1}}{v_{01}} \right) \right] a_{p1\pm} = -c_{12}(a_{p2+} - a_{p2-}), \quad (3a)$$

$$\left[ \frac{d}{dz} + i \left( \frac{\omega}{v_{02}} \mp \frac{\omega_{p2}}{v_{02}} \right) \right] a_{p2\pm} = -c_{21}(a_{p1+} - a_{p1-}), \quad (3б)$$

где  $c_{12}$  - коэффициенты связи волн [1].

В случае узкого потока происходит замена плазменной частоты  $\omega_p$  на редуцированную плазменную частоту  $\omega_{q1,2} = \omega_{p1,2} R_{1,2}$ ,  $\omega_{p1,2} \Rightarrow \omega_{q1,2}$ ,  $\beta_{p1,2} \Rightarrow \beta_{q1,2}$ ,  $Z_{п1,2} = (2V_{01,2}/I_{01,2})(\omega_{q1,2}/\omega)/K_{\gamma 1,2}$ ,

$$a_{q1\pm} = 1/(4Z_{п1}^{1/2})[V_{e1\pm} Z_{п1}(-J_1)],$$

$$a_{q2\pm} = 1/(4Z_{п2}^{1/2})[V_{e2\pm} Z_{п2}(-J_2)].$$

Уравнения связанных волн для попутных потоков приобретают вид

$$\left[ \frac{d}{dz} + i(\beta_{e1} \mp \beta_{q1}) \right] a_{q1\pm} = -i|c_{12}|(a_{q2+} - a_{q2-}), \quad (4a)$$

$$\left[ \frac{d}{dz} + i(\beta_{e2} \mp \beta_{q2}) \right] a_{q2\pm} = -i|c_{21}|(a_{q1+} - a_{q1-}). \quad (4б)$$

Уравнения связанных волн для встречных электронных потоков имеют вид

$$\left[ \frac{d}{dz} + i(\beta_{e1} \mp \beta_{q1}) \right] a_{q1\pm} = i|c_{12}|(a_{q2+} - a_{q2-}), \quad (5a)$$

$$\left[ \frac{d}{dz} - i(\beta_{e2} \mp \beta_{q2}) \right] a_{q2\pm} = -i|c_{21}|(a_{q1+} - a_{q1-}). \quad (5б)$$

Для получения характеристического уравнения связанной системы общее решение ищется в виде:

$$a_{q2\pm}(z) = a_{q2\pm}(0)\exp(\gamma z),$$

$$a_{q1\pm}(z) = a_{q1\pm}(0)\exp(\gamma z). \quad (6)$$

Для нахождения комплексного коэффициента распространения  $\gamma$  предполагаемые решения (6) подставляются в систему уравнений для попутных электронных потоков (4), (или в систему уравнений (5) для встречных электронных потоков), после чего находится детерминант системы, который приравнивается к нулю

$$\begin{vmatrix} -\gamma - i\beta_{q1+} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & -\gamma - i\beta_{q1-} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & -\gamma - i\beta_{q2+} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & -\gamma - i\beta_{q2-} \end{vmatrix} = 0. \quad (7)$$

Полученное характеристическое уравнение (7) непрерывного четырехволнового двулучевого взаимодействия справедливо в широкой полосе частот. Характер решения

зависит от выбора коэффициента взаимодействия потоков  $M_{12}$  и других параметров. При малых значениях параметра  $M_{12}$  легко выделяются области аperiodической связи (режим усиления ЛБВ) или периодической связи волн с усилением входного сигнала (режим ЛОВ). По мере увеличения коэффициента связи совершается переход к трехволновой и четырехволновой связям электронных волн.

## 2. Исследование особенностей взаимодействия для попутных электронных потоков

Взаимодействие в устройствах на попутных потоках (рис. 1) зависит от редуцированных частот плазменных колебаний пучков и условий синхронизма волн пространственного заряда. Используется расширенное выражение для редуцированной плазменной частоты с учетом динамических поправок [2]. Если не учитывать коэффициент редукиции, то условия синхронизма могут не выполняться. В частности, в случае попутных пучков эффективное взаимодействие достигается при синхронизме медленной волны широкого (с большим радиусом действия кулоновских сил) потока и быстрой волны узкого (с малым радиусом действия кулоновских сил) потока.

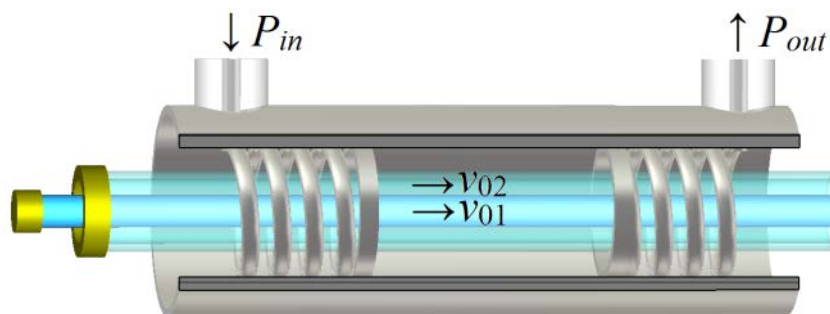


Рис. 1. Общая схема прибора при взаимодействии попутных электронных потоков.

Связь быстрых волн пространственного заряда попутных потоков (БВПЗ) характеризуется периодической перекачкой энергии (периодическая связь - ПС). Периодической перекачкой характеризуется также связь двух медленных волн попутных потоков. Взаимодействие медленной волны пространственного заряда (МВПЗ) с быстрой волной в попутных потоках приводит к экспоненциальному усилению (режим двулучевого усилителя типа ЛБВ). Под словом «широких» будем понимать потоки с не редуцированной плазменной частотой  $\omega_{p1,2}$  (коэффициент редукиции  $R_{1,2} = 1$ ).

Рассмотрим режимы усиления ЛБВ в системе двух попутных электронных потоков в круглом гладком волноводе (рис. 2). Из рис. 2а видно, что условия синхронизма выполняются для быстрой волны более медленного электронного потока и медленной волны более быстрого пучка. Рассматривается случай трехволновой связи волн, соответствующий аperiodической связи волн с усилением и периодической перекачке мощности. Полученные дисперсионные характеристики замедления от длины волны на рис. 2а соответствуют зависимостям комплексной частоты от волнового числа, приведенным на рис. 2б. Дисперсионные зависимости на рис. 2б согласно правилам Стэррока соответствуют конвективной неустойчивости двухпучкового взаимодействия потоков заряженных частиц.

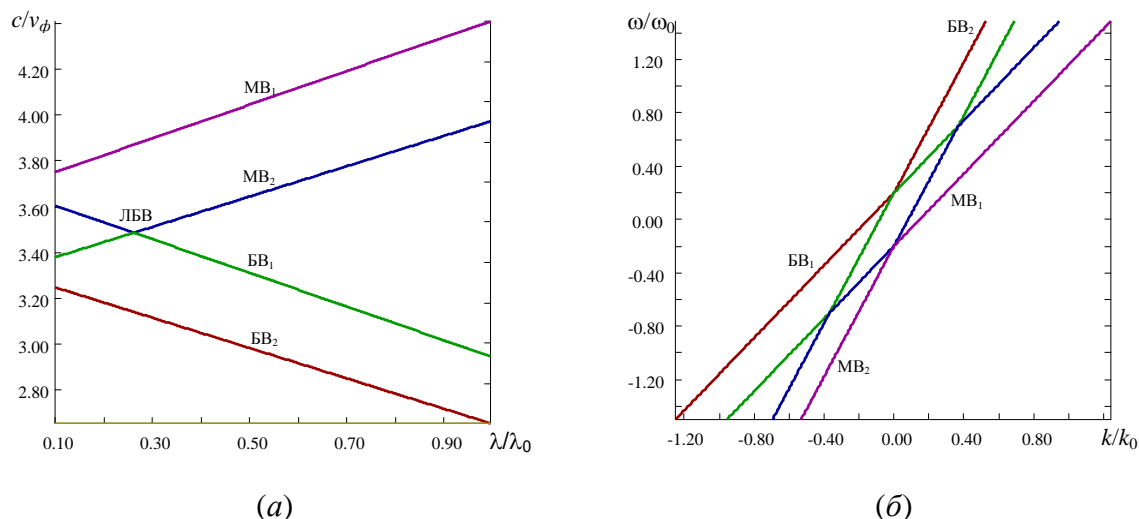


Рис. 2. Дисперсионные зависимости медленных и быстрых волн пространственного заряда попутных потоков заряженных частиц в координатах  $c/v_\phi=f(\lambda/\lambda_0)$  – (a) и  $\omega/\omega_0=f(k/k_0)$  – (б)

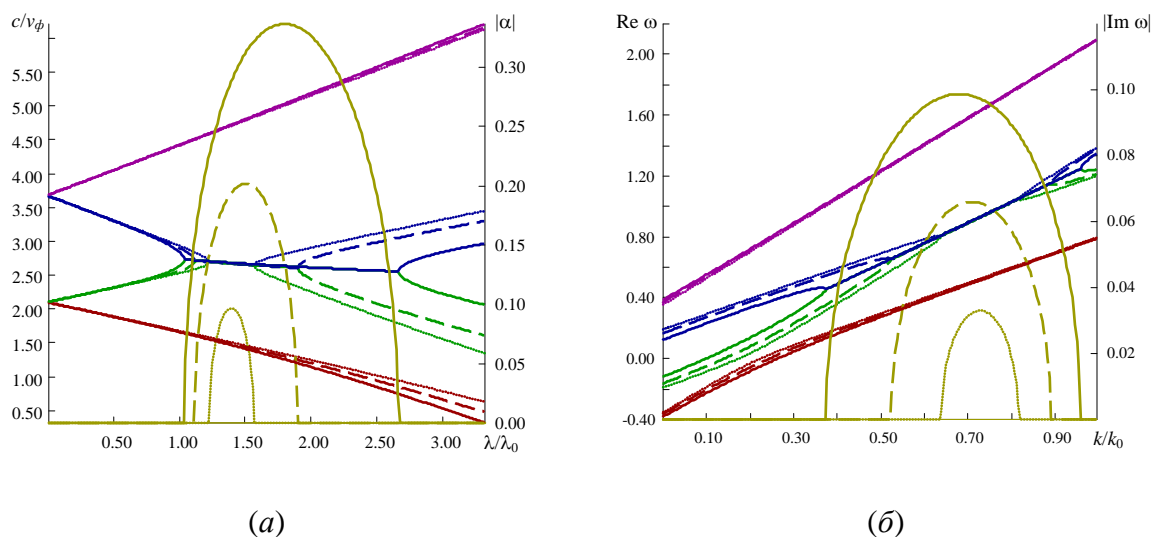


Рис. 3. Дисперсионные зависимости взаимодействия двух широких попутных потоков заряженных частиц ( $U_{01}=20$  кВ,  $U_{02}=70$  кВ,  $\omega_{p1,2}=0,2$ ) в координатах (a) –  $c/v_\phi=f(\lambda/\lambda_0)$  и (б) –  $\omega/\omega_0=f(k/k_0)$ :  $M_{12}=M_{21}=0,25$  (пунктирные линии);  $0,5$  (штриховые линии);  $0,75$  (сплошные линии)

В общем случае следует рассматривать взаимодействие попутных широких или узких пучков заряженных частиц. Взаимодействие быстрых волн этих потоков соответствует направленному ответвлению с периодической или аperiodической связью волн. Попутный поток рассматривается с ограниченным расхождением медленных и быстрых волн. При слабой связи широких попутных потоков заряженных частиц возникает двухволновая связь волн (рис. 3), а при связи узкого и широкого попутных пучков реализуется трехволновая связь (рис. 4).



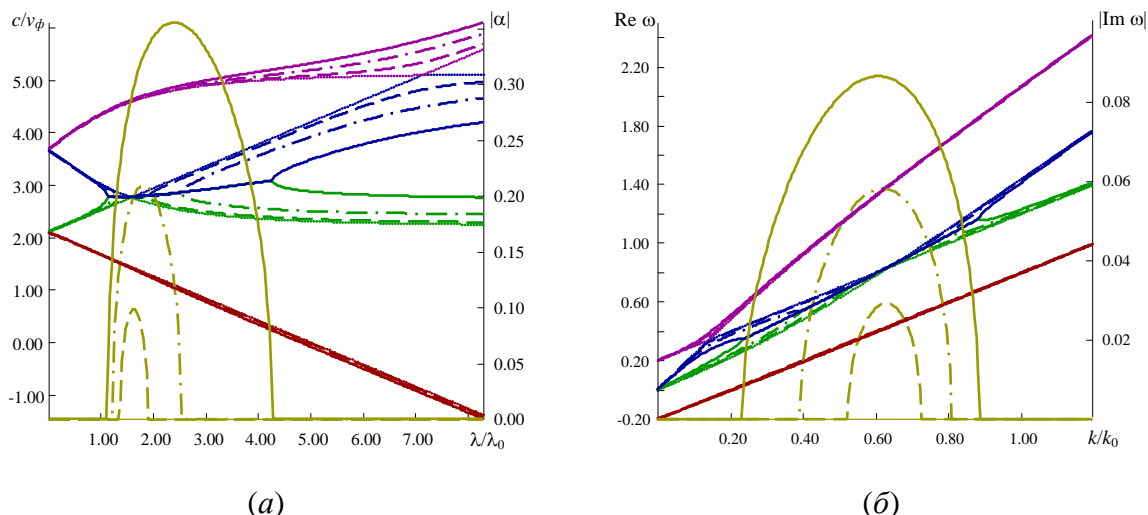


Рис. 4. Дисперсионные зависимости взаимодействия узкого и широкого попутных электронных потоков ( $U_{01} = 20$  кВ,  $R_1 = 0.5$ ,  $U_{02} = 70$  кВ;  $\omega_{p1,2} = 0.2$ ) в координатах: а)  $c/v_\phi = f(\lambda/\lambda_0)$  и б)  $\omega/\omega_0 = f(k/k_0)$  при изменении коэффициента взаимодействия пучков:  $M_{12} = M_{21} = 0$  (пунктирные линии); 0.25 (штриховые линии); 0.5 (штрихпунктирные линии); 0.75 (сплошные линии)

Дисперсионные характеристики трехволнового взаимодействия попутных пучков во многом аналогичны кривым дисперсии ЛБВ в трехволновом приближении. Как и в ЛБВ, отчетливо наблюдается смещение максимума усиления в сторону больших расстройок при увеличении параметра пространственного заряда.

### 3. Исследование особенностей взаимодействия для встречных электронных потоков

Двулучевое усиление с обратной связью (ЛОВ – усилитель), а также двулучевая генерация (ЛОВ – генератор) отмечаются в системе встречных пучков (рис. 5). Минимальные пусковые токи достигаются при условии синхронизма и выборе стартовой длины области взаимодействия, соответствующей длине полной перекачки энергии между волнами. По мере приближения тока пучка к пусковому значению область усиливаемых частот сужается, а усиление заметно возрастает.

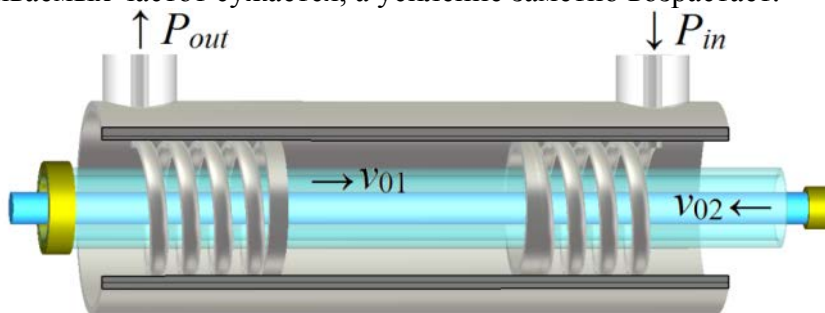


Рис. 5. Общая схема прибора при взаимодействии встречных электронных потоков

Связь быстрых волн пространственного заряда двух широких встречных потоков (рис. 6а) характеризуется монотонным изменением энергии вдоль области взаимодействия без усиления (аперриодическая связь - АС). При этом связи с медленными волнами потоков отсутствуют, и усиление в системе не наблюдается.

Дисперсионные зависимости комплексной частоты от волнового числа приведены на рис. 6б.

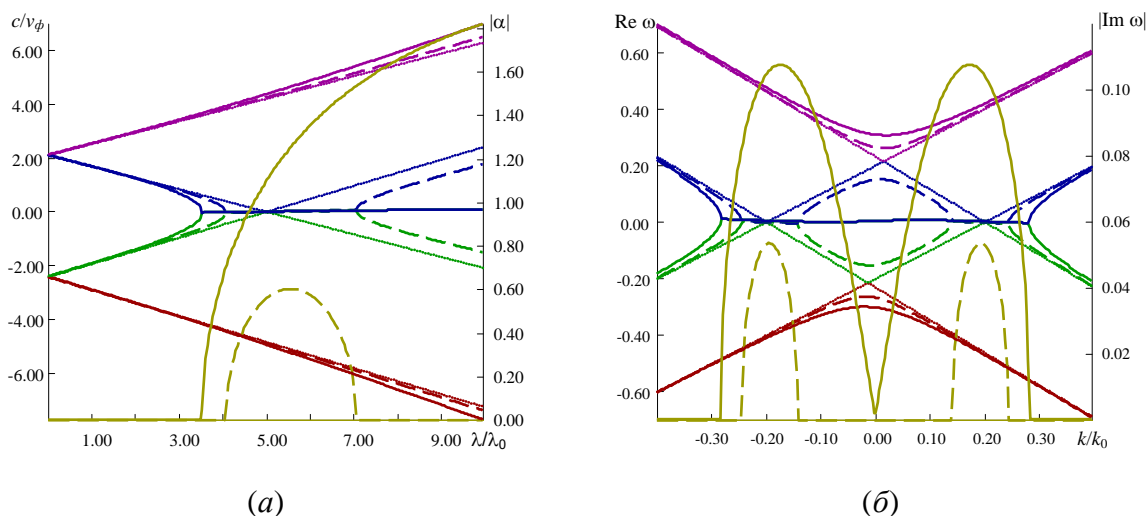


Рис. 6. Дисперсионные зависимости взаимодействия двух широких встречных электронных потоков ( $U_{01} = 50$  кВ,  $U_{02} = 70$  кВ (встречный);  $\omega_{p1,2} = 0.2$ ) в координатах: а)  $c/v_\phi = f(\lambda/\lambda_0)$  и б)  $\omega/\omega_0 = f(k/k_0)$  при изменении коэффициента взаимодействия пучков:  $M_{12}=M_{21} = 0$  (пунктирные линии), 0.5 (штриховые линии), 1.0 (сплошные линии)

В случае двух встречных пучков условия синхронизма также зависят от коэффициента редукции и выполняются при взаимодействии широких и узких потоков. Если быстрая волна широкого встречного потока находится в синхронизме с медленной волной прямого узкого потока, то получаем аналог режима ЛОВ усилителя (рис. 7).

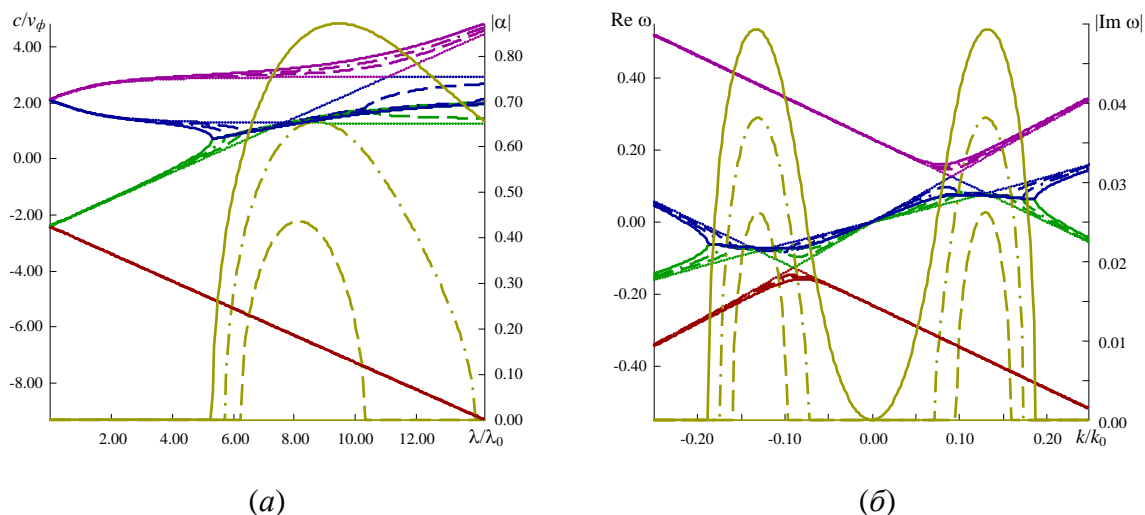


Рис. 7. Дисперсионные зависимости взаимодействия узкого попутного и широкого встречного электронных потоков ( $U_{01} = 50$  кВ,  $R_1 = 0.5$ ,  $U_{02} = 70$  кВ;  $\omega_{p1,2} = 0.2$ ) в координатах: а)  $c/v_\phi = f(\lambda/\lambda_0)$ ; б)  $\omega/\omega_0 = f(k/k_0)$  при изменении коэффициента взаимодействия пучков:  $M_{12}=M_{21}=0$  (пунктирные линии); 0.5 (штриховые линии); 0.75 (штрихпунктирные линии); 1.0 (сплошные линии)

Взаимодействие узкого попутного и широкого встречного потоков позволяет реализовать четырехволновое взаимодействие, объединяющее механизмы периодической связи с усилением (типа ЛОВ), а также аperiodической связи волн без усиления (рис. 7а). Характер этих связей зависит от выбора величины параметра взаимодействия. С увеличением этого параметра низкочастотная граница области комплексного решения смещается в сторону меньших частот (больших длин волн) и переходит в комплексное решение на нулевой частоте.

На дисперсионных характеристиках получается область расталкивания кривых. Так как осуществляется периодическая связь волн пучков заряженных частиц – связь медленной волны попутного потока с быстрой волной встречного потока, то это соответствует режиму связи волн с усилением – режиму ЛОВ. Основную роль играет интерференционный механизм периодической связи волн взаимодействующих потоков. При длине полной перекачки энергии волн возникает эффективная обратная связь с усилением, а при токах пучка, превышающих пусковые значения, совершается переход к режиму генерации (к аналогу ЛОВ генератора).

На рис. 7б приведены дисперсионные зависимости комплексной частоты от волнового числа. Согласно правилам Стэррока, полученные дисперсионные характеристики соответствуют абсолютной двухпучковой неустойчивости попутного и встречного потоков заряженных частиц.

#### Заключение

В рамках гидродинамического приближения в режиме слабого сигнала развита волновая методика теории связанных волн пространственного заряда для попутных и встречных электронных потоков с учетом коэффициента редукции плазменных колебаний. Записаны уравнения связанных волн и получено решение дисперсионного уравнения в режимах трех и четырехволновой связи волн пространственного заряда.

Исследованы режимы взаимодействия типа ЛБВ-усилителя и направленного ответвителя с периодической связью волн в случае взаимодействия попутных электронных потоков. Исследованы режимы взаимодействия типа ЛОВ-усилителя и направленного ответвителя с аperiodической связью при взаимодействии встречных электронных потоков.

#### Литература

1. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Слепков А.И. Излучение мощных электронных потоков в резонансных замедляющих системах. Москва, изд. МГУ. 1993 г.
2. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Слепков А.И., Хриткин С.А. Четырехволновое взаимодействие потока и поля в резонансном периодическом волноводе // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42. № 3. С. 341-347.
3. Канавец В.И., Мозговой Ю.Д., Слепков А.И., Хриткин С.А. Взаимодействие затухающей обратной волны периодического волновода с медленной волной электронного потока // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42. № 7. С. 857-862.

## MATHEMATICAL MODEL OF CONTROL IPTV NETWORK

Kamalov J., Mukhitdinov B.  
*Huawei Tech. Investment Tashkent*

### 1.Statement of task

As object of quality control of the IP TV network we will understand set of means, information on which technical condition is necessary for management of system. To define a technical condition of the specified means, it is necessary to choose, first of all, the parameters of quality control characterizing this condition and their limiting values. As controllable parameter of the IP TV network the waiting time of packages is chosen, the waiting time depends on a set of factors:

- parameters of a stream and system loading
- parameters of the channel and data transmission equipment
  - method of information protection
- algorithm of work and principle of management of elements
- operational reliability of a network and also from quality of perception and quality of service of the IP TV network

The waiting time can be set by functional:

$$T_{ооч} = f[K_r(d, C), \rho(\lambda, V, C_3, \mu), Y] \quad (1)$$

- $\mu$  - intensity of service stream and message (packages);
- $d$  - intensity of restoration of a network;
- $C$  - intensity of serviceable work of a network;
- $\rho$  - network loading;
- $\lambda$  - intensity of receipt of a stream and message (packages);
- $V$  - stream and message capacity (packages);
- $C_3$  - carrying capacity of channels and junction's;
- $Y$  - algorithm of management of a network;

At certain values of parameters of a functional (1), the waiting time accepts concrete value which we will consider as an acceptable waiting time for an assessment of quality of perception and quality of service of the IP TV network. For preset values of argument of function (1), the waiting time shouldn't exceed admissible value. Waiting idle time by the message over admissible value is considered degradation of perception and quality of service of the IP TV network.

In summary, with reference to networks degradation of perception and quality of service of the IP TV network it is possible to call any event causing expectation of transferred information for a while equal or bigger of a acceptablr waiting time, that is  $t_{ооч} \geq t_{дон}$ .

In summary, the research problem is reduced to the following: the admissible interval of a waiting time which gives the chance to define degradation of perception and quality of service of the IP TV network, by control of this interval of time is entered.

For obtaining mathematical model of quality control of the IP TV network the mathematical apparatus which is based on likelihood interpretation of transformations of Laplasa-Stiltyes is used. Using this mathematical apparatus, we will receive functions of distribution (FOD) of probability of not excess of a waiting time of admissible value of the IP TV network.

## 2. IPTV Network

The IP TV technology is a service which broadcast on a data transmission network through the PSTN (Public Switched Telephone Network). The television signal is transferred according to the special protocol to end users whom videos, user can watch both on the screen

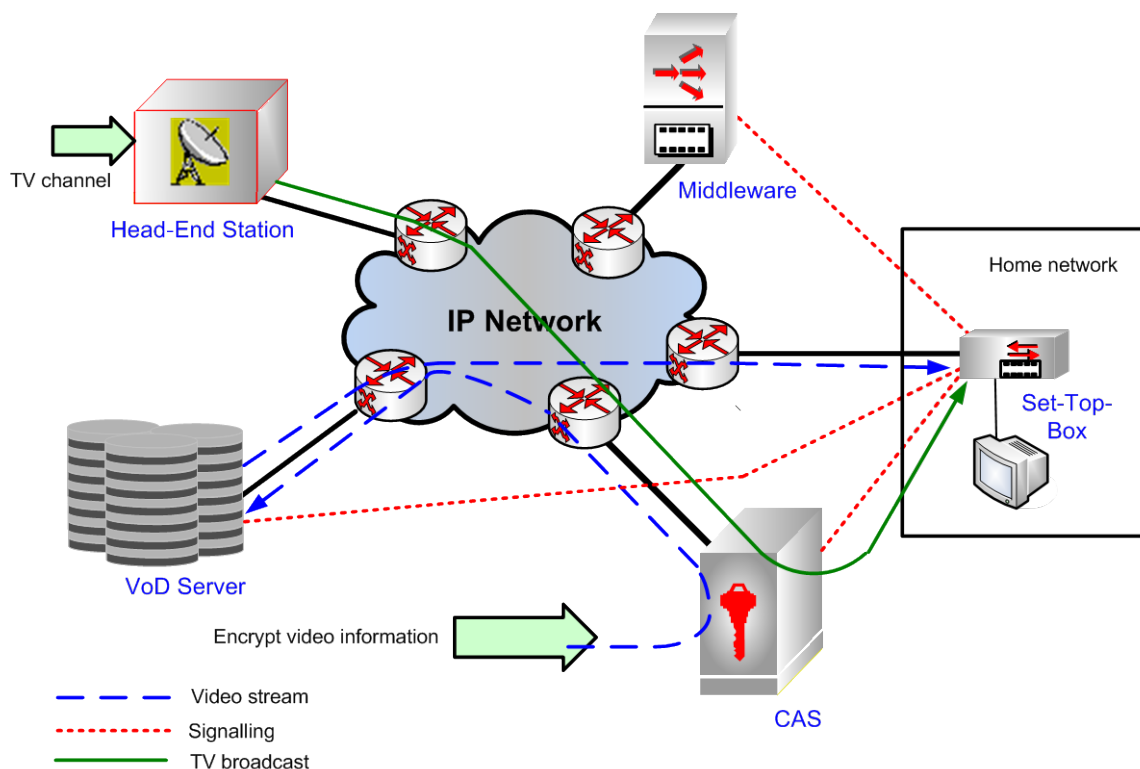
of the computer monitor or in TV. For viewing of IP TV TV channels on the ordinary TV the special prefix of Set Top Box (STB) which decodes video data is used and displays decryption video of the TV. IP TV it is possible to watch and on the monitor of the home computer, for this purpose there is no need to buy STB, it is enough to be connected to the Internet on the xDSL technology.

Connection to IP TV is possible only in the area of xDSL therefore in any case regardless of, whether you are going to watch interactive television on TV or by means of the computer, it is necessary for you to get the ADSL modem and to be connected to IP-TV on the xDSL technology.

The architecture of the IP TV complex includes the following components:

- Head-end station
- Middleware Service Platform
- Video Server of VOD(Video on Demand) content
- Conditional Access System (CAS)
- Subscriber equipment STP (Set Top Box)

Content delivery for the client equipment is carried out over a communications service provider IP network.



Picture 1. Functional and technical architecture of the IP TV platform

In the IP TV networks quality of service is defined on параметрамы qualities of service (Quality of Service – by QoS) and qualities of perception (Quality of Experience). The current trend of convergence of networks of various types resulted in need of transfer by a network of all types of a traffic, and not just a traffic of appendices of access traditional for computer networks to files and e-mail.

Various types of a traffic make different demands to QoS characteristics.

As the main criteria three characteristics of a traffic are accepted:

- relative predictability of speed of data transmission;

- sensitivity of a traffic to delays of packages and their variations;
- sensitivity of a traffic to losses and distortions of packages;

The traffic of appendices can be divided into two classes conditionally:

1. Stream - appendices with a stream traffic generate the uniform data flow arriving in a network with constant bit speed;

2. Pulsing (burst) – appendices with a pulsing traffic differ high degree of unpredictability when the periods of silence are replaced by a pulsation during which packages "densely" follow one after another.

Expand in a broadcasting mode on video IP networks (the IGMP protocol in the majority of networks) in any way doesn't guarantee identical quality of accepted video of the image at all users who are at the same time looking the same channel. So far as width of a pass-band resources of a transport component of IP TV pretty poor, it follows from this that the more will desire subscribers to involve the IP TV service, the high probability of falling of an index of QoE. Greatly it is important that network the equipment it was constantly tested at continuously increasing quantity as subscribers, and IP TV channels with a view of definition of that critical point at which the size IP TV QoE in recalculation on one subscriber leaves on inadmissible level.

IP TV QoE represents degree of satisfaction of users from videos of services provided to them. The perception subscribers of quality of IP TV systems should be equivalent or even to surpass modern cable or satellite TV services, , in an opposite case Providers of services are exposed to risk of reduction of the subscriber base.

The factor of IP TV QoE is subject a various commercial factor, such as cost of services, quality of a broadcast content, and also to characteristics of provided services.

Quality of service and quality of perception as it was already noted above, IP TV is conceived as a network with the guaranteed level of QoS. services. Certainly, thus problems of QoS are given a lot of attention. Recently as a result of additional researches of problems of providing QoS in the NGN networks the offer on introduction of a new metrics of quality - quality of perception (by QoE - Quality of Experience) was brought. QoE should combine in as objectively measured indicators of quality, for example, an average delay, and subjective - degree of sufficiency of the user a content offered by provider in the IP TV network.

### 3. Mathematical model of quality control of the IP TV network

For definition of probability of not excess of a waiting time the beginning of service of packages of acceptable value of the IP TV network it is used likelihood interpretation of transformation of Laplas-Stiltyes (TLS) and get probabilities of not excess of a waiting time the beginning of service of packages of acceptable value - -  $\omega(S/\tau)$ .

$$\omega(s/\tau) = \frac{1 - \lambda * h1}{1 - Kn(1 + d\tau) \exp(-d\tau)} \frac{sKz + dKn - dKn * \varphi(s/\tau)}{s - \lambda + \lambda * h(s/\tau)} \quad (2)$$

Here,

S- Operator of Laplas

$\tau$  – acceptable waiting time service of streams;

$\varphi(S/\tau)$  – TLS function of distribution (FR) of probability of not excess by a waiting time of packages of admissible value during IP TV network restoration;

$$\varphi(s/\tau) = \frac{d}{d+s} \{1 - \exp[-(s+d)\tau]\} \quad (3)$$

$\varphi(s/\tau)$  – TLC FR probabilities of not excess by a waiting time of messages of acceptable value during IP TV network restoration;

$$\varphi_1 = \frac{1}{d} [1 - (1 + d\tau)e^{-d\tau}] \quad (4)$$

Here,  $\varphi_1$  – first moment of  $\varphi(s/\tau)$ .

$$h(s/\tau) = \frac{\mu [1 - e^{-[\mu + s + C - C*\varphi(s/\tau)]\tau}]}{\mu + s + C - C*\varphi(s/\tau)} \quad (5)$$

$h(s/\tau)$  – TLC FR probabilities of not excess by a waiting time of acceptable value for a holding time of packages of the IP TV network.

$h_1$  – first moment from  $h(s/\tau)$ .

$$h_1 = \frac{\mu \{1 + \frac{C}{d} [1 - (1 + d\tau)e^{-d\tau}]\}}{(\mu + Ce^{-d\tau})^2} * [1 - (1 + \mu\tau + \tau e^{-d\tau}) * e^{-(\mu + Ce^{-d\tau})\tau}] \quad (6)$$

Subject to (3) – (6) and using some transformation a formula (2) looks as follows.

$$\omega(S/\tau) = \frac{1 - \lambda h_1}{K_r + K_{II} [1 - (1 + d\tau)e^{d\tau}]} * \frac{SK_r + dK_{II} \frac{d}{d+S} [1 - e^{(s+d)\tau}]}{S - \lambda + \frac{\lambda \mu K_r}{\mu K_r + SK_r + dK_{II} - dK_{II} \varphi(S/\tau)}}$$

$$\frac{\mu K_r + SK_r + dK_{II} - dK_{II} \varphi(S/\tau)}{K_r} \quad (7)$$

Where  $K_{II}$  – Network delay coefficient

For finding of FR of probability of not excess by a waiting time of streams of acceptable value -  $W(t)$ , it is necessary to find return transformation from -  $\omega(s/\tau)$ . The approximate method which allows to conduct calculations with a margin error 5-10 % in more completely is for this purpose used is acceptable for engineering calculations.

$$W(t) = 1 - \frac{\lambda}{\mu} \exp\left(-\frac{\lambda}{\mu * W_1} t\right) \quad (8)$$

here  $W_1$  - first moment from -  $\omega(s/\tau)$ .

$$W_1 = \frac{1 - \lambda h_1}{\lambda [1 - h(0/\tau)]} + \frac{dK_{II} [1 - \lambda h_1]^2}{\lambda_1^2 [1 - h(0/\tau)]^2} *_{(9)} \frac{e^{-d\tau}}{1 - K_{II} (1 + d\tau) e^{-d\tau}}$$

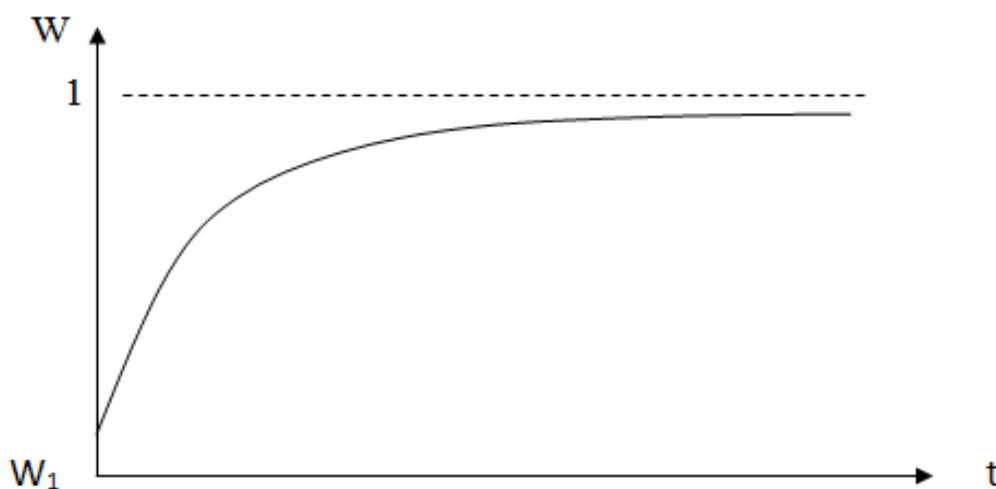
In subject, formula (9) look's as follow:

$$W(t) = 1 - \frac{\lambda * V}{C_3} \exp\left(-\frac{\lambda * V}{C_3 * W_1} t\right) \quad (10)$$

Analyzing expression (8), it is visible that at small values of a waiting time of messages, i.e. at  $t \rightarrow 0$  expression becomes:

$$W_1(t) = 1 - \frac{\lambda V}{C_3}$$

and at very great values of  $t$   $W_2(t)$  expression  $\rightarrow 1$ .



Picture 2. Dependence of FR of probability of not excess by a waiting time of messages of admissible value of the IP TV network from time.

The steepness exhibitors depends on network loading. At great values  $\rho$  speed of increase of a steepness exhibitors decreases.

Thereby, the received mathematical model of quality control of the IP TV network allows to analyze qualities of perception and quality of service of the IP TV network at various parameters of a network.

#### Literature

1. Kamalov Yu.K. , Izbasarov A.F. “Mathematical Model Data Processing Control” Uzbekistan Scientific Journal “Information Technology and Energetics” , Tashkent



, №2 2007. Page 47-50.

2. Djuraev R.Kh. “Analysing IPTV principal” Methodical Guidance for Practice course. Tashkent University Information Technology. Tashkent 2004.

3. “Introduction to IPTV” Mukhitdinov A.Kh. , Karimov D.Sh. Scientific journal “Связь и телекоммуникация” Sankt-Petersburg Telecommunication Institute M.A.Bonch-Bruevich. Sankt-Petersburg 2008.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИССИИ К ТОЧКЕ ЛИБРАЦИИ L2 СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ-ЛУНА

Аксенов С.А., Ефремова Е.В., Данхэм Д.У.\*  
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ, \*KinetX, США*

В работе представлен анализ семейства орбит непрямого перелета к точке либрации L2 системы Земля-Луна с двойным облетом Луны. Производится исследование влияния положения точки первого облета Луны на характеристики орбиты.

### **Computer simulation of a mission to the L2 libration point of Earth-Moon system. Aksenov S.A., Efremova E.V., Dunham D.W.**

The paper presents an analysis of the orbits family for indirect transfer to L2 libration point of the Earth-Moon system with double Moon swingby. The analysis of the influence of the first swingby point origin on the characteristics of the trajectory is presented.

Точки Лагранжа, также называемые точками либрации, представляют собой точки равновесия в системе двух массивных тел (в данном случае это Земля и Луна), в которых сила гравитации уравновешивается центробежной силой. Иначе говоря, в этих точках тело сравнительно малой массы может оставаться неподвижным относительно системы двух массивных тел. Орбиты вокруг точки L2 системы Земля-Луна могут быть применены при решении широкого спектра задач исследования Солнечной системы, в том числе для обеспечения связи аппаратов, находящихся на поверхности обратной стороны Луны с Землей. В перспективе рассматриваются долгосрочные миссии космических кораблей с орбитами вокруг точки L2, в т.ч. и пилотируемые [1-4], которые дадут возможность детально исследовать обратную сторону Луны, а также могут служить для изучения околоземных объектов.

В работе [1] рассматриваются различные возможности реализации миссий к точке L2, в том числе говорится о необходимости на начальном этапе исследований проанализировать возможности непрямого перелета в окрестность L2 с последующим возвращением на Землю без выхода на квазипериодические орбиты вокруг точки либрации. Общая продолжительность такой миссии должна составит около 17 дней. Выделяются основные этапы проведения миссии: запуск 23 июня 2021 г., выход на парковочную орбиту, применение маневра ТПИ (Transfer Trajectory Insertion), достижение первой точки облета Луны S1 (27 июня 2021 г., перигеум, 49 км от поверхности Луны), достижение второй точки облета Луны S2 (6 июля 2021 г., перигеум, 50 км от поверхности Луны), и возвращение на Землю (рис. 1).

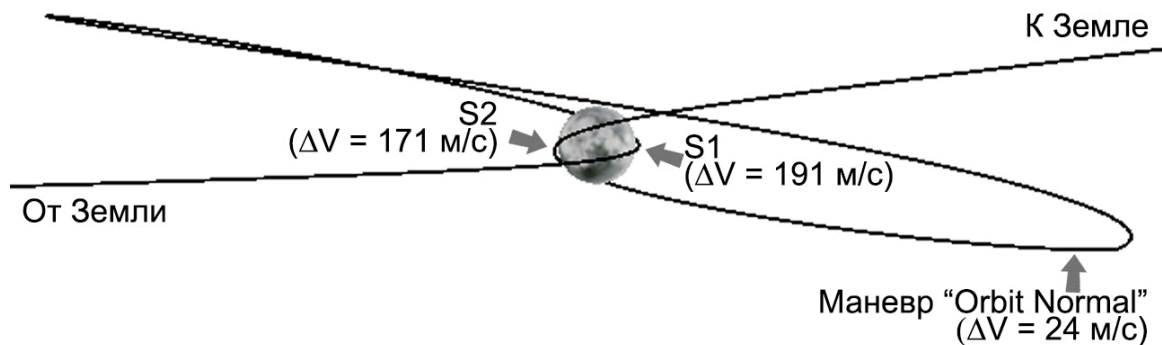


Рис. 1. Траектория с облетом Луны без выхода на гало-орбиту [1]

В статье делается предположение, что на участке траектории, проходящем за Луной, аппарат переходит на орбиту квазипериодическую Лиссажу в окрестности точки либрации L2. На этом же участке из-за воздействия гравитационных сил Луны начинает искажаться плоскость, в которой находится траектория движения космического аппарата. Для того, чтобы компенсировать искажение и вывести траекторию полета аппарата к точке S2, осуществляется маневр OrbitNormal с импульсом = 24 м/с через 7,6 дней после достижения точки S1. Возвращение аппарата на Землю осуществляется 10 июля 2021 г. с общим временем полета 17 дней и общим затраченным импульсом после старта с парковочной орбиты – 386 м/с.

В работе проводится анализ влияния положения точки первого облета Луны S1 на величину импульса маневра OrbitNormal и другие характеристики траектории космического аппарата. Выберем систему координат с началом в центре Луны так, чтобы направление оси X совпадало с направлением Земля-Луна, а оси Y – с направлением движения Луны, ось Z лежит ортогонально плоскости эклиптики и дополняет систему до правой тройки. Точка S1 определяется как точка перицентра орбиты по отношению к Луне с высотой над поверхностью Луны равной 49 километрам и координатой  $Z = 110$  км [1].

Наибольшее воздействие применяемого к аппарату импульса на траекторию достигается в точке перицентра, при этом, это воздействие тем больше, чем ближе аппарат находится к массивному телу, вокруг которого осуществляется гравитационный маневр. Этим обусловлен выбор перицентра на минимально возможной безопасной высоте – 49 км. Значение координаты Z в первую очередь влияет на степень искажения плоскости орбиты при осуществлении облета Луны.

Проектирование и анализ траектории осуществлялся в среде GMAT [5], позволяющий осуществлять расчет орбит космических аппаратов с учетом влияния гравитационных полей планет солнечной системы, солнечного ветра, релятивистских коррекций и пр.

Назначением маневра OrbitNormal является изменение орбиты аппарата таким образом, чтобы уменьшить его отклонение от плоскости эклиптики при возвращении на Землю. Поскольку это отклонение определяется координатой Z точки S1, она определяет величину маневра OrbitNormal. На рис. 2 представлен график зависимости импульса маневра OrbitNormal от координаты Z точки S1. При увеличении значения Z, величина импульса уменьшается и при Z лежащем в пределах 50 - 95 км оказывается равным нулю. Таким образом, для орбиты с данными значениями координаты Z точки S1 маневр OrbitNormal не нужен. Поскольку значение импульса маневра OrbitNormal

обусловлено возможностью возвращения на Землю, может быть построено семейство орбит к точка L2, не требующих совершения этого маневра.

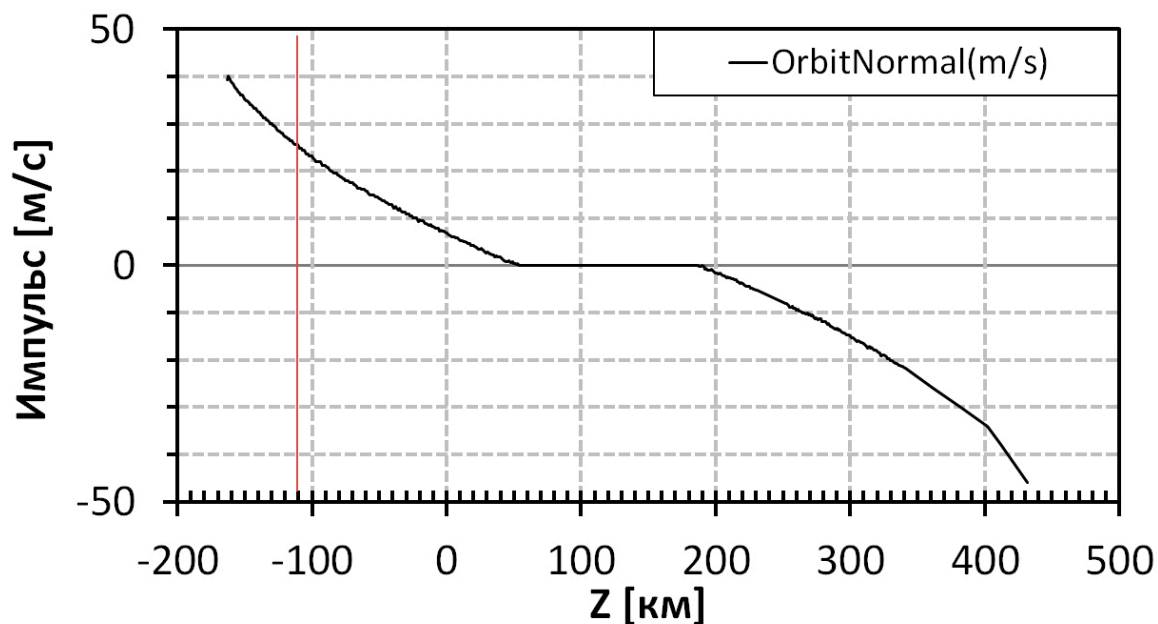


Рис.2. График зависимости импульса маневра OrbitNormal от координаты Z точки первого облета Луны S1.

На рис. 3 представлен график зависимости суммарного импульса в окрестности Луны от координаты Z точки S1 для двух различных траекторий: с применением маневра OrbitNormal и без. Хорошо видно, что для миссии без маневра OrbitNormal значение общего суммарного импульса в окрестностях Луны больше, чем для миссии с его применением. Минимальное значение необходимого суммарного импульса в окрестности Луны достигается при осуществлении облета Луны в точке S1 с координатой  $Z = 122$  км и составляет 348,6 м/с.

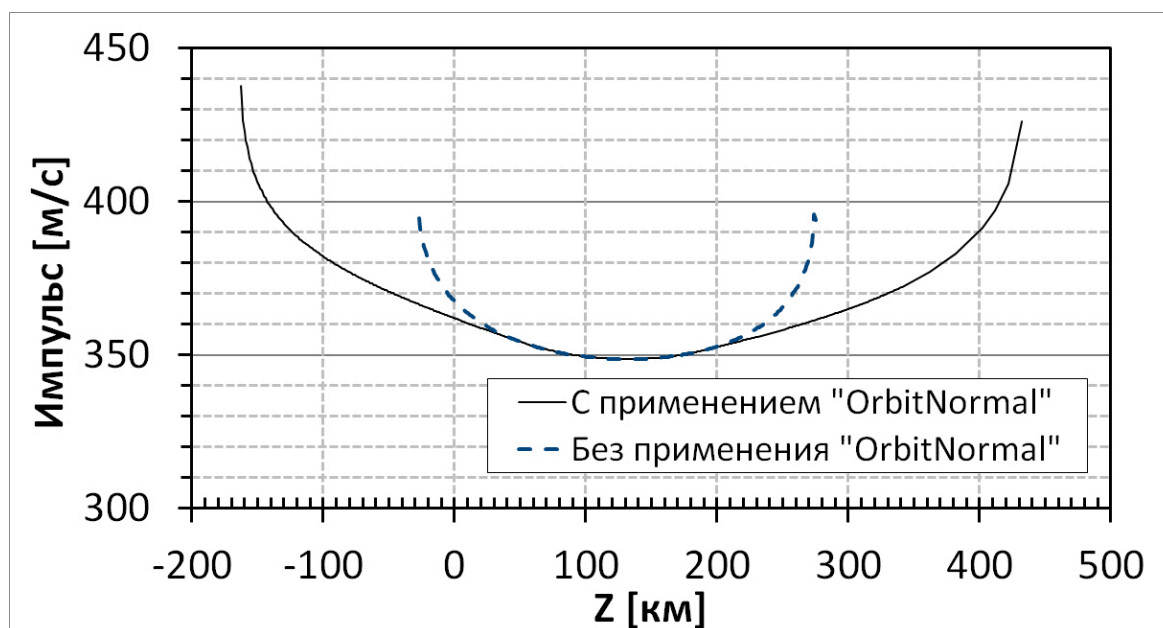


Рис. 3. Сравнение зависимостей суммарного импульса в окрестности Луны от координаты Z точки S1 для траекторий с применением маневра OrbitNormal и без него

На рис. 4 представлена зависимость времени облета Луны от координаты  $Z$  точки  $S1$  для обоих вариантов траектории. Важной характеристикой миссии является общее время видимости космического аппарата с Земли во время его нахождения за Луной. Графики зависимостей времени видимости от координаты  $Z$  точки  $S1$  представлены на рис. 5. Время видимости аппарата не совпадает с временем перелета от  $S1$  к  $S2$ , так как он может несколько раз скрываться Луной. Ярко выраженные переломы графика в точках со значениями  $Z = -50$  и  $250$  км свидетельствуют о том, что при облете Луны в точке с координатой  $Z$  лежащей между этих значений, в апогее траектории произойдет затмение аппарата Луной. Видно, что время видимости аппарата для траекторий без применения маневра "Orbit Normal" несколько больше, чем для траекторий с применением этого маневра. Таким образом, с уменьшением координаты  $Z$  до значения  $-50$  км происходит увеличение времени видимости аппарата, которое сопровождается уменьшением необходимого суммарного импульса в окрестности Луны.

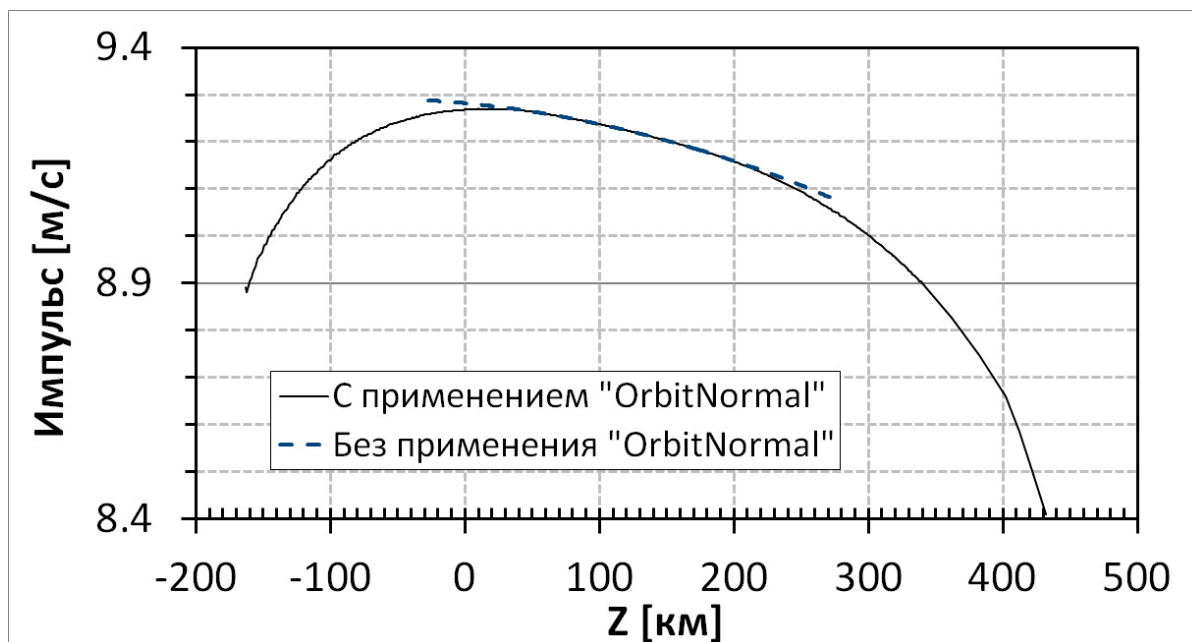


Рис. 4. Сравнение зависимостей времени нахождения аппарата за пределами орбиты Луны от координаты  $Z$  точки  $S1$

Анализ результатов показывает, что наиболее интересны миссии, в которых облет Луны происходит в точке со следующими значениями  $Z$ :

1.  $Z = -50$ . В точке траектории с таким значением координаты  $Z$  достигается экономия суммарного импульса  $dV$  порядка 20 м/с, (около 10%), при этом время видимости аппарата с Земли увеличивается на 0.1 дня.

2.  $50 \leq Z \leq 95$ . При данных значениях координаты  $Z$  можно не применять маневр OrbitNormal, и таким образом уменьшить количество запланированных маневров, что в свою очередь значительно снижает общие риски реализации миссии. Также достигается существенная экономия суммарного импульса  $dV$  в окрестности Луны на 30-40 м/с (что составляет 15-20%). Минимальное значение суммарного импульса составляет 348,6 м/с и достигается при  $Z = 122$  км. Время видимости космического аппарата с Земли в этом случае уменьшится на 0.1 - 0.2 дня по сравнению

с исходной траекторией и на 0.2 - 0.3 дня по сравнению с первым вариантом. Это является недостатком данного варианта, хотя эти ухудшения не превышают 2-3% и могут быть проигнорированы.

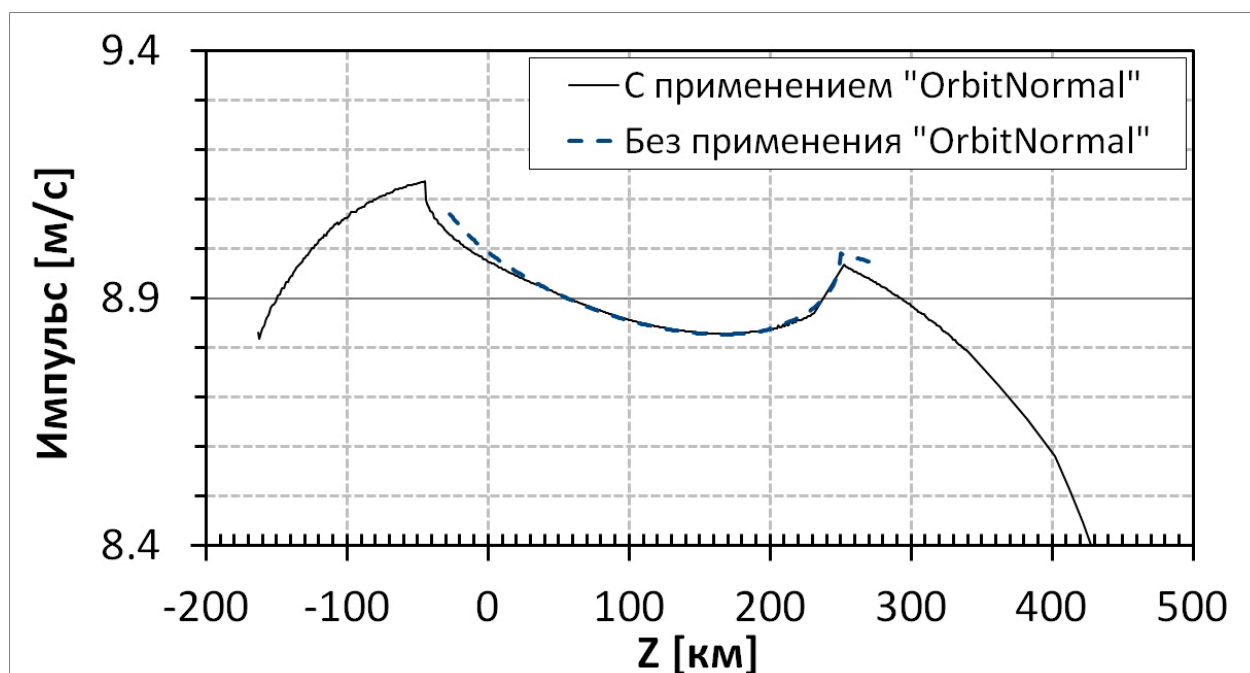


Рис.5. Сравнение графиков зависимости времени видимости космического аппарата от координаты Z точки S1

### Литература

1. D. Dunham, R. Farquhar, N. Eismont, E. Chumachenko, “New Approaches For Human Deep-Space Exploration”, представлено на ISSFD, Пасадена, Калифорния, октябрь 2012.
2. Robert W. Farquhar and Ahmed A. Kamel, “Quasi-periodic orbits about the translunar libration point”, *Celestial Mechanics*, Vol. 7, No. 4, 458-473, 1973.
3. Farquhar, R., Dunham, D., and Muhonen, D., “A New Trajectory Concept for Exploring the Earth's Geomagnetic Tail”, *J. Guidance and Control*, Vol. 4, pp. 192-196, 1981.
4. J. B. Hopkins, “Stepping Stones: A Sequence of Affordable Human Exploration Missions from Earth to the Mons of Mars.” Документ IAC-12.A5.4.4, представленный на 63-м Международном Астрономическом Конгрессе, Неаполь, Италия, октябрь 2012г.
5. Электронный ресурс: <http://gmat.gsfc.nasa.gov/>

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЕВРОПЫ

Бутенко А.Э., Чумаченко Е.Н., Аксенов С.А., Бобер С.А.  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В данной работе методы компьютерного моделирования применены к задаче описания и анализа процессов образования рельефа на поверхности спутника Юпитера Европы. Рассмотрено воздействие механических гравитационно-приливных сил на образование дефектов на поверхности Европы, используя локально однородные модели льда с различными видами дефектов на внутренней стороне коры. Показано, что размеры и форма дефектов зависят от напряженно-деформированного состояния, возникающего в окрестности неоднородностей, образующихся в результате хаотической совокупности многих процессов, в основном механических и температурных.

**Computer simulation of defects formation on Europa surface. Butenko A.E., Chumachenko E.N., Aksenov S.A., Bober S.A.**

In this work the methods of computer simulation were applied to the problem of the description and analysis of the relief forming on the surface of Europa, the Jupiter satellite. The impact of mechanical gravitational forces on the formation of defects on the surface of Europa is discussed using locally homogeneous models of ice with different shapes of defects on the internal side of the crust. It's shown that the shapes and sizes of defects depend on stress-strain state appeared around the heterogeneity forming as a result of chaotic mechanical and temperature processes.

Европа, наряду с тремя другими самыми большими спутниками Юпитера была открыта Галилео Галилеем в январе 1610 года. По размеру спутник близок к Луне. Поверхность покрыта слоем воды толщиной предположительно 100 км: частью в виде ледяной коры, частью, как полагают, в виде подповерхностного жидкого океана. Данные, полученные космическим аппаратом «Галилео» показали, что магнитное поле Европы подвержено индукции посредством взаимодействия с магнитосферой Юпитера, а это подразумевает наличие подповерхностного проводящего слоя. Поверхность Европы очень ровная, лишь немногие образования, напоминающие холмы имеют высоту несколько сот метров. Температура поверхности спутника около  $-170^{\circ}\text{C}$ . Вода, предположительно, замерзает при  $-5, -6^{\circ}\text{C}$ . Вся поверхность испещрена множеством пересекающихся линий разломов и трещин в ледяном панцире спутника. Некоторые из них почти опоясывают планету. Система трещин в ряде мест напоминает трещины на ледяном панцире Северного полюса Земли. Вероятно, Европа претерпевает постепенные изменения, в частности, образуются новые разломы. В большинстве своем они представлены трещинами, превосходящими 20 км в поперечнике, зачастую с темными диффузными внешними краями, регулярными бороздами и центральными полосами, состоящими из более светлой материи. Исследования выявили, что края некоторых трещин могут двигаться относительно друг друга по обе стороны, причем подповерхностная жидкость иногда может подниматься через трещины вверх.

На Европе имеются протяженные сдвоенные хребты; возможно, они образуются в результате нарастания льда вдоль кромок открывающихся и закрывающихся трещин. Нередко встречаются и тройные хребты. На первом этапе, в результате приливных деформаций в ледяном панцире образуется трещина, края которой разогревают окружающее пространство. Вязкий лед внутренних слоев расширяет трещину и поднимается вдоль нее к поверхности, загибая ее края в стороны и вверх. Выход вязкого льда на поверхность образует центральный хребет, а загнутые края трещины – боковые хребты. Эти процессы могут сопровождаться разогревом, вплоть до плавления локальных областей и возможных проявлений криовулканизма. На поверхности были обнаружены темные «веснушки» (лат. *lenticulae*) – выпуклые и вогнутые образования, которые могли сформироваться в результате процессов, аналогичным лавовым

излияниям (под действием внутренних сил теплый, мягкий лед движется от нижней части поверхностной коры вверх, а холодный лед оседает, погружаясь вниз).

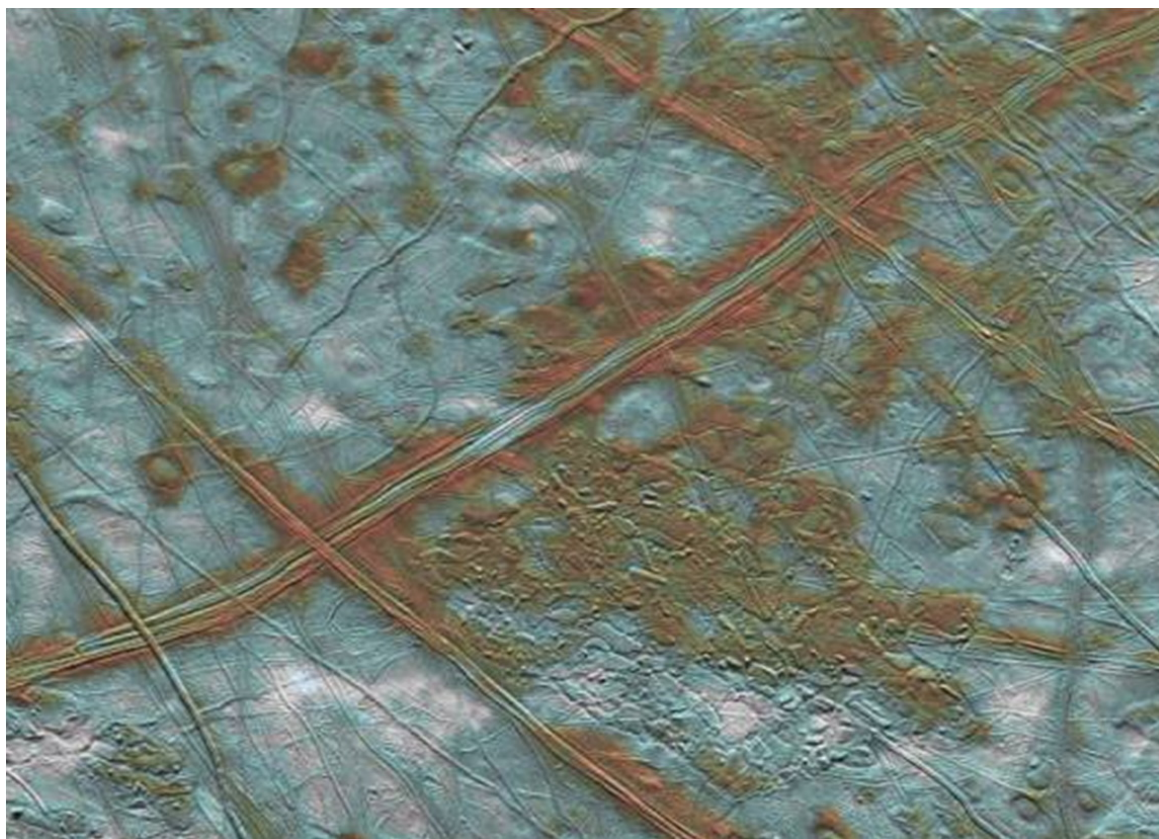


Рис. 1. Изображение линий на поверхности Европы, полученное КА «Галилео»

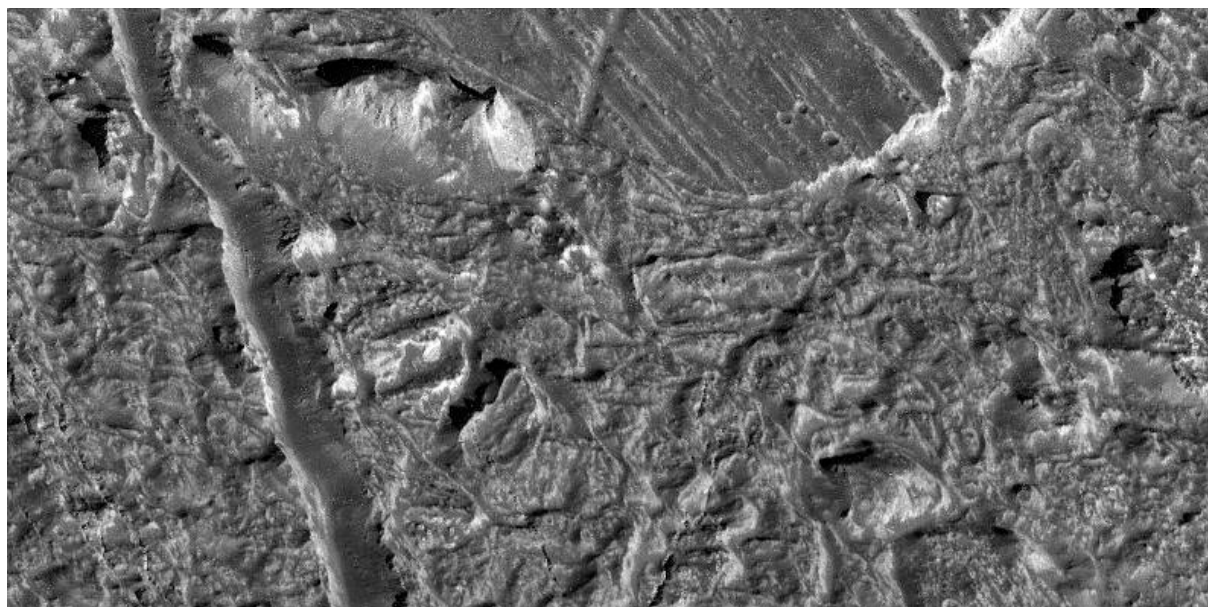


Рис. 2. Крегги, пик высотой 250м и гладкое плато, смешанные в крупном изображении Коннемарского хаоса

Вершины таких образований похожи на части более старых равнин вокруг них, что может быть признаком того, что «веснушки» сформировались, когда равнины снизу были уже сдвинуты вверх. Встречаются и более обширные темные пятна неправильной формы, образовавшиеся предположительно в результате расплавления поверхности под действием приливов океана. Таким образом, по темным пятнам можно судить о химическом составе внутреннего океана и, возможно, прояснить в будущем вопрос о существовании в нем жизни.

*Физическая постановка задачи об образовании дефектов на поверхности Европы вследствие движения ледяной коры*

Наблюдаемые данные позволяют предполагать, что температура на экваторе больше, чем на полюсах спутника, поэтому более толстый слой льда у полюсов стремится повернуться по отношению к экватору, однако панцирь образует единую поверхность, вследствие чего начинает вращаться вся оболочка. Учитывая существенную неоднородность ледяного покрова, как по толщине, так и по плотности, тектонические и тепловые воздействия, а также поверхностные нагрузки должны приводить к дефектообразованию в ледяных структурах.

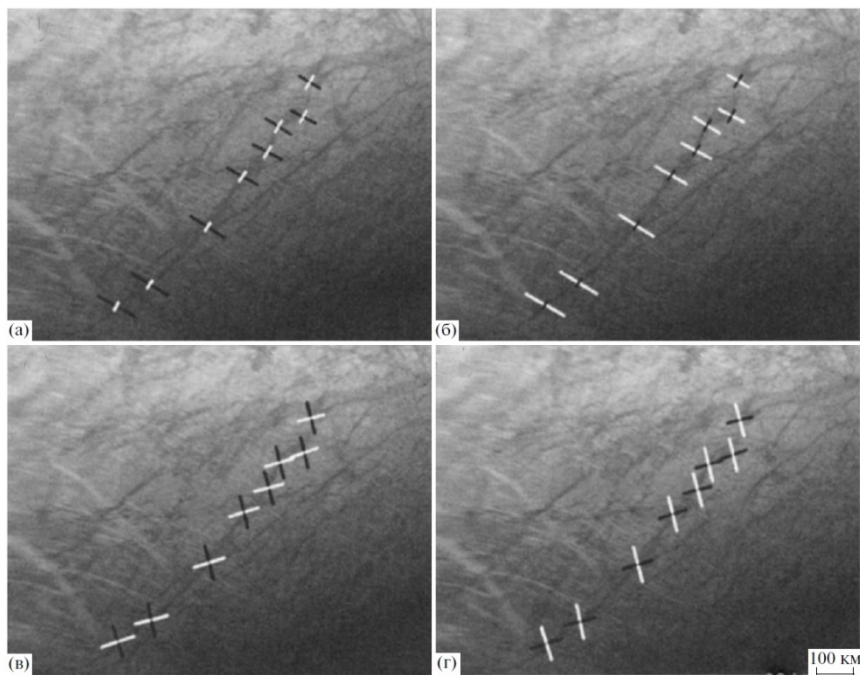


Рис. 3. Действие сил (светлые линии – сжатие, темные - растяжение)

На Рис. 3 изображены направления действия приливных сил вдоль одного из разломов, начиная с момента, когда Европа находится в самой дальней своей точке своей орбиты относительно Юпитера и когда действие сил соотносится с направлением трещины. В этом случае приливное расширение стремится осуществить раскрытие трещины. Проходя четверть орбиты Юпитера (б), на поверхности Европы в окрестности трещины возникают напряжения, могущие вызвать сдвиг вдоль рассматриваемой трещины. Еще через четверть орбиты (с) направление меняется на противоположное. Затем, после очередной четверти орбиты (д), в трещине опять возникнут сдвиговые напряжения, но уже противоположного направления. И, наконец, на завершающем этапе все возвращается в первоначальное состояние. Таким образом,



на произвольно выделенный участок ледяной поверхности Европы могут действовать сжимающие, растягивающие, сдвиговые и изгибные напряжения.

Рассмотрим часть поверхности ледяной коры с дефектами на внутренней стороне. Размеры рассматриваемой ледяной плиты: длина 300м, ширина 300м, толщина 30м. Дефект в центре модели: круглая линза радиусом 70м и глубиной 15м.

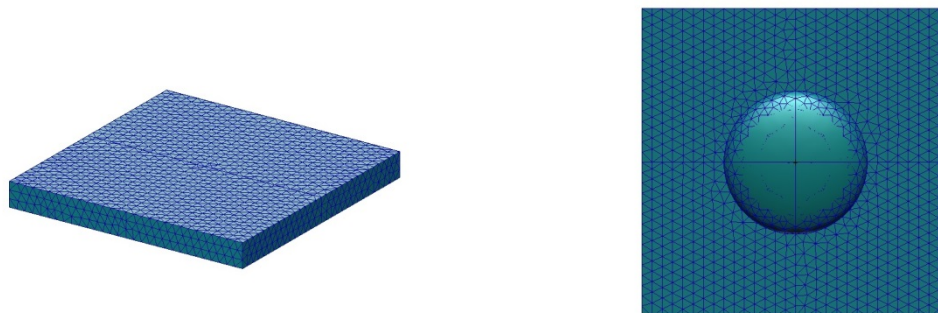


Рис. 4. Общий вид рассматриваемой ледяной плиты

Рассмотрим двустороннее сжатие вдоль оси OX с силой 4.2 МН:

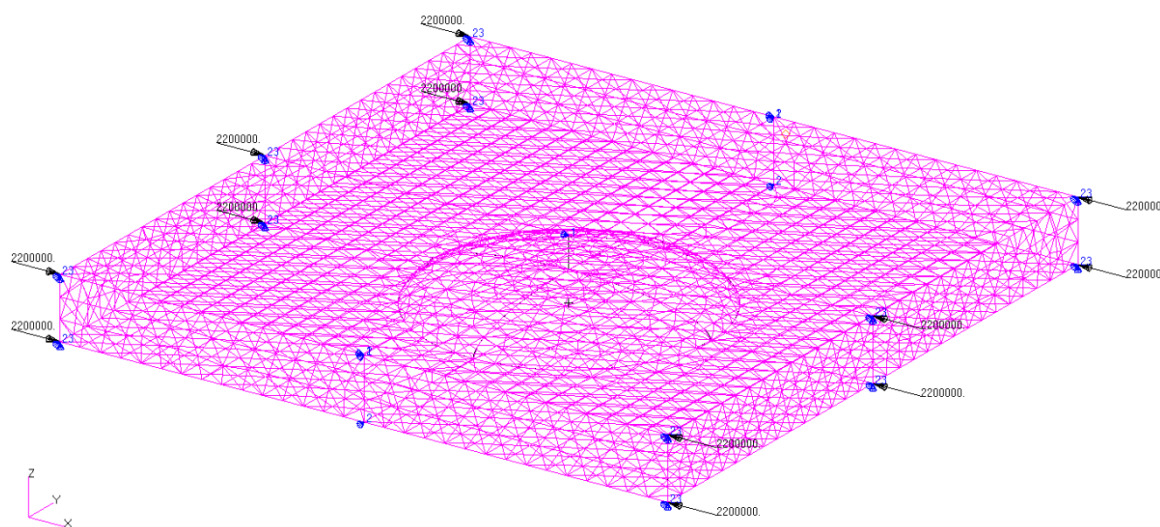


Рис. 5. Плита с приложенными нагрузками, граничными условиями и конечно-элементной сеткой

Рассматриваем центральные сечения моделей, так как интересны в первую очередь значения в окрестности линзы. Расчет вероятности разрушения произведен по критерию Шлейхера – Надаи. Распределение вероятности разрушения изображено на рисунках ниже. В случае двустороннего сжатия вдоль оси OX с силой 4.2 МН вероятность разрушения изображена на Рис. 6 и Рис. 7.

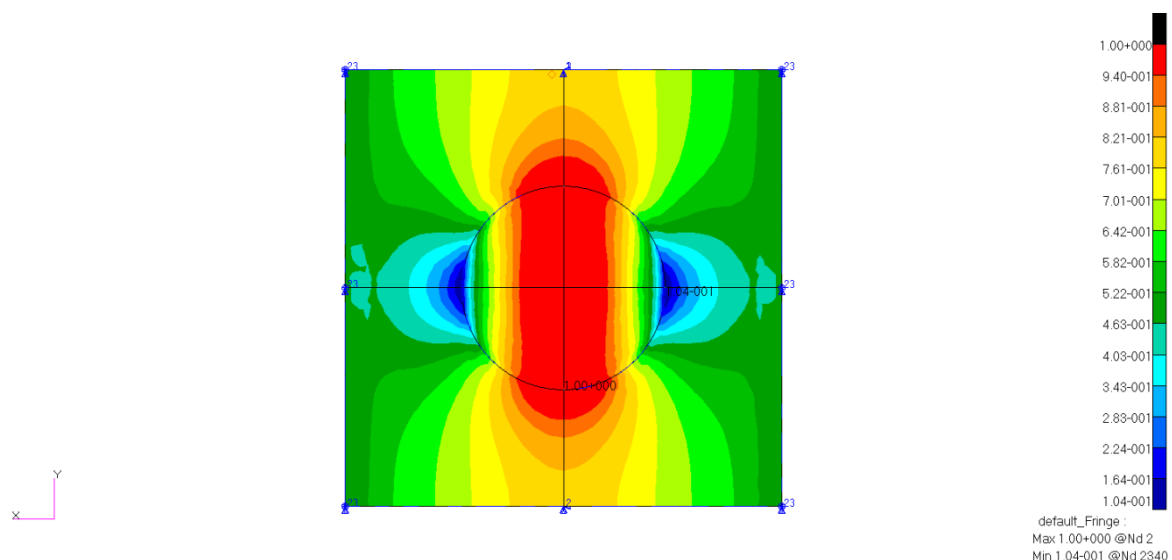


Рис. 6. Распределение вероятности разрушения в случае двустороннего сжатия. Вид снизу.

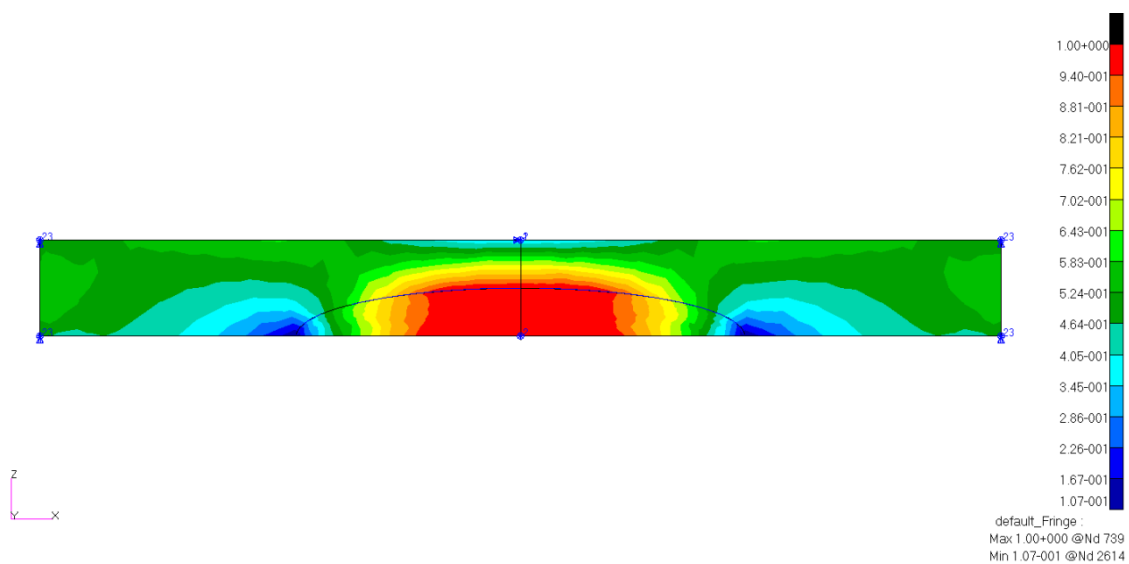


Рис. 7. Распределение вероятности разрушения в случае двустороннего сжатия. Вид в центральном сечении вдоль оси OX

В случае двустороннего растяжения вдоль оси X с силой 4.2 МН вероятность разрушения изображена на Рис. 8 и Рис. 9.

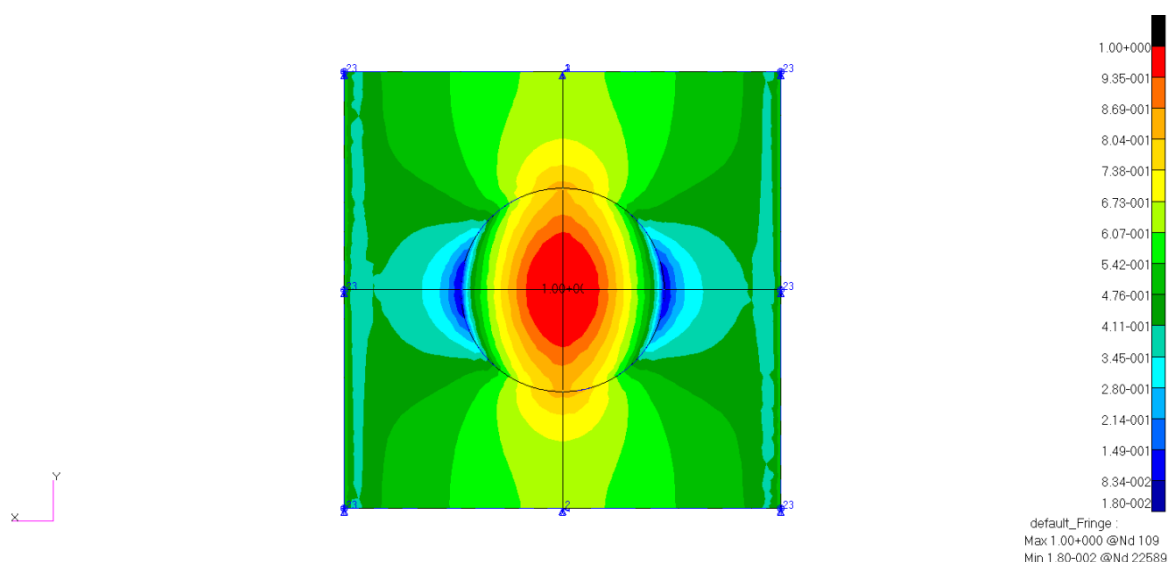


Рис. 8. Распределение вероятности разрушения в случае двустороннего растяжения.  
Вид снизу.

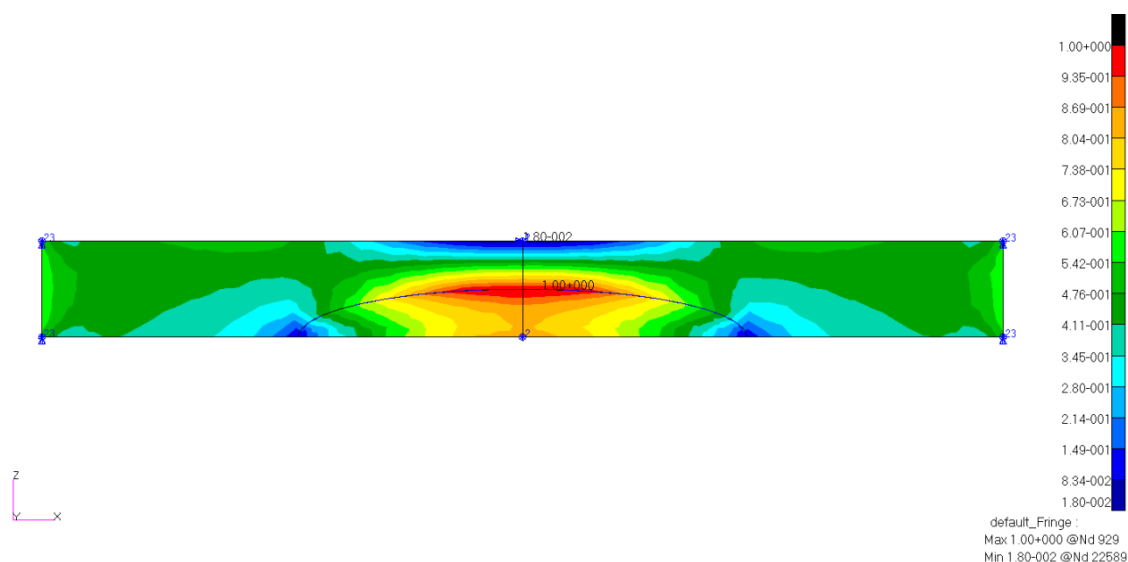


Рис. 7. Распределение вероятности разрушения в случае двустороннего сжатия. Вид в центральном сечении вдоль оси OX

Анализируя зоны с высокой вероятностью разрушения, можно заключить, что в случае сжатия наиболее высокая вероятность разрушения в вытянутой области, пересекающей линзу в направлении OY, включая прилегающую область нижней части плиты. При растяжении наибольшая вероятность разрушения в верхней части линзы.

### Литература

1. Чумаченко Е.Н., Назиров Р.Р., Логашина И.В., Аксенов С.А. К образованию особенностей рельефа на поверхности Европы // Космич. исслед. 2011. Т.49, № 4. С. 392-397.
2. Чумаченко Е.Н., Артюнов С.Д., Лебеденко И.Ю. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зубных протезов. М.: МИЭМ, 2003.

3. Рыбников Е.К., Володин С.В., Соболев Р.Ю. Инженерные расчеты механических конструкций в системе MSC.Patran-Nastran. Часть I. Учебное пособие. М., 2003.

### **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КРИБОТА С РАЗЛИЧНЫМИ ФОРМАМИ НАКОНЕЧНИКА СКВОЗЬ ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ**

Ерохина О.С., Чумаченко Е.Н., Логашина И.В.  
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ; Москва, ИКИ РАН*

В работе рассматривается имитационное моделирование прохождения нагретого тела сквозь ледяной покров. Рассматриваются несколько форм наконечников крибота. Анализируется влияние формы наконечника на скорость преодоления ледяного покрова.

#### **Computer simulation of cryobot's with different tip's form movement through icy crust. Erokhina O.S., Chumachenko E.N., logashina I.V.**

This paper examines melting probe movement through icy crust. Different probe's tips are considered. Influence of tip's form on penetration velocity is analyzed.

Исследования за последнее десятилетие показали, что подо льдом на Европе должен быть глубокий океан (оценки толщины варьируются до 100 км). Для изучения этого океана и для поиска возможных следов жизни необходимо преодолеть ледяной щит, которым покрыта Европа. Это означает, что ученые должны разработать подходящую аппаратуру. В условиях земного применения такое оборудование успешно используется для исследования ледников.

Существует несколько способов проникновения под лед: плавящий зонд (крибот), растапливающий лед и движущийся за счет силы тяжести; термобур, использующий одновременно и плавление и бурение, и термозонд, использующий водяные струи для создания скважины. Для случая использования в космических условиях наиболее эффективным представляется использование крибота.

В работе рассматривается имитационное моделирование движения крибота для оценки скорости его проникновения под ледяной покров по данным экспериментов, проведенных в Австрийской академии наук.

Эксперимент со сферическим наконечником (рис. 1а): проводился в Граце в условиях вакуума. Прибор представлял цилиндр с полусферическим латунным наконечником. Нагрев осуществлялся за счет одного нагревательного элемента, расположенного на верхней плоской части зонда. Прибор не включал в себя электронного оснащения, буровых и ударных установок. Таким образом, движение осуществлялось только за счет плавления. Эксперимент проводился в вакуумной камере.

В ходе эксперимента прибор вмерз в блок льда, также наблюдалось отклонение его движения от вертикали.

Основные параметры прибора и экспериментальные данные (средние значения для температур льда и крибота) представлены в таблице 1.

Эксперимент с плоским наконечником (рис. 1б): также проводился в вакуумной камере. В ходе эксперимента образовался гладкий канал в окрестности прибора. Максимальная скорость проникновения наблюдалась в начальной фазе эксперимента. Основные характеристики эксперимента и крибота представлены в таблице 1.

Эксперимент с пирамидальным наконечником (рис. 1в): проводился в условиях вакуума и охлаждении LN2 на протяжении всего эксперимента. В начале эксперимента наблюдалось проникновение с максимальной скоростью. После полного погружения наконечника в лед, наблюдалось замедление прибора со средней скорости 1.3 см/ч до 1.1 см/ч. Основные характеристики эксперимента и криобота представлены в таблице 1.

Таблица 1

	Эксперимент со сферическим наконечником	Эксперимент с плоским наконечником	Эксперимент с пирамидальным наконечником
Длина криобота, мм	246	200	195
Радиус криобота, мм	31.75	31.75	56.6 (длина диагонали)
Мощность, Вт	80	60	35
Температура льда, °С	-30	-56.7	-53.2
Шлубина проникновения, мм	60	50	70
Средняя скорость, см/ч	0.8	1.5	1.1



Рис.1а



Рис.1б



Рис.1в

Рис.1а Эксперимент со сферическим наконечником

Рис.1б Эксперимент с плоским наконечником

Рис.1в Эксперимент с пирамидальным наконечником

Основная проблема, возникающая при моделировании процесса прохождения криоботом ледяного массива, связана с тем, что нет точных данных, описывающих температурные и упругие свойства конкретного льда, используемого в эксперименте. В силу этого, для описания льда были использованы теоретические данные.

Кроме того, для каждого этапа было выполнено два расчета: с постоянными механическими и температурными свойствами льда, определенными для конкретной температуры, а также с температурозависимыми свойствами, позволяющими описать свойства в некотором температурном диапазоне.

Численное моделирование проводилось в системе MSC Patran/ Nastran. На рис. 2 приведен один из результатов расчетов (температурные поля).

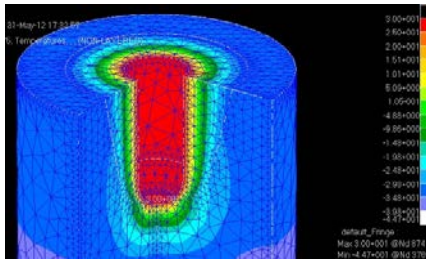


Рис. 2а

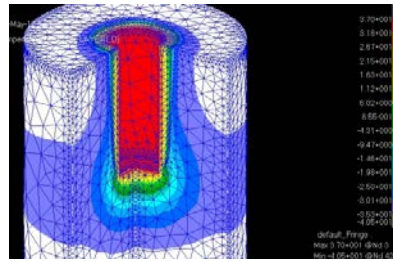


Рис. 2б

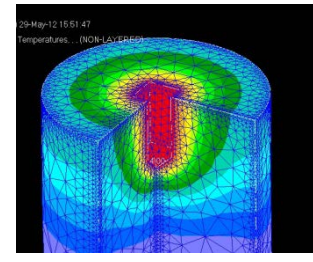


Рис. 2в

Рис. 2 Результаты моделирования (температурные поля)

Рис.2а Эксперимент со сферическим наконечником

Рис.2б Эксперимент с плоским наконечником

Рис. 2в Эксперимент с пирамидальным наконечником

Полученные значения скоростей на разных этапах процесса протавивания представлены на рис. 3а, 3б, 3в.

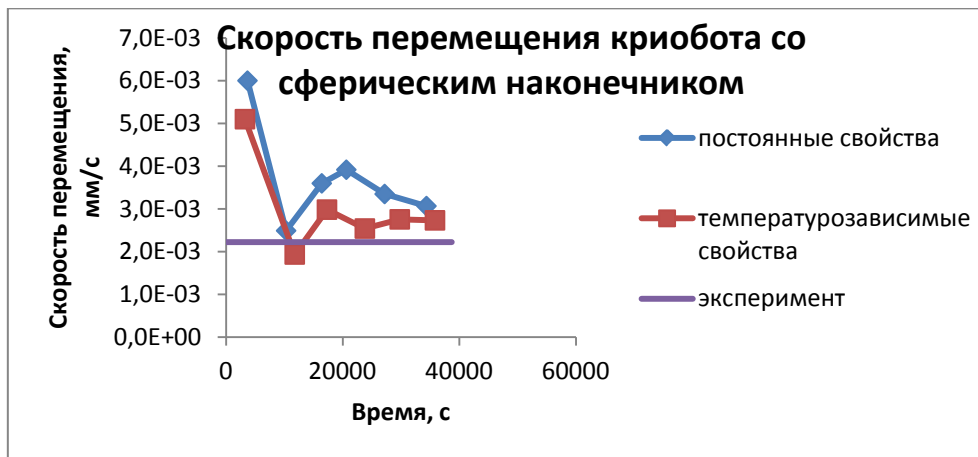


Рис. 3а Скорость перемещения крибота со сферическим наконечником

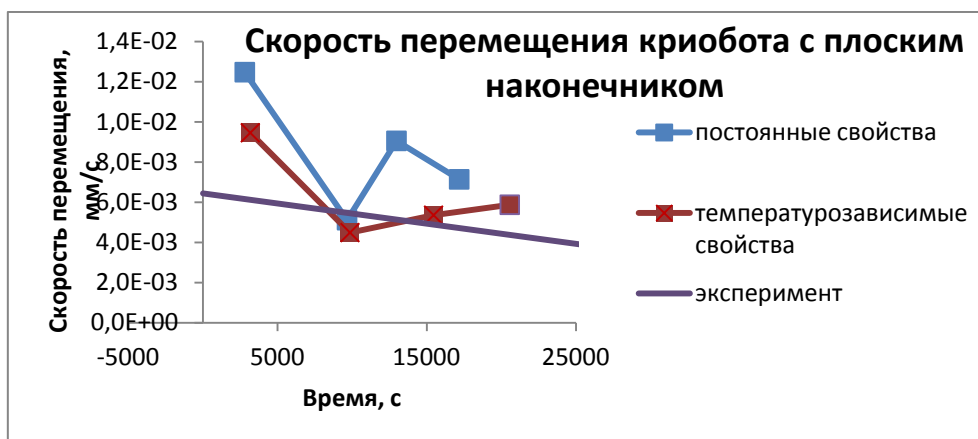


Рис. 3б Скорость перемещения крибота с плоским наконечником

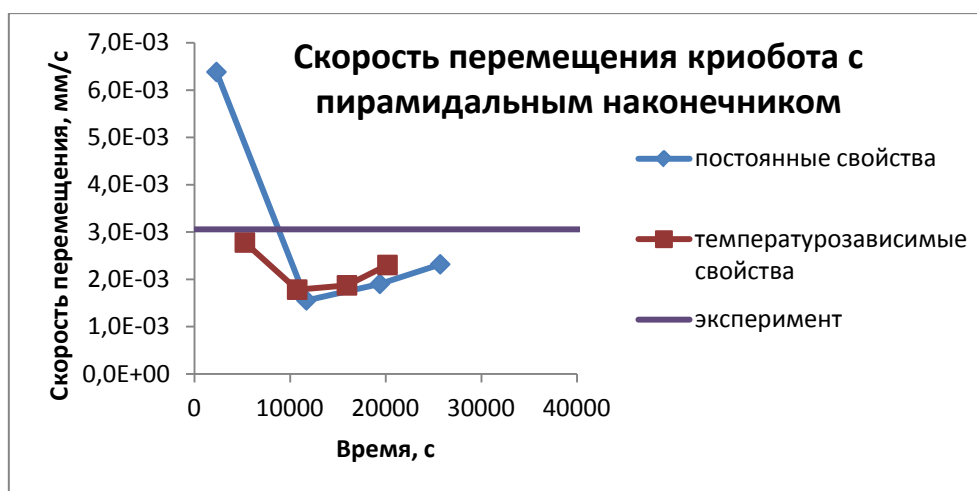


Рис. 3в Скорость перемещения крибота с пирамидальным наконечником

В таблице 2 представлены отклонения средней скорости перемещения от экспериментальных данных.

Таблица 2

Эксперимент		Отклонение от экспериментальных данных
Эксперимент со сферическим наконечником	Постоянные свойства	31.10%
	Температурозависимые свойства	5.95%
Эксперимент с плоским наконечником	Постоянные свойства	48.36%
	Температурозависимые свойства	8.84%
Эксперимент с пирамидальным наконечником	Постоянные свойства	-34.21%
	Температурозависимые свойства	-40.53%

Абсолютное значение отклонения скорости проникновения крибота под лед не превышает 50%, что, в условиях неопределенности конкретных свойств льда, является допустимым результатом.

Использование температурозависимых свойств материалов в расчетах приводит к численному снижению скорости проникновения.

Также возможно влияние формы наконечника на полученный результат. Таким образом, дальнейшее исследование должно включить в себя изучение влияния формы наконечника крибота на скорость проникновения крибота под лед.

Предложенная методика позволяет оценить скорость движения крибота, а также спрогнозировать общую динамику процесса протаивания (максимальная скорость на начальном этапе).

### Литература

1. Ерохина О. С., Чумаченко Е. Н., Обзор приборов для исследования подледного пространства в космических условиях, Труды XI Всероссийской научно-технической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов

«Научные исследования и разработки в области авиационных, космических и транспортных систем АКТ-2010», Воронеж, ВГТУ, 2010.

2. Богородский В.В., Гаврило В.П. Лед: Физические свойства: Современные методы гляциологии. Л.: Гидрометиздат, 1980. 384 с.

3. Николаев О.С., Механические свойства жидких металлов. Экстремальные свойства минимальных монокристаллов металлов, Едиториал УРСС, Москва, 2004.

4. Чумаченко Е. Н., Дэнхэм Д.У., Назиров Р.Р., Кулагин В.П., Логашина И.В., Ерохина О.С., Компьютерное моделирование проникновения криобота под ледяной покров Европы, Математическое моделирование. Оптимальное управление. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, №6 (1), с. 205-213, 2011.

5. Koemle N.I., Kaufmann E., Kargl G., Melting probe for Mars and Europa. Final report, IWF, 2009.

6. Ulamec, S., Biele, J., Funke, O., Engelhardt, M., 2007. Access to glacial and subglacial environments in the solar system by melting probe technology. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 6, 71–94.

## **ПРИМЕНЕНИЯ МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Иванченко А.Я.

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева – КАИ*

Чаще всего применяемый в технических системах классический пропорционально – интегрально – дифференциальный (ПИД) регулятор имеет ряд недостатков. В данном исследовании говорится о перспективах применения мягких вычислений для регулирования технологических процессов, а также обозначены такие основные методов мягких вычислений как нечеткая логика и нейронные сети.

### **Applications of soft computing for regulatory process. Ivanchenko A.YA**

Most often used in technical systems classic proportional - integral - derivative (PID) controller has several disadvantages. This study reports on the prospects of the use of soft computing for process control and highlight the following main methods of soft computing as fuzzy logic and neural networks.

### **Введение**

Математическое моделирование теплообменных процессов является очень важной составляющей процесса проектирования и необходимо для более глубокого понимания происходящих внутри системы процессов. Это приводит к необходимости разработки и применения новейших методов моделирования, которые бы описывали теплообменные процессы, происходящие в каналах теплообменного аппарата.

Особенностью процессов теплообмена является то, что один аппарат с происходящими в нем технологическими процессами может быть объектом нескольких систем автоматического регулирования. Объекты регулирования отличаются друг от друга природой протекающих в них технологических процессов, принципом действия, конструкцией, размерами применяемого технологического оборудования, режимом работы и многими другими факторами. Если же исследовать каждый объект отдельно,



не сопоставляя его с другими, уже исследованными объектами, то это значительно затрудняет анализ системы.

Система регулирования процессов теплообмена должна оценивать состояние системы с учётом внешних воздействий и диагностировать состояние системы.

Сегодня существует множество современных разработок в области проектирования сложных регуляторов, но подавляющее большинство систем управления (около 90 - 95%) основаны на пропорционально – интегрально – дифференциальных (ПИД) регуляторах или пропорционально – интегральных регуляторах [1]. Однако наличие в ПИД – регуляторах только трёх регулируемых параметров часто оказывается недостаточным для получения высокого качества регулирования. Совершенствование отдельных узлов и элементов систем управления не всегда благоприятно сказывается на качестве технической установки в целом, что обуславливается как ограничениями, накладываемыми характеристиками этих элементов системы, так и свойствами самой системы. Поэтому задачу улучшения технических характеристик необходимо решать с использованием новых принципов построения систем управления.

### **Технологии мягких вычислений**

Термин, мягкие вычисления, был введён профессором Лотфи Заде, и означает совокупность неточных, приближенных методов решения задач, применяемых, например, в робастном управлении – управлении в котором необходимо, чтобы объект управления сохранял бы выходные переменные системы и сигналы ошибки в заданных допустимых пределах несмотря на наличие неопределённостей в контуре управления. В робастном управлении объект может отличаться от расчётного или его математическая модель может быть неизвестна.

Нам необходимо, чтобы система регулирования теплообменными процессами была адаптивной, т.е. изменяющей алгоритмы своего функционирования для достижения оптимального состояния при изменении внешних условий.

В область мягких вычислений входят такие методы как: нечёткая логика, нейронные сети, эволюционное моделирование, включающее в себя методы группового учёта и генетические алгоритмы. Рассмотрим эти методы подробнее.

Впервые понятие нечёткой логики было введено в 1965 году Лотфи Заде в его новаторской работе со странным названием «Fuzzy Sets». Основные термины, в которой были предложены лично Л.Заде, носителем русского языка. Словно предугадывая долгое неприятие своих идей западным научным сообществом, воспитанным в духе традиций рационализма и жесткой двужначной логики, Л.Заде едет пропагандировать их на восток: сначала в СССР и страны Восточной Европы, а позже в Индию, Китай, Японию. Уже в конце 90-х годов в Японии появились «нечеткие» бритвы, пылесосы и фотокамеры.

Символическая нечёткая логика основывается на понятии t-нормы, после выбора, которой появляется возможность определить основные операции над пропозициональными переменными: конъюнкцию, дизъюнкцию, импликацию, отрицание и другие. Определение основных операций, перечисленных выше, приводит к формальному определению базисной нечёткой логики, которая имеет много общего с классической булевой логикой.

Основное понятие нечёткой логики — это нечёткое множество, определяемое при помощи обобщенного понятия характеристической функции. Затем вводятся понятия объединения, пересечения и дополнения множеств, понятие нечёткого отношения, а также одно из важнейших понятий — понятие лингвистической переменной. На основе нечёткой логики может быть построен нечёткий регулятор, позволяющий корректировать поведение всей системы [4].

Если передаточная функция ПИД регулятора имеет вид:

$$W(t) = K_p e(t)dt + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{e(t)},$$

где  $K_p$  - коэффициент передачи регулятора,  $T_i$  - постоянная времени интегрирования,  $T_d$  - постоянная времени дифференцирования, то для адаптивной настройки параметров ПИД регулятора может быть организована следующая база правил системы нечёткого вывода:

- если модуль сигнала рассогласования «малый», то ( $K_p$  «малый») и ( $T_i$  «большой») и ( $T_d$  «малый»);
- если модуль сигнала рассогласования «средний», то ( $K_p$  «средний») и ( $T_i$  «средний») и ( $T_d$  «средний»);
- если модуль сигнала рассогласования "большой", то ( $K_p$  «большой») и ( $T_i$  «малый») и ( $T_d$  «большой»).

Функции принадлежности входных и выходных переменных – гауссовские. В качестве алгоритма нечеткого вывода используется алгоритм Mamdani [5], где нечеткий логический контроллер воспринимает информацию с двух входов (по ошибке и по производной ошибки) системы. На выходе нечеткого регулятора осуществляется настройка коэффициентов усиления  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  ПИД регулятора.

Искусственные нейронные сети – это математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования сетей нервных клеток живого организма.

Искусственные нейронные сети представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессов, которые обычно довольно просты. С математической точки зрения, обучение нейронных сетей – это многопараметрическая задача нелинейной оптимизации.

Нейронные сети используются в задачах адаптивного управления и как алгоритмы для работотехники. Главным преимуществом нейронных сетей перед традиционным алгоритмическим управлением, это возможность обучения. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложнейшие зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять логическую операцию обобщения понятий которые могут использоваться в построении нечёткого регулятора.

Таким образом, может быть создана система управления с самонастраиваемой моделью; учитывающая изменения, происходящие в тепловой системе и построенная по законам нечёткой логики.

### Заключение

Применение нечёткого управления для адаптивной подстройки параметров ПИД регулятора является перспективным, так как традиционные ПИД-регуляторы не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к системам. Применение нечёткого управления приводит к хорошим результатам, о чём свидетельствуют результаты моделирования. Проведенные эксперименты показали, что рассмотренный автоматически настраивающийся адаптивный ПИД-регулятор решает проблему автоматической настройки параметров регулятора и коррекции параметров классического регулятора обеспечивая оптимальность процессов управления.

### Литература

1. Mann G.K.I., Bao-Gang Hu, Gosine R.G. Analysis of direct action fuzzy PID controller structures // ICEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B. June 1999 Vol. 29. Issue 3. P. 371-378.
2. Smidth F. L. Computing with a human face. New Scientist, 6 may, 1982.
3. Sangalli A., and Klir G.R. Fuzzy logic goes to market, New Scientist, 8 Feb., 1992.
4. Прикладные нечеткие системы: Перевод с япон./ К. Асаи, Д. Вагада, С. Иваи и др.; под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. - М.: Мир, 1993.
5. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. Matlab 6. М., ДИАЛОГ-МИФИ, 496 с., 2002.
6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.: Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2006.
7. wikipedia.org

### FIELD SEPARATION MODEL FOR IRREGULAR WAVEGUIDES EXCITATION

Kravchenko N.P., Romashin N.L.

*Moscow, MIEM NRU HSE; Moscow, IRE RAS by named of V.A. Kotelnikov*

An electromagnetic field excited by charged particle beam in irregular waveguide is obtained in a form of the field separation model. It is shown that the separation of the field in a regular waveguide makes convergence of remaining series much better.

Field separation model is very efficient approach to solve problems of the resonance charged particles wave interaction in regular and periodical waveguides [1]. It makes possible to formulate clear physical model of the interaction and to calculate quite easily electromagnetic fields in such structure.

This approach was applied to study the charges particles beam interaction with fields of irregular waveguides. The electromagnetic fields was represented in a form of sum “quasi eigenmodes” which possess orthogonality property of field distribution functions in each crossection of the irregular waveguide. There were obtained amplitudes of “quasi eigenwaves” excited by the charged particles beam.

It was shown that there is no even one resonance wave because of the cross interaction of exited waves. Despite of this fact a separated field can be introduced and play an important role in the interaction analysis. First of all it makes emergence of obtained solution way much belter. A separated fields can be defined as an electromagnetic field excited of the same charged particle beam in a regular waveguide with transversal dimensions no less than maximum transversal dimensions of the considered irregular waveguide.

In this case the convergence improvement is reached because we eliminate singularity influence caused by Coulomb’s interaction between charged particles.

1. Solntsev V.A., Romashin N.L. RE. 1983. V. 28. № 9. S. 1811–1812.

УДК 539.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТА НА ЛУНЕ И ОЦЕНКА ЕГО ДОСТОВЕРНОСТИ

Малашкин А.В.  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Решение задачи об определении горизонта, видимого с поверхности Луны с заданной высоты, а также оценка его достоверности.

### **Determining the horizon on the moon and evaluation of its accuracy. Malashkin A.V., PhD (phys.-math.)**

The solution of the problem of determining the horizon for a given point with fixed height on the surface of the Moon. Evaluation of its accuracy.

**Введение.** Для выбора места посадки космического аппарата на Луне необходимо выполнить несколько условий. Часть их зависит от цели миссии, а часть связана с возможностью посадки, связи с Землей и необходимостью освещения солнечных батарей.

Недалеко от северного полюса Луны обнаружены участки, содержащие повышенное количество водорода, возможно в составе воды. Для бурения грунта и проведения исследований предполагается посадить на Луне аппарат, который будет неподвижно стоять на поверхности. В качестве одного из источников энергии будут использоваться солнечные батареи, связь с Землей предполагают осуществлять без ретранслятора.

Таким образом, два условия: высокое содержание водорода и достаточно ровная поверхность, пригодная для посадки, определяют районы, которые должны быть исследованы на пригодность по другим критериям. Такими критериями являются: видимость Солнца, достаточная для эффективной работы солнечных батарей и видимость Земли, необходимая для связи с наземными станциями, находящимися в различных местах Земли.

Для определения условий видимости Солнца и Земли из заданной точки на поверхности Луны с определенной высоты над этой точкой, необходимо знать горизонт.

Построение горизонта для базовой точки на поверхности Луны начинается с задания количества секторов (HORIZONT) для разбиения  $360^\circ$  горизонта на равные углы. Обычно это 1080, соответствует  $20'$ , 2160, соответствует  $10'$  или 4320, соответствует  $5'$  угла по горизонту в одном секторе. Далее считываются данные высот из исходного файла, который имеет размеры  $n \times n$  (в файле MoonFloat.bin  $n \times n = 15520$ ) и содержит высоты, измеренные для точек на поверхности Луны с равными угловыми расстояниями по широте (dlat) и с равными угловыми расстояниями по долготе (dlon) между точками. Данные в файле MoonFloat.bin хранятся в формате чисел float (4 байта). Изучаемая область лежит севернее  $60^\circ$  северной широты. Равномерное разбиение по широте и долготы приводит к различным линейным расстояниям между точками, которые сгущаются к Северному полюсу.

Задаем координаты точки, для которой будет построена линия горизонта. Базовая точка должна совпадать с одной из точек, хранящихся в файле MoonFloat.bin с измеренными высотами.

Расстояние между двумя точками на поверхности Луны находим по формуле  $R \cdot \arccos((\cos(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \cdot \sin \theta_2))$ , где  $\theta_i$  – широта точки  $i$ ,  $\varphi_i$  – долгота точки  $i$ ,  $R$  – средний радиус Луны. Поскольку радиус Луны постоянный и арккосинус монотонно убывающая функция, то в программе для сравнения расстояний используется косинус дуги  $(\cos(\varphi_1 - \varphi_2) \cdot \cos \theta_1 \cdot \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \cdot \sin \theta_2)$  между точками на поверхности, это позволяет избегать вычисления арккосинусов.

Для каждой точки поверхности, находящейся внутри окружности радиуса  $R1$  км с центром в базовой точке, находим пересечение отрезка с концами в данной точке и точке наблюдения и цилиндра радиуса  $1$  с осью, проходящей через центр Луны и базовую точку. Максимумы углов наблюдения полученных точек на поверхности цилиндра образуют линию горизонта.

Алгоритм, полученную величину высоты, сравнивает с хранящейся максимальной высотой для данного сектора горизонта, и выбирает максимальную из них. Для ускорения счета, чтобы избежать вычисления арктангенсов, хранятся именно высоты точек на поверхности цилиндра, а не углы горизонта. Это также позволяет ускорить интерполяцию, если она необходима.

Полученный горизонт может оказаться сильно осциллирующей функцией, так как точки с известными высотами, находящиеся недалеко от базовой и образующие часть горизонта, могут находиться на больших угловых расстояниях и создавать разрывы горизонта. Несмотря на это, полученный горизонт самый точный из всех возможных для данного множества точек с известными высотами и его точность определяется только плотностью покрытия поверхности Луны точками измерений. Причем критически важной областью, где необходима максимальная частота измерений высот, является область вблизи базовой точки, радиус которой зависит от количества секторов горизонта (HORIZONT). Попытка получить более гладкую линию горизонта при помощи интерполяции неизбежно приводит к ухудшению его качества.

Чтобы сгладить линию горизонта необходимы предположения о том, какие высоты могут быть в точках поверхности Луны, находящихся между измеренными. Сделав наиболее естественное и простое предположение о линейности поверхности Луны между точками с измеренными высотами в направлениях Север-Юг и Восток-Запад, получим интерполированную сглаженную линию горизонта.

Для этого найдем проекцию высоты точки, находящейся слева (западнее) от очередной обрабатываемой, ее характеристики были рассчитаны на предыдущем шаге по  $j$  (по долготе). Поскольку через 3 точки: базовую, очередную обрабатываемую и точку  $k$  западу от нее можно провести плоскость, используем это. Пересечение плоскости с цилиндром – эллипс. На развертке цилиндра получим синусоиду с периодом  $2\pi$ . Амплитуда и фаза синусоиды определяются по двум вычисленным высотам очередной обработанной и слева от нее точек. Если проекции обрабатываемой точки и левой находятся в одном и том же секторе или смежных секторах горизонта, то интерполяция не производится и промежуточные высоты не вычисляются, если же есть промежуточные сектора, то для них вычисляются высоты. Эти высоты соответствуют прямой линии соединяющей две точки с измеренными высотами на поверхности Луны.

Аналогично обрабатывается отрезок, соединяющий обрабатываемую точку и смежную к ней точку находящуюся севернее (сверху), ее характеристики были вычислены на предыдущем шаге по  $i$  (по широте), с тем же индексом  $j$ , что и у обрабатываемой точки.

Поскольку каждый отрезок внутри области интерполяции  $R3 < r < R2$  имеет или северный, или западный конец, то тем самым интерполяция проводится для всех отрезков внутри этой области.

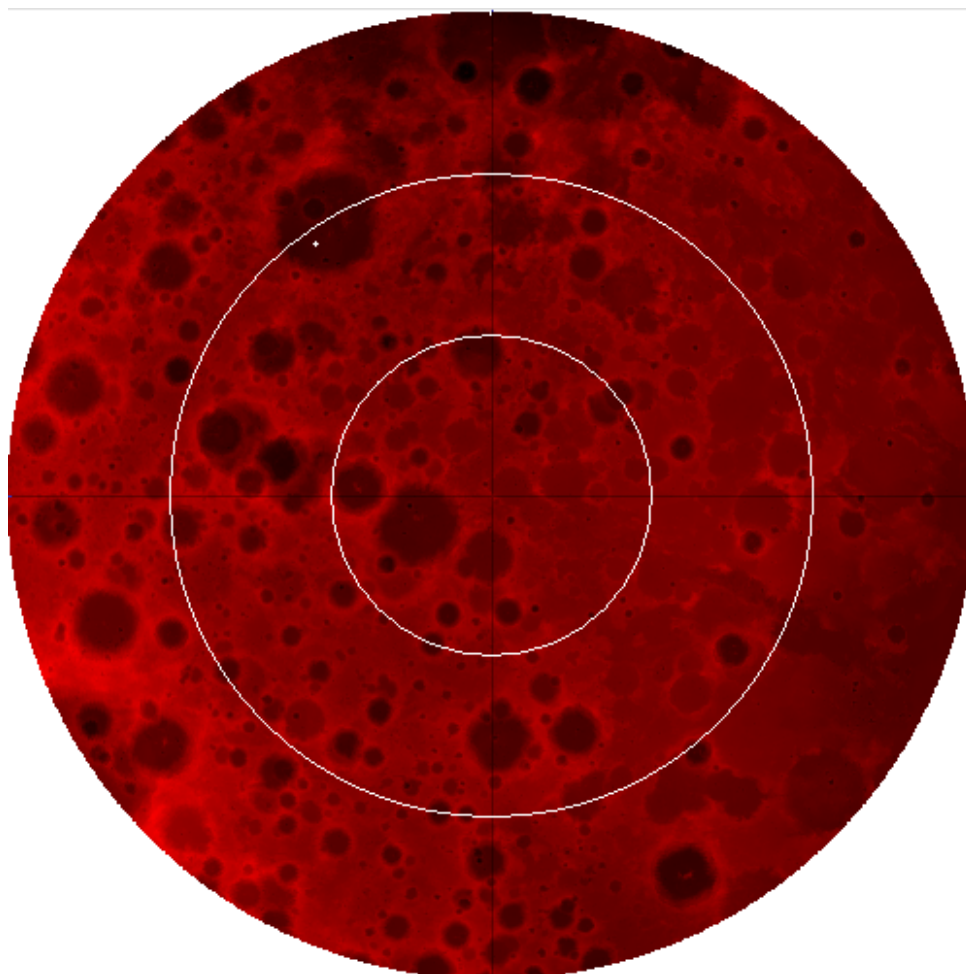


Рис. 1. Точка ( $71^{\circ}$  с.ш. и  $124.98^{\circ}$  в.д.), на дне кратера Шварцшильда (Schwarzschild), для которой будет построен горизонт отмечена белой точкой. Белые окружности соответствуют широтам  $80^{\circ}$  с.ш. и  $70^{\circ}$  с.ш., граница  $60^{\circ}$  с.ш.

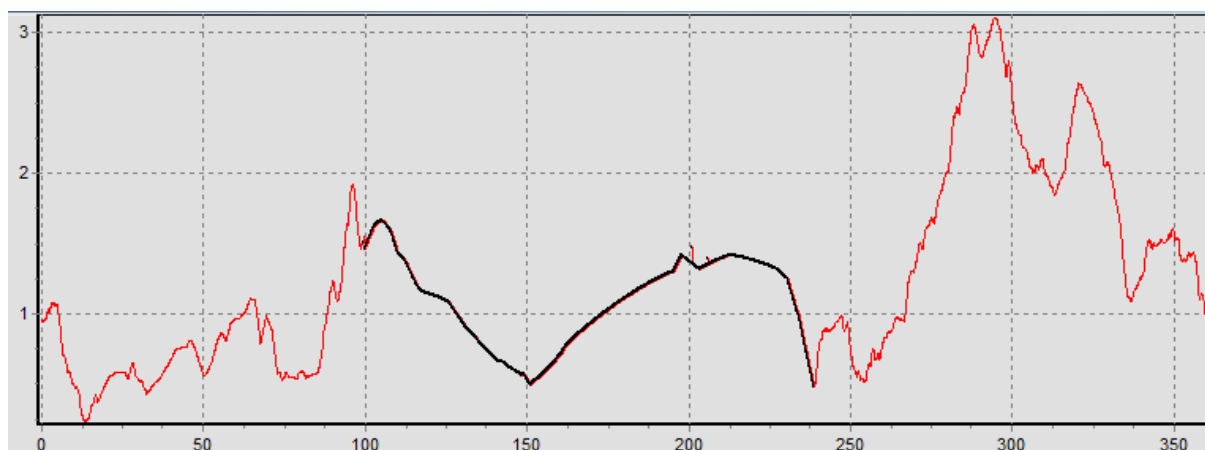


Рис 2. Горизонт в точке  $71^{\circ}$  с.ш. и  $124.98^{\circ}$  в.д. кратер Шварцшильда (Schwarzschild) с высоты 1 метр над поверхностью Луны.  $180^{\circ}$  – направление на Север. На оси Y - тангенсы углов наблюдения горизонта.

На рис. 2 красным цветом обозначен достоверный горизонт, черным – горизонт образованный, близкими к точке наблюдения, объектами угловые расстояния между

измеренными высотами для них велики и интерполированный горизонт менее достоверен.

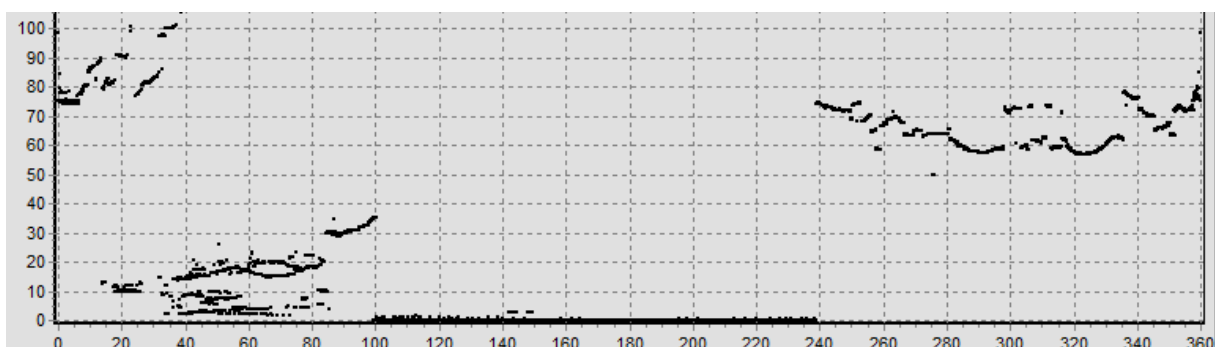


Рис 3. Расстояния до горизонта в точке  $71^{\circ}$  с.ш. и  $124.98^{\circ}$  в.д. кратер Шварцшильда (Schwarzschild) с высоты 1 метр над поверхностью Луны.  $180^{\circ}$  – направление на Север. По оси Y - километры.

Все горизонты, рассчитанные в областях с близко расположенным сильно пересеченным высоким рельефом образующим часть горизонта, будут малодостоверны, до тех пор, пока на расстояниях до 1 км от точки наблюдения частота точек с измеренными высотами не будет, минимум в 5 раз выше, чем сейчас. Сейчас высоты определены для точек, находящихся друг от друга на расстоянии 60 метров у полюса и на расстоянии 300 метров у  $60^{\circ}$  северной широты. (Расстояние между измеренными точками зависит от их широты.)

**Выводы.** Данный расчетный модуль можно использовать для выбора оптимальных мест посадки лунных модулей. Близко расположенные высокие узкие объекты ухудшают качество построения горизонта и могут привести к исключению изучаемой базовой точки из числа пригодных для высадки. Качество построенного горизонта должно быть учтено.

## РАСЧЕТ ОКОН ЗАПУСКА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ТРАЕКТОРИИ ЗЕМЛЯ – ТОЧКА L2 СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ-ЛУНА

Николаева Ю.А., Аксенов С.А., Данхэм Д.У.\*  
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ, \*KinetX, США

В данной работе представлен анализ траекторий к точке либрации L2 системы Земля-Луна с целью изучения обратной стороны Луны. Проведен расчет окон запуска космического аппарата на указанную траекторию. Изучена и представлена зависимость суммарных затрат топлива и степени освещенности обратной стороны Луны от времени запуска аппарата и выбрано оптимальное с точки зрения затрат топлива и степени освещенности обратной стороны Луны время для реализации краткосрочной миссии.

### Computation of launch windows of a spacecraft for Earth – L2 point of the Earth-Moon system. Nikolaeva Y.A., Aksenov S.A.

Analysis of trajectories to L2 libration point of Earth-Moon system to study the back side of the Moon is shown. Launch windows for this trajectory are computed. Dependence

between resulting impulse, grade of light and launching time has been studied and has been chosen optimal launching time for short-time mission.

Траектории движения космических аппаратов между Землей и точкой либрации L2 системы Земля-Луна играют важную роль для изучения Солнечной системы. В первую очередь, они могут послужить начальным этапом для реализации более сложных траекторий (например, с выходом на орбиту Лиссажу или гало-орбиту – квазистационарные круговые орбиты вокруг точки либрации). Помимо этого, космические аппараты, двигающиеся по этим траекториям, могут быть использованы для изучения околоземных объектов (NEO – New Earth Objects) и обратной стороны Луны. Еще одним важным способом применения таких траекторий может быть их использование с целью запуска космического аппарата за пределы системы Земля-Луна и, следовательно, далеких перелетов – например, к Марсу или его спутникам Деймосу и Фобосу. В данной работе рассмотрены использование траектории с целью изучения обратной стороны Луны.

Подробный анализ подобных траекторий представлен в статье [1]. Согласно [1], возможны следующие конфигурации траекторий: без облета Луны, с облетом Луны и с выходом на квазистационарную орбиту в окрестности точки Лагранжа L2.

Точками либрации (Лагранжа) в ограниченной задаче трех тел называют такие точки, в которых тело с меньшей массой остается неподвижным относительно двух с тел со значительно большей массой (в нашем случае роль малого тела играет космический аппарат, а роль массивных тел – Земля и Луна). Существуют 5 точек либрации (3 на прямой, соединяющей массивные тела, и 2 точки расположены в вершинах равносторонних треугольников, построенных на отрезке Земля-Луна). Точка L2 расположена за Луной и является точкой неустойчивого равновесия.

Траектории без облета Луны – это прямой перелет от Земли к точке L2. Однако оказалось, что использование гравитации Земли и Луны при перелете значительно сокращает суммарные затраты топлива (см. ниже). Были предложены траектории с облетом Луны. В [2], [3] траектории с облетом Луны используются для более сложных миссий – с выходом на гало-орбиту или орбиту Лиссажу.

Мы будем рассматривать траектории с облетом Луны, но без выхода на орбиту. На рис.1 представлен общий исследуемых траекторий. Траектория получается следующим образом: аппарат запускается с Земли (в качестве точки запуска выбран космодром Кэннеди, Флорида, США), летит к Луне, где достигает перицентра (точка S1, высота над поверхностью Луны – 49 км), затем достигает окрестности точки L2, перелетает к перицентру Луны (точка S2, высота над поверхностью Луны – 59 км) и возвращается на Землю. Используются 4 маневра: TTI (Transfer Trajectory Insertion) используется в начале миссии для вывода аппарата на траекторию, S1 при первом приближении к Луне – для того, чтобы затормозить аппарат так, чтобы он остался в гравитационном поле Луны, S2 – для возвращения аппарата к Земле и Orbit Normal – маневр, применяемый за Луной, чтобы вернуть аппарат в плоскость эклиптики (т.к. помимо сил, действующих в плоскости, на аппарат действуют силы не из нее, что искажает траекторию и выводит ее из плоскости).



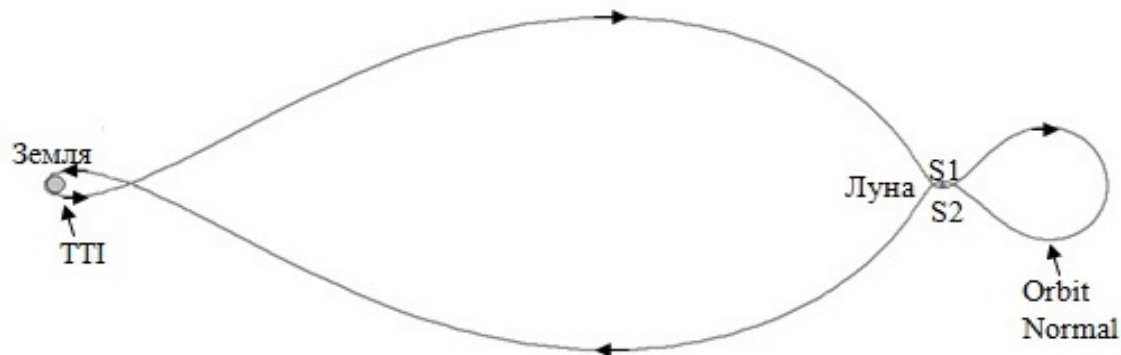


Рис. 1. Траектория с облетом Луны без выхода на гало-орбиту

Эта траектория обладает следующими характеристиками: общее время полета, изменение скорости ( $\Delta V$ , импульс), степень освещенности обратной стороны Луны, время, когда аппарат не виден с Земли, и пр. Наиболее важными параметрами в данном исследовании являются суммарный импульс (суммарное изменение скорости) и степень освещенности обратной стороны Луны. С точки зрения указанных параметров, можно сказать, что прямой перелет занимает 4 дня и требует  $\Delta V$  в размере 1230 м/с. В то же время, непрямой перелет занимает чуть больше 9 дней, но требует  $\Delta V$  всего 386 м/с.

Траекторию можно оптимизировать по нескольким параметрам: общее время полета, суммарный импульс, степень освещенности обратной стороны Луны, время, когда аппарат не виден с Земли, и др. Изменение общего времени полета достигается либо изменением времени запуска, либо добавлением дополнительных маневров (такие расчеты были проведены в университете Джона Хопкинса [4]). Уменьшение суммарных затрат топлива возможно также за счет изменения времени вылета аппарата. Кроме того, изменение наклона направления аппарата к плоскости эклиптики влияет на суммарный импульс. Максимальная степень освещенности обратной стороны Луны, как и предыдущие указанные параметры, достигается путем варьирования времени запуска космического аппарата на траекторию.

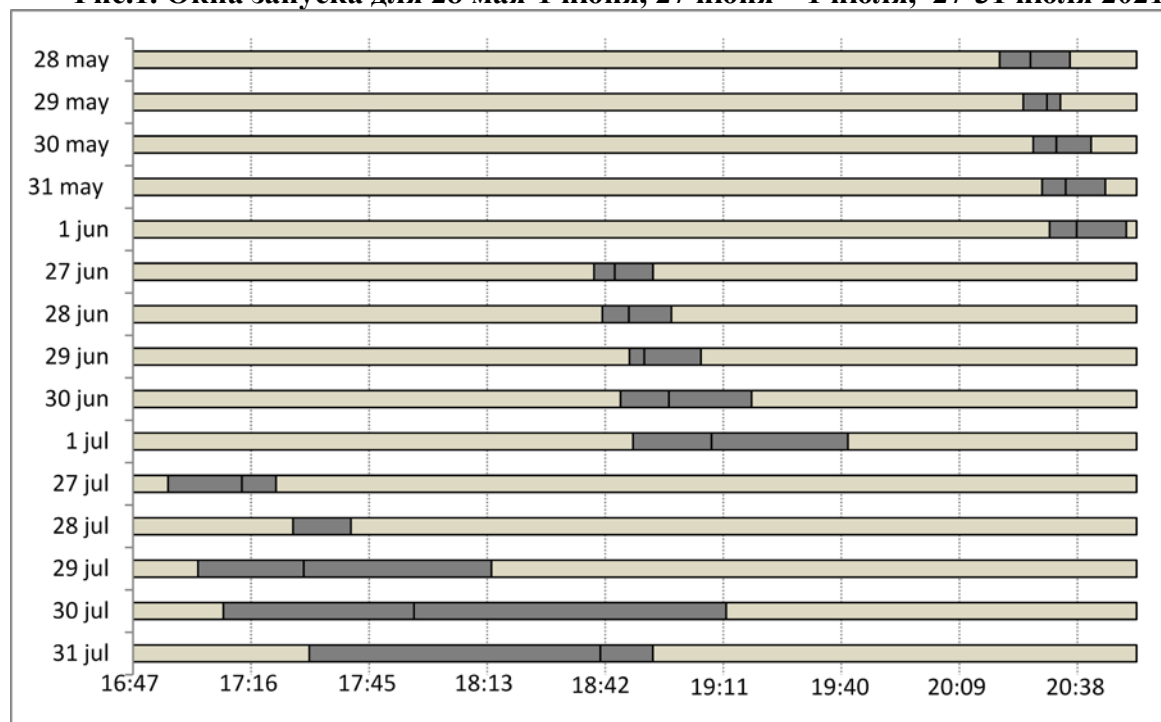
Время вылета аппарата (23 июня 2021) выбрано таким образом, чтобы Луна к тому моменту, когда аппарат окажется в ее окрестности, была в предпоследней фазе. Это удобно для долгосрочных миссий с выходом на орбиту вокруг точки L2, т.к. через некоторое время после выхода на орбиту аппарата обратная сторона Луны будет максимально освещена. Однако в [1] указано, что для краткосрочных миссий с целью изучения обратной стороны Луны больший интерес представляют даты через 5-6 суток (27, 28, 29 июня 2021 г.), т.к. тогда Луна будет находиться в последней своей фазе и наиболее освещена.

В данной работе проведен анализ семейства траекторий указанного вида для 28 мая-1 июня, 23 июня - 1 июля, 27-31 июля 2021 г. Для расчетов был использован пакет GMAT (General Mission Analyses Tool). В модели учтена гравитация Луны, Земли и Солнца.

В силу изменения наклона к плоскости эклиптики, существуют ограничения на время запуска аппарата с Земли на указанную траекторию с заданными параметрами (разумеется, аппарат можно запустить в любой момент, но это потребует дополнительных маневров и, как следствие, затрат топлива). В силу этих ограничений возникают промежутки времени, в течение которых запуск аппарата возможен. Такие промежутки назовем окнами запуска. Они составляют около 30 минут каждый день.

На рис.1 графически представлены окна запуска для указанных дат.

**Рис.1. Окна запуска для 28 мая-1 июня, 27 июня – 1 июля, 27-31 июля 2021 г.**



Одним из основных параметров, учитываемых при выборе оптимального времени запуска, является степень освещенности обратной стороны Луны  $L$ , рассчитываемая по формуле:

$$L = \frac{\alpha + \pi/2}{\pi},$$

где  $\alpha$  – угол между направлением на Солнце и радиус-вектором аппарата в системе, связанной с Луной. Степень освещенности максимальна, когда  $L=1$ .

В каждом окне запуска выбирался тот момент времени, для которого суммарный импульс является наименьшим (рассматривается  $\Delta V$  после маневра ТТІ, т.к. он осуществляется вблизи Земли третьей ступенью ракеты-носителя). Результаты для дней с наименьшими затратами топлива или наибольшей освещенностью представлены в табл. 2.

**Таблица 1. Оптимальные моменты вылета**

Время	$\Delta V$ после ТТІ, км/с	Освещенность, -
30 May 2021 20:32:37.960	0,3271	0,9148
31 May 2021 20:34:56.200	0,3328	0,9826
27 Jun 2021 18:45:29.800	0,335	0,808
30 Jun 2021 18:57:11.368	0,3528	0,9803
27 Jul 2021 17:05:03.000	0,3547	0,8371
30 Jul 2021 17:49:28.760	0,3731	0,9633

Из таблицы 2 видно, что суммарный импульс может быть снижен с 386 м/с для 23 июня до 327 м/с для 30 мая.

На рис.2 представлена зависимость суммарного импульса от времени запуска для дней с максимальной освещенностью или минимальным суммарным импульсом (обозначены штрихами и сплошной линией соответственно). Как можно видеть из графиков, наиболее выгодным с точки зрения затрат топлива днем для вылета является 30 мая. За ноль на оси времени выбран оптимальный момент запуска аппарата.

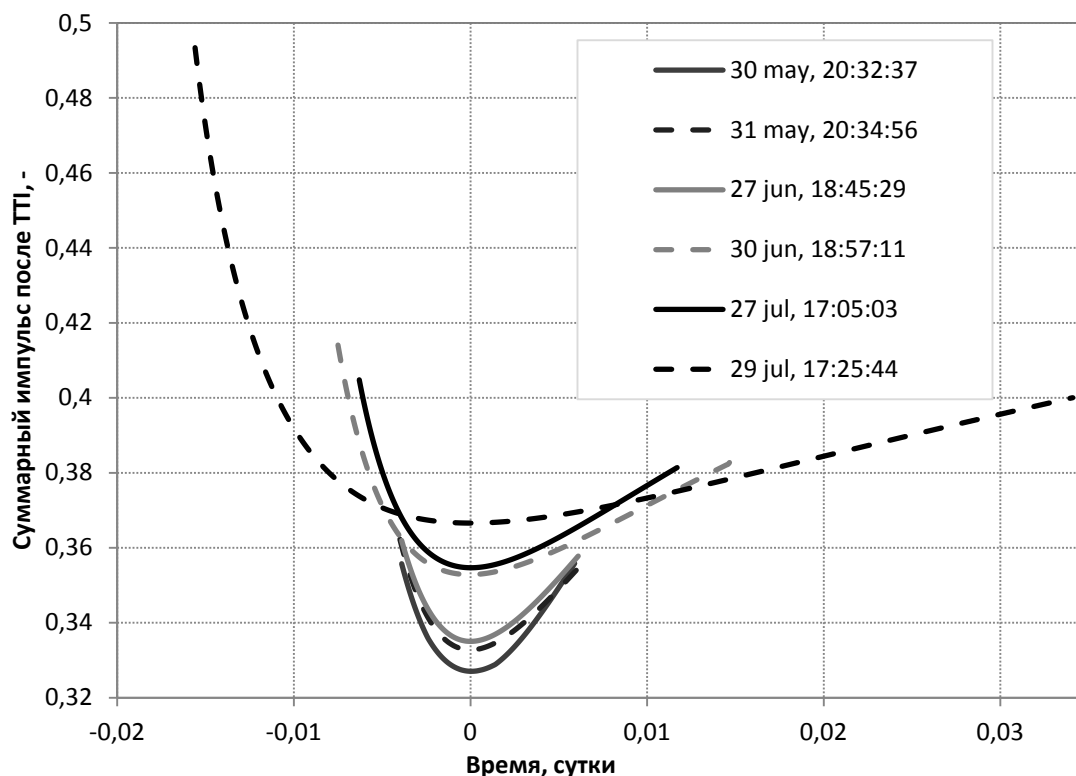


Рис. 2. Зависимость суммарного импульса от времени запуска

На рис. 3 представлена зависимость степени освещенности обратной стороны Луны от времени запуска. Здесь ситуация не так однозначна, как в предыдущем случае, - для 31 мая и 30 июня степень освещенности почти одинаково высока. Следует обратить внимание на то, что для 23 июня, изначально предложенного для запуска аппарата, степень освещенность обратной стороны Луны составляет 0,5, в то время как ее можно повысить почти до 1.

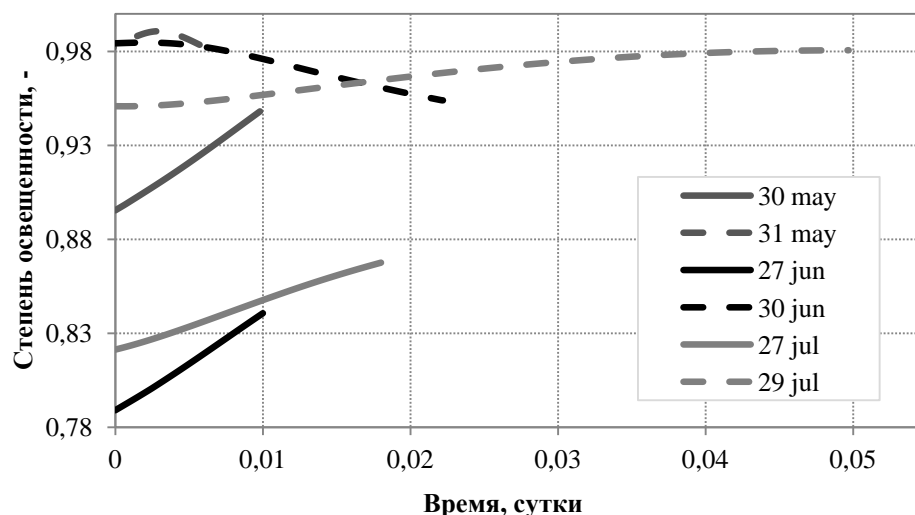


Рис. 3. Зависимость степени освещенности от времени запуска аппарата

На рис.4 представлены сводные данные для каждого дня с оптимальным временем запуска. Из этого рисунка видно, что наилучшими днями для запуска аппарата являются 30 или 31 мая (окончательный выбор зависит от ограничений на топливо).

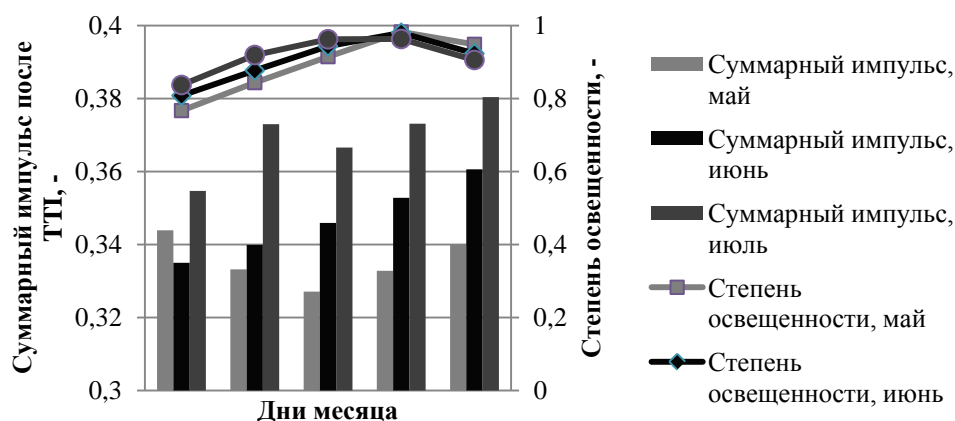


Рис. 4. Суммарный импульс и степень освещенности для оптимальных моментов запуска

В работе были рассчитаны траектории к точке либрации L2 для 19 дней (с 28 мая по 1 июня, с 23 июня по 1 июля, с 27 июля по 31 июля 2021 г.). Были рассчитаны окна запуска для каждого из дней и проведена оценка освещенности обратной стороны Луны. На основе полученных данных о зависимости суммарного импульса и степени освещенности обратной стороны Луны от времени запуска космического аппарата были найдены оптимальные моменты запуска (30 или 31 мая 2021 г.).

Дальнейшие исследования будут направлены на расчет траекторий для всего 2021 года с целью выявления наиболее оптимальной даты начала миссии.

### Литература

1. Eismont N.A., Dunham D.W., Chumachenko E.N., Farquhar R.W. New approaches for human deep-space exploration, in: Proceedings of The 23rd International Symposium on Space Flight Dynamics. Pasadena: JPL, 2012..

2. Robert W. Farquhar and Ahmed A. Kamel, “Quasi-periodic orbits about the translunar libration point”, *Celestial Mechanics*, Vol. 7, No. 4, 458-473, 1973.
3. Farquhar, R., Dunham, D., and Muhonen, D., “A New Trajectory Concept for Exploring the Earth's Geomagnetic Tail”, *J. Guidance and Control*, Vol. 4, pp. 192-196, 1981.
4. J. B. Hopkins, “Stepping Stones: A Sequence of Affordable Human Exploration Missions from Earth to the Mons of Mars.” Документ IAC-12.A5.4.4, представленный на 63-м Международном Астрономическом Конгрессе, Неаполь, Италия, октябрь 2012г

## **ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ВИДИМОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ДВИЖЕНИИ ВОКРУГ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ L2 СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ-ЛУНА**

Федоренко Ю.В., \*Аксёнов С.А., \*Дэвид Данхэм  
*Москва МИЭМ НИУ ВШЭ; \*Москва МИЭМ НИУ ВШЭ; \*KinetX USA*

В работе рассматриваются особенности и характеристики семейства орбит Лиссажу вокруг точки либрации L2 системы Земля-Луна. Проводятся оценки характеристик таких орбит, позволяющие производить их оптимизацию, направленную на улучшение условий связи космического аппарата с Землей.

### **Spacecraft visibility time evaluation in Lissajous orbital motion around libration point L2 of the Earth-Moon system. Fedorenko J.V., Aksenov S.A., David W. Dunham**

This paper presents a study on the features and characteristics of the Lissajous orbit family around libration point L2 of the Earth-Moon system which allow optimization in terms of improving the communication between an orbiting spacecraft and the Earth.

Возможное использование точек либрации для обеспечения связи при исследовании обратной стороны Луны было впервые предложено Артуром С. Кларком еще в 1950 году [1]. Эта идея была развита Робертом Фаркуаром, который предложил два типа траекторий вокруг точки либрации L2: орбиты Лиссажу и гало-орбиты [2]. Для миссий, направленных на изучение обратной стороны луны, траектории Лиссажу могут быть наиболее удобны, так как обладают меньшей амплитудой.

Недостатком использования траектории Лиссажу по сравнению с гало-орбитами является возможность сокрытия космического аппарата за Луной при наблюдении с Земли. С этой точки зрения нужно оценивать следующие характеристики траектории:

1. Максимальный период времени, в течение которого аппарат непрерывно скрыт за Луной –  $t_h$ ;
2. Максимальный период времени, в течение которого аппарат виден с Земли –  $t_v$ ;
3. Процентное отношение времени, в течение которого аппарат не виден с Земли, к общему времени полета –  $k$ .

По различным причинам, в частности, исходя из необходимости получать сигнал из различных точек с обратной стороны луны так долго, как это возможно, целесообразно использовать траекторию Лиссажу с относительно небольшой амплитудой, а не гало-орбиту, у которой минимум  $A_y$  составляет 46793 км. Целью исследования является подбор параметров траектории Лиссажу, при которых  $t_h$  и  $k$  минимальны, а  $t_v$  – максимально.

Для исследования максимального периода времени, в течение которого аппарат скрыт за Луной, будем использовать следующую упрощённую модель. Движение будем рассматривать в плоскости  $y - z$  центром в точке L2 системы Земля-Луна. В этой плоскости зона затмения Земли является окружностью с радиусом [2]:

$$R_{\text{затм}} = ML2(R_{\oplus} + R_{\odot}) + R_{\odot} = 3099 \text{ км}, \quad (1)$$

где  $ML2 = 64573,62 \text{ км}$  – среднее значение расстояния от Луны до L2,  $R_{\odot} = 1738 \text{ км}$  – радиус Луны,  $R_{\oplus} = 6371 \text{ км}$  – радиус Земли.

Будем использовать линейные уравнения движения вокруг точки L2 системы Земля-Луна:

$$\begin{cases} \ddot{x} - \dot{y} - (2B_{L2} + 1)x = 0, \\ \ddot{y} + 2\dot{x} + (B_{L2} - 1)y = 0, \\ \ddot{z} + B_{L2}z = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где:  $x, y, z$  – оси декартовой системы координат (ось  $x$  сонаправлена линии L2-Луна, ось  $z$  направлена вертикально вверх),  $B_{L2} \approx \left[ \frac{(1-\mu)}{(1+\gamma_{L2})^3} + \frac{\mu}{\gamma_{L2}^3} \right]$ , где  $\mu = 1/(1 + M_R)$  – нормированный параметр массы ( $M_R$  – представляет собой отношение массы Луны к массе Земли) и  $\gamma_{L2}$  – расстояние от Земли до Луны. Численное значение параметра  $B_{L2} = 3.19042$  [3].

Решение данной системы можно представить в виде:

$$\begin{cases} x_n = kA_y \sin(\omega_y t + \varphi_y), \\ y_n = A_y \cos(\omega_y t + \varphi_y), \\ z_n = A_z \sin(\omega_z t + \varphi_z), \end{cases} \quad (3)$$

где  $A_y, A_z, \varphi_y, \varphi_z$  – значения амплитуд и фаз по осям  $y$  и  $z$  соответственно,  $t$  – время,  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ,  $T_y = 14,65 \text{ дн.}$ ,  $T_z = 15,23 \text{ дн.}$

В нашем случае, так как рассматривается только движение в плоскости  $y - z$ , направление по  $x$  можно исключить.

Данная траектория будет повторяться через период времени, эквивалентный 101 периоду по оси  $z$  и 105 периодам по оси  $y$ , что составляет порядка 1538 дней. Расчеты осуществлялись для периода 384 дней пребывания спутника на орбите.

В работе исследовалось влияние значений фаз  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$  на поведение характеристик  $t_h$ ,  $t_v$  и  $k$ , при различных значениях амплитуд  $A_y, A_z$ . Наиболее интересные траектории с точки зрения обеспечения связи аппарата с Землей должны обладать наименьшими значениями  $t_h$  и  $k$  и наибольшими значениями  $t_v$ . При этом, максимальный период времени, в течении которого аппарат может быть виден с земли ( $t_v$ ) представляет наибольший интерес.

При правильном выборе фаз  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$  и времени выхода на орбиту может быть достигнута траектория, при которой аппарат виден с Земли непрерывно в течении нескольких месяцев. Пример такой траектории, рассчитанной для  $A_y = A_z = 5000 \text{ км}$ , приведен на рис. 1, общее время непрерывной видимости аппарата с Земли составляет 92,27 дня.

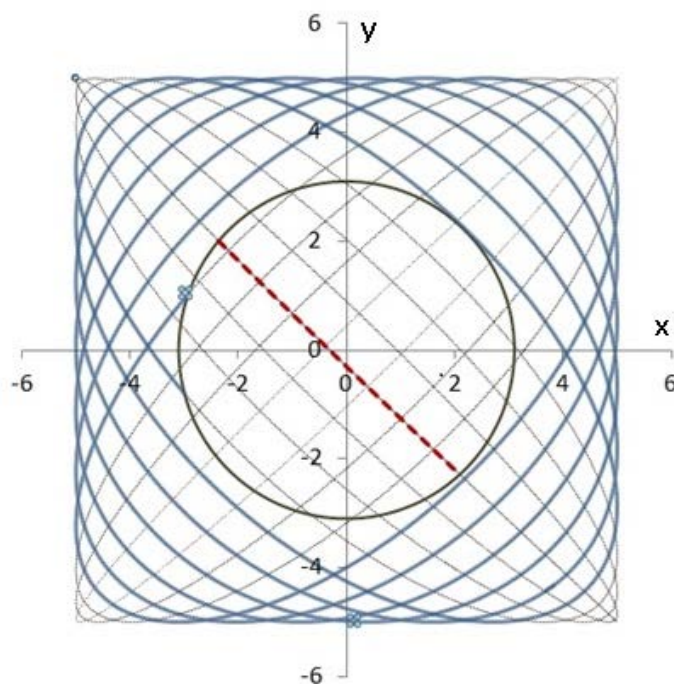


Рис. 1. Пример траектории Лиссажу. Зона затмения Луной находится внутри окружности. Утолщенной синей линией выделен участок траектории, не пересекающий зону затмения.

Расчитанные значения характеристик  $t_h$ ,  $t_v$  и  $k$  для различных значений амплитуд приведены в таблице 1. В таблице наибольший интерес представляют приведенные значения максимума  $t_v$  и минимальные значения параметров  $t_h$  и  $k$  для различных значений амплитуд. Приведенные результаты показывают, что увеличение амплитуды приводит к увеличению периодов непрерывной видимости аппарата с Земли и уменьшается время затенения. Необходимо отметить, что в данной таблице указаны наилучшие значения этих характеристик, однако оптимизировать траекторию по всем трем характеристикам удастся не всегда. Значения  $\varphi$  в таблице не приведены, поскольку каждому критерию соответствует множество отвечающих ему комбинаций  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$ .

Таблица 1.

Значения характеристик  $t_h$ ,  $t_v$  и  $k$  для различных значений амплитуд

$A_y$ , $10^3$ км	$A_z$ , $10^3$ км	$\min t_h$ , дн.	$\max t_h$ , дн.	$\max t_v$ , дн.	$\min t_v$ , дн.	$\min k$ , %	$\max k$ , %
15	15	0.6823	0.6971	167.52	160.23	0.01231	0.0152
15	10	0.8169	0.8276	159.71	152.3	0.0191	0.0223
10	10	1.0410	1,0504	152.36	145.09	0.0292	0.0331
10	5	1.3466	1.3512	114,10	106,78	0,0631	0,0678
5	5	2.1536	2.1571	92.27	85.21	0.1323	0.1403

На рис. 2 представлена зависимость максимального периода непрерывной видимости аппарата  $t_v$  от начальных фаз  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$  при для  $A_y = A_z = 5000$  км. Можно видеть две области: в первой  $t_v$  принимает значения, близкие к 85,24, во второй - к

92,27 дней. Структура этих областей дает представление о характере исследуемых функций  $t_v(\varphi_y, \varphi_z)$ ,  $t_h(\varphi_y, \varphi_z)$ ,  $k(\varphi_y, \varphi_z)$ , все они  $\pi$ -периодичны и имеют линии уровня, направленные из левого нижнего в правый верхний уровень координатной плоскости.

На рис. 3(а) представлены графики зависимости  $t_h$  (пунктирная линия) и  $t_v$  (непрерывная линия) от  $\varphi_z$  при  $\varphi_y = 0$  и амплитудах  $A_y = A_z = 5000$  км за период общего пребывания на орбите 384 дней. При увеличении  $\varphi_z$ , оба графика синхронно смещаются вправо, а явный минимуму  $t_h$  соответствует одному из максимумов  $t_v$ . Необходимо, обратить внимание на то, что с изменением  $\varphi_z$ , значения  $t_h$  варьируются в диапазоне шириной 0,0035 дня, что составляет порядка 1,5%, в то время, как значения  $t_v$  могут изменяться более существенно от 85 до 92 дней, что составляет около 8%.

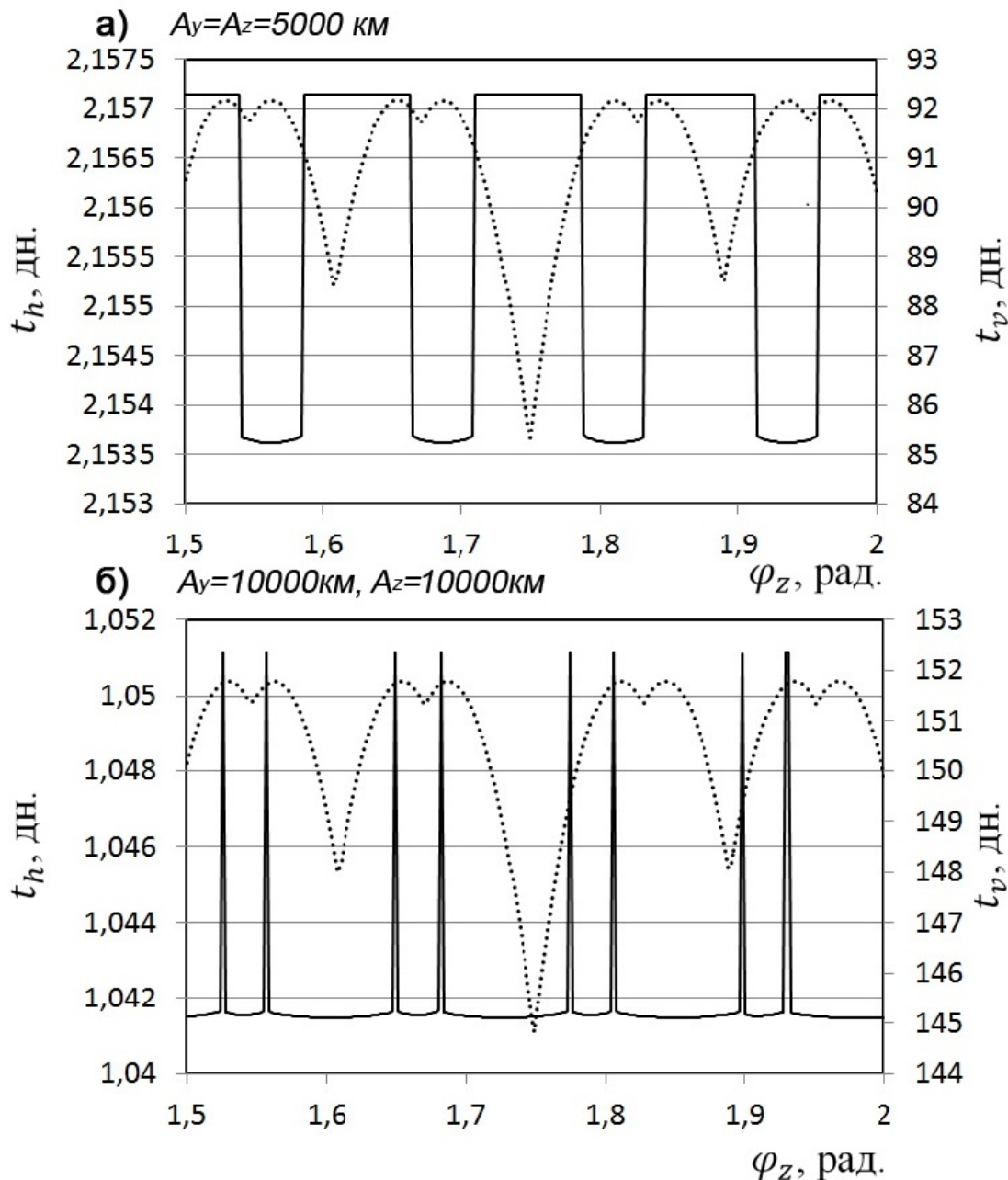


Рис. 3. Зависимость максимального периода непрерывной видимости с Земли и максимального времени затмения спутника Луной от начальной фазы траектории  $\varphi_z$ , при  $\varphi_y = 0$  и различных значениях амплитуд



Для случая  $A_y = A_z = 5000$  км, минимум  $t_h$ , как хорошо видно из графиков на рис. 3(а), соответствует одному из максимумов  $t_v$ , таким образом, оптимизируя траекторию по  $t_h$ , мы автоматически оптимизируем её по  $t_v$ .

Такая картина вообще говоря не характерна для других значений амплитуд. На рис. 3(б) представлены результаты для амплитуд  $A_y = 10000$  км,  $A_z = 10000$  км, где ситуация обратная: минимум  $t_h$  не соответствуют максимумам  $t_v$ . Таким образом, не всегда удается проводить оптимизацию по нескольким критериям одновременно, однако, как уже было отмечено, увеличение  $t_v$  более приоритетно и более чувствительно к неправильному выбору  $\varphi_z$ . Таким образом, для орбит с амплитудами  $A_y = 10000$  км,  $A_z = 10000$  км.

При увеличении продолжительности периода времени пребывания на орбите количество явных минимумов  $t_h$  уменьшается. Так например, для периода пребывания на орбите Лиссажу в 365 график зависимости максимального времени покрытия космического аппарата будет иметь 3-4 ярко выраженных минимума.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены особенности и характеристики семейства орбит Лиссажу вокруг точки либрации L2 системы Земля-Луна.

Показано, что при правильном выборе фазы и времени выхода на орбиту возможны миссии, обеспечивающие непрерывную видимость аппарата от 92,27 (для  $A_y = A_z = 5000$  км), до 167,51 (для  $A_y = A_z = 15000$  км) дней.

Показано, что комбинация фаз  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$  может значительно (порядка 10%) сказываться на максимальном времени непрерывной видимости аппарата с Земли и незначительно (порядка 1..2%) – на максимальном времени затмения спутника Луной.

Найдены множества комбинаций фаз  $\varphi_y$  и  $\varphi_z$ , обеспечивающие максимальное время непрерывной видимости аппарата с земли.

#### Литература

1. Clarke, A. C., “Interplanetary Flight” London: Temple Press Books Ltd., 1950.
2. Robert W. Farquhar, “The Control and Use of Libration-Point Satellites” Goddard Space Flight Center Greenbelt, Maryland 20771, 1970.
3. Hechler M., Cobos J., “Herschel, Planck and Gaia Orbit Design,” Libration PointOrbits and Applications, Gomez G, Lo M.W. and Masdemont J.J., Eds. Singapore: World Scientific Publishing, 2003.

## Авторский указатель

Avdeuk O. A.	21	Богачёв К.А.	135, 354
Bastrakov A. V.	21	Буйвол П.А.	310
Biloshenko Konstantin	495	Бутенко А.Э.	549
Dedkov V.A.	206	Бычков В.В.	33
Jian Wan	495	Внуков А.А.	213, 515, 524
Kamalov J.	539	Волкова Л.Л.	141
Kirsanov M.N.	206	Воловиков В.В.	263, 273
Kravchenko N.P.	563	Волянский Р.С.	148
Krokhalev A. V.	21	Гаврилов Д. С.	63
Mukhitdinov B.	539	Гаевой С. В.	109, 152
Prikhodkov K. V.	21	Галашова К.А.	155
Pulong Nan	495	Гладков И.М.	345
Qiang Guo	495	Голованчиков А.Б.	103
Romashin N.L.	563	Голяев Ю.Д.	372
Shulga Sergei	495	Горобцов А.С.	14, 35
Авдеюк Д.Н.	26	Грачев Н.Н.	160, 166, 169
Авдеюк О.А.	5, 7, 24, 27, 57, 66, 79, 81, 85	Гродзенский С.Я.	174, 177, 179
Адамов Б.И.	105	Гродзенский Я.С.	478
Аксенов С.А.	545,549,567,573	Грудзинский П.В.	174
Акулов Л. Г.	24, 29, 31,33, 57, 66	Груничев А.В.	183
Аль-Хадша Ф. А. Х.	109, 152	Губарев В.В.	187
Амбарцумян О. А.	111	Гужов В.И.	195
Андреевская Т. М.	114, 117	Гуртовая П.В.	385
Андроник А.В.	14, 18, 35, 38	Гусев А.П.,	200
Антонов Д. С.	122	Данхэм Д.У.	545, 569, 573
Ареби Мажед Али	469	Демкин Д.В.	183
Аристова Ю.В.	103	Дианов В.Н.	473
Асеева С.Д.	26	Дородников Н.А.	75
Астафьев А.В.	420	Дородникова И.М.	75
Афанасьев М.С.	174	Дулькина Н.А.	103
Бай К.Н.	126	Егоров И.В.	213
Бай Т.В.	126	Елизаров А.А.	218, 226, 233
Байметов Ф.Т.	132	Еремеев А.П.	238
Бакумова М.С.	98	Ерохина О.С.	556
Балакин А. Р.	122	Ефремова Е.В.	545
Балакина Е.В.	49, 52, 54	Ефремова М.В.	226
Белоусов И.М.	473	Закирова Э.А.	218
Бердников П.А.	195	Захаров Е. А.	63
Берестень М.П.	328	Зотов В.М.	52, 54,
Беркетов Г.А.	425	Зотов Н.М.	52, 54
Бобер С.А.	549	Иванов В.Г.	292

Иванов С.А.	246	Мельников М. П.	322
Иванченко А.Я.	560	Микрюков А.А.	425
Ильиных С.П.	195	Милаев Д.	483
Ипатов Д.Е.	248	Мозговой Ю.Д.	434, 532
Ипатов Е.Б.	248	Моховиков М.О.	441
Ипатова В.М.	254	Мурашѐв Д.А.	326
Калачева Е.А.	177, 179	Муха Ю. П.	5, 7, 24, 29, 33, 57, 58, 60, 66, 69
Кирсанов М. Н.	114, 183	Мясникова Н.В.	328
Козадаев Р.А.	310	Наумов В. Ю.	24, 26, 31, 57, 66
Кокин Н.Н.	263	Нестерова Д.А.	233
Колбас Ю.Ю.	372	Николаева С.В.	277
Коновалов С.Ф.	372	Овчинников С.А.	177, 179
Королев А. Д.	69	Палкин Е.А.	248
Королѐв С.П.	265	Патрикеев А.П.	455
Королева И. Ю.	27, 66, 69	Переляев С.Е.	505
Кравец А.Д.	270	Петров Л.Ф.	333
Кравцов П.А.	273	Петров С. А.	10
Кравченко Н.П.	276	Петрова Ю. В.	88
Красников С.А.	277	Печерская Е.А.	339, 345
Краснов А.Е.	277	Печерская Р.М.	339
Крат Ю.Г.	285	Пойда А.А.	265
Крашенинников А.В.	98	Поляков А.Н.	265
Крохалев А.В.	5, 7, 79, 81, 85	Полянчикова М. Ю.	87, 88
Кузнецов Р.С.	195	Пономарев Д.Ю.	349
Кузьмин С.В.	79, 81, 85	Попов И.С.	354
Куликов А.С.	101	Попченков Д.В.	339
Куриленко И.Е.	238	Потапов И.И.	285, 368
Лавеева К. А.	89	Правик Ю.Н.	356
Левин Ю. В.	63	Приходьков К.В.	26, 79, 81, 85
Линецкий Б.Л.	307	Приходькова И.В.	26, 27
Логашина И.В.	556	Прохоров К.О.	524
Ломоносов Ю.В.	292	Пчельников Ю.Н.	226, 233
Лукин Д.С.	248	Раюшкина А.А.	98, 101
Лысак В.И.	79, 81, 85	Ромашин Н.Л.	276
Лысенко А.В.	300	Русаков С.А.	58, 60
Львов Б.Г.	307	Савельев И.И.	385, 389
Любарский М.Г.	292	Савкин А.Н.	14, 18, 35, 38, 41, 46, 79, 81, 85
Макаров И.В.	101	Садовой А.В.	148
Макарова И.В.	310	Седов А.А.	14, 18
Мамедова Э. Я	319	Секачѐв В. А.	73
Медведев В.В.	91	Секунов А.В.	362

Сирوماхин А.В.	14, 46	Шилин А.А.	96
Снигур К. С.	368	Шилин А.Н.	91, 96
Снигур К.С.	265	Шипилева А.В.	463
Соловьева Т.И.	372	Ширяев С.А.	98, 101
Соро Мамаду	515	Шпитонкова Е.А.	465
Сорокин А.А.	265	Энатская Н.Ю.	487
Старостин И.Е.	378		
Стахмич Ю.В.	385, 389		
Степанов А.С.	393		
Стрижиченко А.В.	94		
Суханов М.А.	18, 35, 38, 46		
Тарасова И.А.	29		
Титов А.Ю.	395		
Томилин А.В.	372		
Труфанова М.К.	403		
Уварова Т.В.	407		
Ульянов Д.Г.	12		
Устинов В.Ф.	393		
Федин А.П.	52, 54		
Федин Н.А.	412		
Федоренко А.Н.	415		
Федоренко Ю.В.	573		
Федосеев С.В.	420, 425		
Федянов Е. А.	63		
Филимонова А.С.	218		
Флегонтов А.В.	428		
Фомин В.В.	428		
Хабибуллин Р.Г.	310		
Хакимуллин Е.Р.	487		
Харламов В.О.	79, 81, 85		
Хриткин С.А.	434, 532		
Цыганов П.А.	441		
Чекункова Т.О.	117		
Черная Е. С.	444		
Чернов Е.А.	277		
Чернов С. А..	451		
Чернодаров А.В.	455		
Чесалин А.Н.	478		
Чумаченко Е.Н.	415, 549, 556		
Шабном Мустари	524		
Шаймарданов Р.В.	233		
Шаховская О.	483		
Шведов Е.Г.	5, 7		
Шейкх Салман Али	524		

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

Авдеюк О.А., Муха Ю.П., Крохалев А.В., Шведов Е.Г. ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕЖБЛОЧНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ .....	5
Муха Ю.П., Авдеюк О.А., Крохалев А.В., Шведов Е.Г. ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ КАТЕГОРИЙ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ МЕЖБЛОЧНОГО ИНТЕРФЕЙСА СЛОЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	7
Петров С. А. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА КВАТЕРНИОНОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ .....	10
Ульянов Д.Г. СОЗДАНИЕ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ HVAC ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ХРАНИЛИЩА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ .....	12
Савкин А.Н., Горобцов А.С., Андроник А.В., Седов А.А., Сиромашин А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЯ .....	14
Савкин А.Н., Андроник А.В., Суханов М.А., Седов А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ МКЭ-МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	18
Bastrakov A. V., Prikhodkov K. V., Avdeuk O. A., Krokhalev A. V. COMBUSTION OF HYDROGEN-AIR MIXTURES IN CONSTANT VOLUME CHAMBER .....	21
Наумов В.Ю., Акулов Л.Г., Муха Ю.П., Авдеюк О.А. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНУЮ СИТУАЦИЮ В ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....	24
Приходьков К.В., Наумов В.Ю., Авдеюк Д.Н., Асеева С.Д., Приходькова И.В. РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО САЙТА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ .....	26

Приходькова И.В., Королева И.Ю., Авдеюк О.А. АНАЛИЗ АПРИОРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	27
Акулов Л. Г., Тарасова И.А., Муха Ю.П. ОБЪЕКТНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ...	29
Акулов Л. Г., Наумов В.Ю. СТРУКТУРА МОДУЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДЕМУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ В СОСТАВЕ ЯДРА ЭЭГ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ....	31
Акулов Л. Г., Бычков В.В., Муха Ю.П. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ.....	33
Савкин А.Н., Горобцов А.С., Андроник А.В., Суханов М.А. МЕТОДИКА УСТАЛОСТНОГО АНАЛИЗА НЕСУЩЕЙ РАМЫ АВТОМОБИЛЯ- ВНЕДОРОЖНИКА .....	35
Савкин А.Н., Андроник А.В., Суханов М.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СИЛОВУЮ КОНСТРУКЦИЮ АВТОМОБИЛЯ В ЗАДАЧЕ ЯВНОЙ ДИНАМИКИ .....	38
Савкин А.Н. ОБ ОЦЕНКЕ РЕЛАКСАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ.....	41
Савкин А.Н., Сирوماхин А.В., Суханов М.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ РОСТА ТРЕЩИНЫ В КОНСТРУКТИВНОМ ЭЛЕМЕНТЕ ПРИ СЛУЧАЙНОМ НАГРУЖЕНИИ.....	46
Балакина Е.В. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ .....	49
Балакина Е.В., Зотов Н.М., Зотов В.М., Федин А.П. ПЕРЕЧЕНЬ ФАКТОРОВ И ЯВЛЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ АВТОМОБИЛЯ.....	52

Балакина Е.В., Зотов Н.М., Зотов В.М., Федин А.П. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СИМВОЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ MAPLE 10 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО КОЛЕСА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	54
Наумов В.Ю., Акулов Л.Г., Авдеюк О.А., Муха Ю.П. ВЫДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ АДАПТАЦИОННЫХ КОНТУРОВ ГЕМОПОЭТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	57
Муха Ю.П., Русаков С.А. МЕТОДИКА И АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КОСТНОГО РЕГЕНЕРАТА .....	58
Муха Ю.П., Русаков С.А. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕНИЯ КОСТНОГО РЕГЕНЕРАТА В ПРОЦЕССЕ ЧРЕСКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ.....	60
Федянов Е. А., Захаров Е. А., Левин Ю. В., Гаврилов Д. С. ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВОДОРОДА НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАМИНАРНОГО ПЛАМЕНИ В ПРОПАН-БУТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЯХ .....	63
Муха Ю.П. , Авдеюк О.А., Королева И.Ю., Акулов Л.Г., Наумов В. Ю. СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ С РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ.....	66
Муха Ю. П., Королева И. Ю., Королев А. Д. ГИБКИЙ ИНТЕРФЕЙСНЫЙ БЛОК ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ....	69
Секачѳв В. А. СОЗДАНИЕ РЕДАКТОРА ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ НАРАБОТКИ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЗАМЕЩЕНИЯ.....	73
*Дородников Н.А., Дородникова И.М. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ КОРПОРАТИВНЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ .....	75
Крохалев А.В., Харламов В.О., Приходьков К.В., Авдеюк О.А., Савкин А.Н., Кузьмин С.В., Лысак В.И. РАСЧЕТНОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ «КАРБИД ХРОМА – ТИТАН» ....	79

Крохалев А.В., Харламов В.О., Приходьков К.В., Авдеюк О.А., Савкин А.Н., Кузьмин С.В., Лысак В.И. РАСЧЕТНАЯ МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ УДАРНЫХ АДИАБАТ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ .....	81
Крохалев А.В., Харламов В.О., Приходьков К.В., Авдеюк О.А., Савкин А.Н., Кузьмин С.В., Лысак В.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ «КАРБИД ХРОМА – ТИТАН» ПОД ДЕЙСТВИЕМ КИСЛОРОДА .....	85
Полянчикова М. Ю. ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШЕМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ.....	87
Полянчикова М. Ю., Петрова Ю. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ФУНКЦИЙ КАЧЕСТВА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОДУКЦИИ .....	88
Лавеева К. А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПО ФУНКЦИИ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ СТОХАСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА .....	89
Шилин А.Н., Медведев В.В. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ.....	91
Стрижиченко А.В. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ .....	94
Шилин А.Н., Шилин А.А. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ .....	96
Раюшкина А.А., Ширяев С.А., Крашенинников А.В., Бакумова М.С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА КОЛЕБАНИЙ МНОГОЯРУСНОЙ ТАРЫ В КУЗОВЕ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ .....	98



Ширяев С.А., Куликов А.С., Раюшкина А.А., Макаров И.В. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПассаЖИРОВ И ОПЕРАТОРОВ РЫНКА ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА .....	101
Голованчиков А.Б., Дулькина Н.А., Аристова Ю.В. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА С ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛЬЮ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ И РАЗНЫМИ ЧИСЛАМИ ПЕКЛЕ ПО РЕАГИРУЮЩИМ КОМПОНЕНТАМ .....	103
Адамов Б.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА С МЕКАНУМ-КОЛЁСАМИ В СИСТЕМЕ <i>MATHEMATICA 7.0</i> .....	105
Аль-Хадша Ф. А. Х., Гаевой С. В. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СЕТЕЙ .....	109
Амбарцумян О. А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ГИГАНТСКОГО РАМАНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ .....	112
Андреевская Т. М., Кирсанов М. Н. УРАВНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ НЕЛИНЕЙНО УПРУГОГО ТЕЛА В ТРЕХМЕРНЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ .....	114
Андреевская Т.М., Чекунова Т.О. МЕСТО UWB ТЕХНОЛОГИЙ В СТАНДАРТАХ БЕСПРОВОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ.....	118
Антонов Д. С., Балакин А. Р. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ШИФРОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В АЛГОРИТМАХ ЭЛЕКТРОННО-ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ.....	123
Бай К.Н., Бай Т.В. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК КОНЦЕПТ УПРАВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ОБРАЗОВАНИЕМ.....	126
Байметов Ф.Т. ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ УЧЁТА БОЛЬНЫХ ТУБЕРКУЛЁЗОМ.....	132

Богачёв К.А. АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ.....	135
Волкова Л.Л. ПОДАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА В ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВАНИИ КРАТНОМАСШТАБНОГО АНАЛИЗА .....	141
Волянский Р.С., Садовой А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛОВ КАЧЕСТВА ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ОБОБЩЕННОЙ АКТИВАЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ .....	148
Гаевой С. В., Аль-Хадша Ф. А. Х. ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОТДЕЛЬНО ВЗЯТОЙ ЗАЯВКИ В СМО .....	152
Галашова К.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЛУЖАЩИХ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ ...	155
Грачев Н.Н. СПОСОБ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СБОРКИ БЛОКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ .....	160
Грачев Н.Н. ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ.....	166
Грачев Н.Н. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	169
Афанасьев М.С., Гродзенский С.Я., Грудзинский П.В. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРО-РАДИО ИЗДЕЛИЙ .....	174
Гродзенский С.Я., Овчинников С.А., Калачева Е.А. SALS-ТЕХНОЛОГИИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ.....	177

Гродзенский С.Я., Овчинников С.А., Калачева Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ В CALS-ТЕХНОЛОГИЯХ . 179	
Груничев А.В., Демкин Д.В., Кирсанов М.Н. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦ ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ПОРОГОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ КАРТЫ НАСЫЩЕННОСТИ ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ..... 183	
Губарев В.В. ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ КАК ЗАКОНОМЕРНЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ИНФОРМАТИКИ ..... 187	
Гужов В.И., Ильиных С.П., Кузнецов Р.С., Бердников П.А. АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ..... 195	
Гусев А.П. СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА НЕОДНОРОДНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ МЕТОДОМ ДЕРЕВЬЕВ НИТЕЙ200	
Dedkov V.A., Kirsanov M.N. THE PROBLEM OF CONTROL FOR MULTIROBOT SYSTEMS ..... 206	
Егоров И.В., Внуков А.А. РАЗРАБОТКА БЛОКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ..... 213	
Елизаров А.А., Закирова Э.А., Филимонова А.С. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН И СВЧ УСТРОЙСТВ НА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ..... 218	
Пчельников Ю.Н., Елизаров А.А., Ефремова М.В. ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОПЕРВЕАНСНЫХ ЭЛЕКТРОННО- ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЧ ПРИБОРОВ ..... 226	
Пчельников Ю.Н., Елизаров А.А., Нестерова Д.А., Шаймарданов Р.В. ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ФИЗИОТЕРАПИИ НА ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ..... 233	
Еремеев А.П., Куриленко И.Е. АЛГОРИТМЫ ВЫВОДА ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ ВЕТВЯЩЕГОСЯ ВРЕМЕНИ..... 238	

Иванов С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ .....	246
Ипатов Е.Б., Лукин Д.С., Палкин Е.А., Ипатов Д.Е. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАНОНИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА МАСЛОВА В ЗАДАЧАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ.....	248
Ипатова В.М. СХОДИМОСТЬ ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ БАРОКЛИННОЙ МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ.....	254
Кокин Н.Н.Воловиков В.В. МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ БРЭА КА ЗА СЧЕТ ВЫДЕЛЕНИЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ЗОН.....	263
Поляков А.Н., Пойда А.А,Сорокин А.А., Королёв С.П., Снигур К.С. ПЛАТФОРМА ВИРТУАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НАУЧНЫХ ДАННЫХ .....	265
Кравец А.Д. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ МОДУЛЕЙ.....	270
Кравцов П.А., Воловиков В.В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В БЛОКЕ РЭА С ПЕРФОРИРОВАННЫМИ СТЕНКАМИ.....	274
Кравченко Н.П., Ромашин Н.Л. НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ НЕСТАБИЛЬНОСТЕЙ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В УСКОРИТЕЛЯХ.....	276
Краснов А.Е., Красников С.А., Николаева С.В., Чернов Е.А. АГРЕГИРОВАННОЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СОСТОЯНИЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ИЕРАРХИИ.....	278
Крат Ю.Г., Потапов И.И. СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ДОННЫХ ВОЛН.....	286
Иванов В.Г., Ломоносов Ю.В., Любарский М.Г.	

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КЛАССИФИКАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ СИМВОЛЬНЫХ ДАННЫХ .....	292
---	-----

Лысенко А.В.

КЛАССИФИКАЦИЯ АМОТИЗАТОРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ФАСЕТНОЙ СТРУКТУРЫ .....	300
--	-----

Линецкий Б.Л., Львов Б.Г.

ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НИОКР В ИННОВАЦИОННОМ ЦИКЛЕ .....	307
---	-----

Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Буйвол П.А., Козадаев Р.А.

УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ ФИРМЕННОГО СЕРВИСА АВТОМОБИЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИНЦИПОВ СИСТЕМНОСТИ .....	310
---	-----

Мамедова Э. Я.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МУЛЬТИМЕДИА В ОТКРЫТОМ ОБРАЗОВАНИИ.....	319
---	-----

Мельников М. П.

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В МЕДИЦИНЕ .....	322
---	-----

Мурашѐв Д.А.

О МЕТОДАХ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ .....	326
---	-----

Мясникова Н.В., Берестень М.П.

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ В ТЕХНИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....	328
--	-----

Петров Л.Ф.

ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ.....	333
---	-----

Печерская Е.А., Печерская Р.М., Попченков Д.В.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ .....	339
--	-----

Печерская Е.А., Гладков И.М.

МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ОСТАТОЧНОЙ ПОЛЯРИЗОВАННОСТИ ОТ ЧИСЛА ЦИКЛОВ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ .....	345
---	-----

Пономарев Д.Ю. ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ IMS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕНЗОРНОГО АНАЛИЗА СЕТЕЙ.....	349
Богачёв К.А., Попов И.С. ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ СЖАТИЯ ТРАФИКА КАНАЛА СВЯЗИ .....	354
Правик Ю.Н. ПАРАДИГМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «ЗАКАЗЧИК» - «РАЗРАБОТЧИК» ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ: СОЗДАНИЕ МНОГОМЕРНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МАРКЕТИНГОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИЯМИ.....	356
Секунов А.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА НА СИСТЕМЫ СОБЫТИЙНОГО ВИДЕОКОНТРОЛЯ.....	362
Потапов И. И., Снигур К. С. ОДНОМЕРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА .....	368
Голяев Ю.Д., Колбас Ю.Ю., Коновалов С.Ф., Соловьева Т.И., Томилин А.В. МЕТОД ВЫБОРА АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ.....	372
Старостин И.Е. УЧЕТ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ПОТОКОВЫМ МЕТОДОМ .....	378
Гуртовая П.В., Савельев И.И., Стахмич Ю.В. РАЗЪЮСТИРОВКИ НЕПЛОСКИХ КОЛЬЦЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ	385
Савельев И.И., Стахмич Ю.В. ИНТЕНСИВНОСТЬ И ФАЗА ПОЛЯ ПОПЕРЕЧНЫХ МОД СТИГМАТИЧНОГО ПЛОСКОГО И НЕПЛОСКОГО РЕЗОНАТОРА .....	389
Устинов В.Ф., Степанов А.С.	

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЭМС-УСТРОЙСТВ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ НАКАТОМ УПРУГИХ ЛЕНТ НА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПЛЕНКУ .....	393
Титов А.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛУНЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ПОЛУЧАЕМОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ.....	395
Труфанова М.К. СОЦИАЛИЗАЦИЯ РОБОТОВ .....	403
Уварова Т.В. ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ГОЛОСОВОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА .....	407
Федин Н.А. ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ ..	412
Федоренко А.Н., Чумаченко Е.Н. Данхэм Д.У. УПРАВЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА СО СФЕРИЧЕСКИМИ СОЛНЕЧНЫМИ ПАРУСАМИ.....	415
Федосеев С.В., Астафьев А.В. ПРОЦЕДУРА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЯМИ. ....	420
Федосеев С.В., Микрюков А.А., Беркетов Г.А. ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ МАГИСТЕРСКОЙ ПОДГОТОВКИ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И АДМИНИСТРИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ» В МЭСИ.....	425
Фомин В.В., Флегонтов А.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ В СРЕДЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	428
Мозговой Ю.Д., Хриткин С.А. ДВУЛУЧЕВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОПУТНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ В РЕЗОНАНСНЫХ ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ .....	434

Цыганов П.А., Моховиков М.О. ФОРМЫ ДОБАВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ЭКБ В БАЗУ ДАННЫХ ПОРТАЛА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	441
Черная Е. С. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СИСТЕМЕ НАКЛОННЫХ СКВАЖИН .....	444
Чернов С. А. КОМБИНИРОВАННЫЙ ФОРМАТ ИСПОЛНЯЕМЫХ ФАЙЛОВ НА ОСНОВЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ.....	451
Чернодаров А.В., Патрикеев А.П. ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ И НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ .....	455
Шипилева А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ ЗЛОУМЫШЛЕННИКА В КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ .....	463
Шпитонкова Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА С ВВЕДЕННЫМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПАРАМЕТРОМ .....	465
Ареби Мажед Али ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛОСЫ ПРОЗРАЧНОСТИ РЕЖЕКТОРНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ЗАМКНУТЫХ КОНТУРОВ.....	469
Белоусов И.М., Дианов В.Н. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСА ЖИВУЧЕСТИ ЭЛЕМЕНТА В СБОЙНОМ СОСТОЯНИИ .....	473
Гродзенский Я.С., Чесалин А.Н. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОЙ ВЫБОРКИ.....	478
Милаев Д., Шаховская О. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ .....	483



Энатская Н.Ю., Хакимуллин Е.Р. О РАЗБИЕНИИ ЧИСЛА НА ФИКСИРОВАННОЕ КОЛИЧЕСТВО СЛАГАЕМЫХ ОГРАНИЧЕННОГО РАЗМЕРА.....	487
Sergei Shulga, Konstantin Biloshenko, Guo Qiang, Nan Pulong, Wan Jian COMPLETE PULSE FEATURE EXTRACTION FOR RADAR SIGNALS BASED ON EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION AND HILBERT TRANSFORM.....	495
Переляев С.Е О НОВЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ КОНЕЧНОГО ВРАЩЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА.....	505
Внуков А.А., Соро Мамаду МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЭСКАЛАТОРА.....	515
Внуков А.А., Прохоров К.О., Шейх Салман Али. , Шабном Мустари РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗАХВАТА РОБОТА КАВАСАКИ ПРИ НАНЕСЕНИИ КРАСКИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ТЕЛ .....	524
Мозговой Ю.Д., Хриткин С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОПУТНЫХ И ВСТРЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПОТОКОВ В ГЛАДКОМ ВОЛНОВОДЕ .....	532
Kamalov J., Mukhitdinov B. MATHEMATICAL MODEL OF CONTROL IPTV NETWORK .....	539
Аксенов С.А., Ефремова Е.В., Данхэм Д.У. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИССИИ К ТОЧКЕ ЛИБРАЦИИ L2 СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ-ЛУНА.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Бутенко А.Э., Чумаченко Е.Н., Аксенов С.А., Бобер С.А. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ЕВРОПЫ.....	549
Ерохина О.С., Чумаченко Е.Н., Логашина И.В. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КРИБОТА С РАЗЛИЧНЫМИ ФОРМАМИ НАКОНЕЧНИКА СКВОЗЬ ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ ....	556

Иванченко А.Я.

ПРИМЕНЕНИЯ МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ..... 560

Kravchenko N.P., Romashin N.L.

FIELD SEPARATION MODEL FOR IRREGULAR WAVEGUIDES EXCITATION .. 563

Малашкин А.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТА НА ЛУНЕ И ОЦЕНКА ЕГО ДОСТОВЕРНОСТИ.....564

Николаева Ю.А., Аксенов С.А., Данхэм Д.У.

РАСЧЕТ ОКОН ЗАПУСКА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ТРАЕКТОРИИ  
ЗЕМЛЯ– ТОЧКА L2 СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ-ЛУНА.....567

Федоренко Ю.В., Аксёнов С.А., Дэвид Данхэм

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ВИДИМОСТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ДВИЖЕНИИ  
ВОКРУГ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ L2 СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ-ЛУНА.....573



Материалы  
Международной научно-практической конференции  
ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
Том 2

Materials of  
the International Scientific - Practical Conference  
INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES  
Part 2

Гл. ред. С. У. Увайсов;  
Отв. ред. И. А. Иванов

Печатается в авторской редакции

Компьютерная вёрстка: С. С. Увайсова,  
А. С. Увайсова, С. М. Лышов, Р. Ю. Пашев,  
Д. С. Панасик  
Дизайн обложки: Р. Ю. Пашев

Подписано в печать 08.04.2013.

Формат 60×84/8. Бумага «Pioneer»

Усл. печ. л. 69,9 Тираж 500 экз. Заказ 51

МИЭМ НИУ ВШЭ

109028, Москва, Б.Трёхсвятительский пер., д.3.

Отпечатано в ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информика»  
125009, г. Москва, Брюсов пер., д. 21, стр. 1