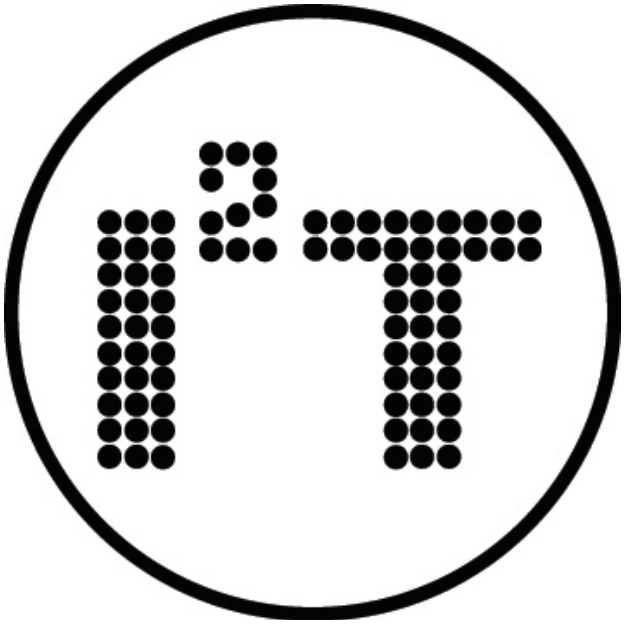
International Scientific – Practical Conference «INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES»



PART 3
INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES IN INDUSTRY

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 3. / Гл. ред. С.У. Увайсов; Отв. ред. И.А. Иванов–М.:МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013, 568 с.

I 64 Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific – practical conference. Part 3. /Ed. Uvaysov S. U., Ivanov I. A. –M.: MIEM NRU HSE, 2013, 568 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.

ББК 32.97
ISSN 2303-9728
© 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
E-mail: i2t@diag.ru
ВНИМАНИЕ! Информация о конференции отображается на сайте WWW.DIAG.RU

Секция 3
ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ПРИМЕНЕНИЕ QR-КОДОВ В СИСТЕМЕ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Абрамов А.Ю., Скакунов В.Н., Филимонов А.В.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Волгоградский политехнический колледж имени В.И. Вернадского

Рассмотрена возможность применения двумерных штриховых кодов в качестве маяков в системе навигации мобильных роботов. Разработан алгоритм распознавания двумерных кодов, имеющий достаточно высокую скорость работы и незначительную зависимость от угла наклона и поворота камеры считывания.

Using QR-codes in navigation system of mobile robots. Abramov A.Y., Skakunov V.N., Filimonov A.V.

Possibility of application of two-dimensional shaped codes as beacons in system of navigation of mobile robots is considered. The algorithm of recognition of the two-dimensional codes, having rather high speed of work and insignificant dependence on a tilt angle and turn of the camera of reading is developed.

Двумерные штриховые коды (бар-коды) изначально были разработаны, в основном, для торговли, логистики, производства. В настоящее время область применения этих кодов быстро расширяется, захватывая новые сферы, связанные, в частности, с построением систем автономного управления транспортом, робототехническими комплексами.

Для мобильных роботов система глобального позиционирования GPS эффективно работает при определении географического положения робота. Однако, в тех случаях, когда внутри помещения сигнал от спутника сильно ослаблен, система GPS становится практически бесполезной и она должна быть дополнена системой распознавания положения робота в окружающем пространстве с помощью координатных меток. В последнее время в качестве меток (реперов) всё чаще используются двумерные штриховые коды.

К настоящему времени разработано большое количество стандартов бар-кодов, наиболее популярными среди которых являются Aztec Code, DataMatrix, PDF-417 и QR Code. У каждого из этих кодов есть свои достоинства и недостатки, что позволяет использовать их в различных условиях. Современные алгоритмы и системы распознавания бар-кодов во многих случаях обрабатывают изображения, находящиеся параллельно плоскости камеры, или расположенные только под определенным углом. Сама процедура распознавания в таких случаях значительно упрощается, не требуя больших временных затрат на получение конечного результата. Однако, поддержка распознавания кодов, не чувствительных к наклону камеры и углу поворота, имеет большое значение для расширения функциональности устройств считывания в мобильных устройствах и повышения эффективности систем навигации.

В настоящей работе предложен алгоритм, реализуемый средствами бортовой системы в режиме реального времени. Разработка алгоритма основана на общем

подходе к распознаванию двумерных бар-кодов с произвольным углом наклона и поворота камеры, изложенном, например, в [1], и включающем следующие основные этапы:

−предварительная обработка изображения;

−детектирование ориентировочных элементов (границ и краевых точек кода);

−восстановление матрицы кода;

−декодирование данных.

Сравнение известных двумерных кодов по основным показателям, таким как, максимальный размер хранимой информации, возможности коррекции ошибок и оптимизации технологии печати, устойчивости пространственного распознавания показало преимущество QR-кода в качестве маяка.

Разработан алгоритм, предназначенный для обнаружения на видеоизображении QR-кода, подготовки его к считыванию (устранения искажения и поворота, бинаризация), передачи подготовленного фрагмента с кодом библиотеке дешифровки. Алгоритм построен, в основном, с помощью библиотек и функций системы Open CV [2].

В качестве средств дешифровки выбрана библиотека libqr v.0.8.2. С помощью этой библиотеки создаются и считываются QR-коды числового и байтового форматов. В разработанном алгоритме она дополнена функцией трансформирования изображения для правильного считывания.

Для устранения шума на изображении выполняется операция сглаживания с помощью функции cvSmooth. Далее выполняется конвертирование изображения в оттенки серого и бинаризация изображения.

На черно-белом изображении производится поиск контуров при помощи функции cvDrawContours. Далее анализируется вложенность контуров для поиска меток синхронизации QR-кода: у них наблюдается тройная вложенность. Если на изображении найдены участки с тройной вложенностью контуров, то внешний контур анализируются на квадратную форму: при помощи функции cvBoundingRect получаем минимальный описанный квадрат вокруг контура. А при помощи функции cvContourArea получаем площадь внутри контура. Если площадь минимального описанного квадрата приблизительно равна площади внутри контура, значит этот контур – метка синхронизации QR-кода.

В QR-коде имеется 3 метки синхронизации. Если на изображении найдены эти метки, начинается определение границ QR-кода. Для определения границ используются координаты верхнего левого угла левой верхней метки синхронизации, нижнего левого угла нижней левой метки, верхнего правого угла верхней правой метки. Поскольку QR-код может быть деформирован, происходит анализ координат меток синхронизации для восстановления их правильного положения. Четвертая координата границы кода рассчитывается как пересечение линий, образованных по точкам на нижней и правой метках синхронизации. Для устранения искажения используются функция OpenCV cvGetPerspectiveTransform и cvWarpPerspective , которая непосредственно выполняет преобразование. В результате их применения QR-код располагается в правильной ориентации.

Преобразованное изображение передается в библиотеку декодирования при помощи функции qr_decoder_decode_image. Если декодирование выполнено успешно, то получить закодированную строку можно, вызвав функцию qr_decoder_get_body.

Таким образом, применяя разработанный алгоритм, можно организовать автономную навигацию робота по QR-кодам в качестве маяков, в которые заложена программа передвижения по заданной траектории или другие команды для выполнения поставленных задач.

Проведен ряд экспериментов, в которых мобильному роботу, оснащенному веб-камерами, задавался маршрут передвижения. Генератором команд создавались текстовые строки в определенном формате, которые затем кодировались в QR-код. Код под разными ракурсами вносился в рабочее поле камеры до корректного декодирования. В результате выявлены некоторые, вполне исправимые, ограничения, но в то же время получены основные ожидаемые преимущества по скорости обработки и достоверности считываемых данных.

Литература

1. Ohbuchi, E. Hanaizumi, H. Hock. Barcode readers using the camera device in mobile phones. L.A., Cyberworlds International Conference, 2004. - С. 260 – 265.

2. G. Bradski, A. Kaehler. Learning OpenCV. − 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA, USA: O'Reilly, 2008. - 555c.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ПО ДАННЫМ СО СТЕРЕОКАМЕР

Абрамов А.Ю., Скакунов В.Н., Лесных В.О.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Волгоградский политехнический колледж имени В.И. Вернадского

Предложен и реализован алгоритм определения расстояний до объектов рабочего пространства мобильного робота по данным со стереокамеры. Алгоритм основан на сопоставлении ключевых точек, полученных на базе метода поиска локальных особенностей SURF.

Development of algorithm for determination of distance by data from a stereo camera. Abramov A.Y., Skakunov V.N., Lesnyh V.O.

Proposed and implemented an algorithm for determining the distances to objects workspace mobile robot according to stereo camera. The algorithm is based on a comparison of the key points which were obtained on the basis of the method of searching for local features of SURF.

Системы технического зрения мобильного робота широко используются для решения различных по назначению задач, в частности, в тех случаях, когда требуется обнаружение препятствия, динамическая корректировка маршрута или построение карты местности [1,2].

Предлагаемый в работе алгоритм использует возможности стереозрения для определения расстояния до препятствий в недетерменированной среде. Он основан на том, что каждая реальная точка пространства перед стереокамерой имеет различные координаты на левом и правом изображениях. При этом учитывается зависимость погрешности вычисления расстояния от оцифровки изображения и времени обработки изображения, прямо связанного с аппаратными затратами, от разрешающей способности камер. Диапазон расстояний, в котором погрешность оцифровки невелика, можно изменять, меняя взаимное расположение камер в горизонтальной плоскости, с последующей калибровкой стереокамеры.

В разработанном алгоритме используются библиотеки системы компьютерного зрения OpenCV, которые обладают средствами, необходимыми для расчета реального

расстояния до точки в зависимости от различий ее координат на изображениях. Для устранения искажений и получения параметров камеры необходима предварительная процедура калибровки. Средства OpenCV предоставляют возможность калибровки камер по шахматной доске или по набору окружностей. Внутренние параметры камер и параметры стереопары сохраняются в файлы и загружаются в последующем при каждом запуске системы. Если при работе системы будет обнаружена систематическая погрешность, то она может быть устранена после повторной калибровки.

Параметры стереокамеры, необходимые для расчета расстояний, изображены на рисунке 1. Это расстояние между камерами, координаты точки, через которую проходит центральный луч и фокусные расстояния камер. Эти данные можно получить, указав при калибровке фактический размер клетки шахматной доски.

Расстояния определяются сопоставлением ключевых точек и дескрипторов, полученных при обработке изображений от двух камер с помощью алгоритма SURF. Для всех найденных пар точек рассчитывается реальное расстояние от стереокамер до точки. Изображения могут подаваться на вход алгоритма из файлов, загружаться по сети или с видеокамер.

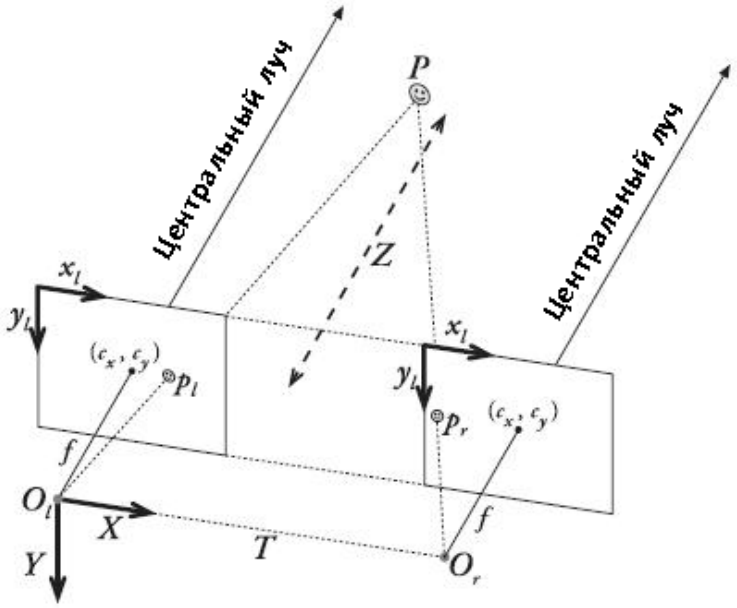


Рис. 1. Схема определения расстояния в зависимости от параметров камер

Обобщенная функциональная организация алгоритма представляется как последовательность следующих этапов преобразований, использующих библиотеки и функции системы Open CV. Так, для построения карты расстояний требуется знать границы предметов, потому что точек, полученных в результате работы алгоритма SURF, недостаточно для восстановления расстояния до каждой реальной точки местности. В связи с этим необходима аппроксимация расчетного расстояния с применением его к области, обведенной контуром. На левом изображении выделяются границы с использованием детектора границ Кенни cvCanny() [3]. Далее, используя функцию cvSub() [3], из исходного изображения вычитается изображение с границами. В результате на изображении границы станут четко очерченными. Затем изображение передается в функцию cvFindContours(), которая на выходе дает изображение, содержащее контуры, обведенные вокруг границ. При необходимости контуры границ прорисовываются с помощью операции наращивания линий контуров cvDilate.

Точки, полученные после процедуры сравнения, передаются в функцию cvTriangulatePoints(), которая также в качестве входных параметров принимает

матрицы параметров стереокамер. На выходе получаем матрицу расстояний до точек. Отфильтровываются ложные срабатывания (точки с отрицательным расстоянием).

Для обеспечения приема изображений разработан алгоритм, выполняющий прием потока по HTTP, разделение потока на кадры и выдачу кадров в формате OpenCV IplImage. Для тестов применялась программа mjpg streamer, транслирующая изображения с видеокамер по HTTP. На базе алгоритма создана программа на языке C++, и скомпилирована в динамическую библиотеку mjpg_get.

Литература

1. Навигация мобильного колесного робота по данным системы технического зрения / К.А. Кирик, А.И. Кобрин // Экстремальная робототехника : труды межд. конф., Санкт-Петербург, 12-14 окт. 2010 г. / ЦНИИ робототехники и техн. кибернетики, С.-Петерб. гос. политехн. ун-т. - СПб, 2010. - С. 172-177.

2. Адаптация алгоритмов технического зрения для систем управления шагающими машинами / С.А. Быков, А.В. Еременко, А.Е. Гаврилов, В.Н. Скакунов // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 3. - С. 52-56.

3. G. Bradski, A. Kaehler. Learning OpenCV. − 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA, USA: O'Reilly, 2008. 555c, ил.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЦВЕТОВЫХ ОТТЕНКОВ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Азаров В.А., Савин Д.А., Бобин А.В.
Москва, Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ)

В настоящей работе рассмотрены основные принципы электронного представления графического изображения. Обоснована актуальность задачи уменьшения количества его цветовых оттенков. Предложена методика построения систем уменьшения количества цветовых оттенков графического изображения.

Development of the method of color hew number decreasing of graphical image. Azarov V.A., Savin D.A., Bobin A.V.

In this article the general principles of electronic graphical image representation are touched. The task actuality of color hew number decreasing is grounded. The method of color hew number decreasing systems construction is offered.

Введение. В настоящее время в целях автоматизации управления различными техническими системами активно применяется цифровая фото- и видеотехника. Вследствие этого регулярно возникают проблемы, связанные с автоматической обработкой графических изображений.

Графическое изображение представляет собой множество отдельных точек фиксированного размера, число которых определяется разрешающей способностью аппаратуры и часто достигает нескольких миллионов. Каждая точка изображения характеризуется своим цветом, который, как правило, кодируется в системе представления цвета RGB, т.е. посредством уровней интенсивности красной, зелёной и синей составляющих. Каждая составляющая имеет множество уровней интенсивности.

Таким образом, стандартная 24-битная палитра RGB содержит свыше 16 млн. цветовых оттенков.

В ряде систем обработки изображений такое число оттенков является избыточным и приводит к увеличению вычислительных и временных затрат и, как следствие, к снижению производительности. Особенно это критично в задачах по анализу изображений в реальном масштабе времени при строго ограниченных вычислительных ресурсах.

Одним из наиболее распространённых способов уменьшения количества цветовых оттенков является формирование относительно небольшого набора так называемых базовых цветов и замена цветов всех точек изображения ближайшими в некоторой метрике базовыми цветами.

В работе предлагается методика подбора ближайшего базового цвета для произвольной точки графического изображения.

Постановка задачи. Рассмотрим отдельную точку графического изображения, представленную в формате RGB. Пусть цвет этой точки задается вектором $C = (r, g, b)$, где r – уровень интенсивности красной составляющей цвета, g – уровень интенсивности зеленой составляющей и b – уровень интенсивности синей составляющей. Каждый компонент вектора изменяется в некоторых пределах и имеет фиксированное число уровней.

Необходимо разработать систему классификации, которая будет относить поступивший на вход вектор C к одному из заранее определённых базовых цветов. Предполагается, что количество базовых цветов заранее известно и равно N, а также имеется выборка из палитры RGB, представительно описывающая характерные оттенки базовых цветов.

Структура системы классификации цвета. Для решения поставленной задачи предлагается система классификации, имеющая иерархическую структуру (рисунок 1).

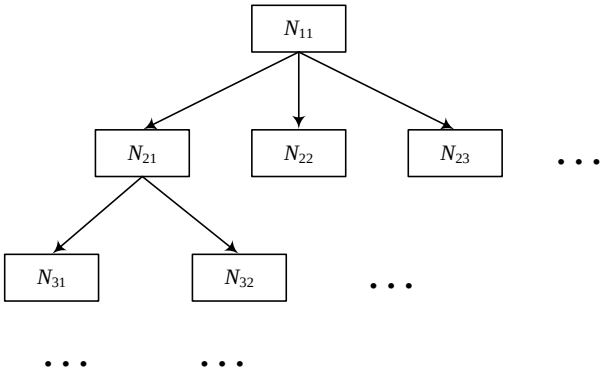


Рисунок 1 – Структура системы классификации

Блок N_{11} осуществляет предварительное отнесение входного вектора C к одной из заранее сформированных групп близких между собой базовых цветов, к которой наиболее вероятно относится распознаваемый цвет. В зависимости от решения, принятого этим блоком, запускается один из блоков N_{2i}, $i = 1, 2, \ldots$, второго уровня иерархии, который уточняет принадлежность входного вектора C внутри своей группы базовых цветов, и т.д. Таким образом, на каждом шаге классификации происходит сужение множества возможных базовых цветов, к которым относится распознаваемый цвет, и, в конечном итоге, вектору C ставится в соответствие один базовый цвет.

Учитывая трудности принятия локального решения в ситуациях, когда вектор C находится на границе нескольких базовых цветов (или групп базовых цветов), для

практической реализации блоков классификации N_{ij} целесообразно применение адаптивных алгоритмов. В этой работе все блоки локальной классификации предлагается реализовать на основе аппарата искусственных многослойных нейронных сетей прямого распространения.

Количество групп, на которые разбивается множество возможных базовых цветов на каждом шаге, подбирается эвристически с учётом особенностей расположения выбранного множества базовых цветов в палитре RGB.

Результаты экспериментальных исследований. Для практического исследования разработанной методики была использована 24-битная палитра RGB, содержащая 16 777 216 цветовых оттенков. Из этой палитры было выделено множество из 11 базовых цветов:

- красный;
- оранжевый;
- жёлтый;
- зелёный;
- голубой;
- синий;
- фиолетовый;
- коричневый;
- белый;
- серый;
- чёрный.

Для описания цветов, которые лежат на границах зон скопления представителей нескольких базовых цветов, введено понятие «неопознанный цвет».

Исследование произведено на примере сконструированной по разработанной методике системы классификации, состоящей из пяти блоков локальной классификации, настройка которых проведена при помощи обучающей выборки из 2200 примеров (по 200 примеров каждого базового цвета). Каждый из блоков представляет собой нейронную сеть с одним скрытым слоем и содержит в общей сложности около 20 нейронов.

Обучение каждого локального нейросетевого классификатора производилось отдельно в пакетном режиме посредством алгоритма Левенберга–Марквардта.

В соответствии с результатами проверки на независимой тестовой выборке, состоящей из 1100 примеров (по 100 представителей каждого базового цвета), построенная система классификации корректно распознала базовый цвет для 98,7 % примеров, что свидетельствует о высокой обобщающей способности локальных нейросетевых классификаторов и перспективности применения разработанной методики для решения задач уменьшения количества цветовых оттенков графического изображения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №12-01-31322

Литература

1. Bishop C.M. Neural Networks for Pattern Recognition. – Oxford University Press, 1995. – 484 p.

2. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2006. – 1104 с.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕЗКИ СЛИТКОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Алексахин А.В., ⁎Лапшинов Б.А.
Москва, ООО «Объединенные Беспроводные Технологии»; ⁎Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ.

Проведен анализ особенностей и ограничений методов резки слитков алмазными кругами и проволокой. Описана последовательность операций по выбору оптимального техпроцесса разделения заготовок из твердых хрупких материалов на пластины.

Development of the selection alrgorithm of optimal technical process of cutting bars of semiconductor and dielectric materials. Aleksakhin A.V., Lapshinov B.A.
The analysis of the characteristics and limitations of the cutting bars by diamond wheels and wire methods was made. The sequence of operations to select the optimal technical process of cutting pieces of hard brittle materials to plates was described.

Резка твердых хрупких материалов (ТХМ) традиционно ведется абразивным инструментом, причем абразив может быть как в связанном, так и в свободном состоянии. Появление и развитие твердотельной электроники, основанное на использовании таких материалов как германий, кремний, лейкосапфир, карбид кремния, интерметаллические соединения типов A_2B_6 и A_3B_5 и т.п., потребовало создания инструмента, обеспечивающего минимальные потери дорогостоящих разрезаемых материалов на пропил, высокое качество поверхности с незначительной глубиной структурно-дефектных слоев и обладающего большим рабочим ресурсом.

За довольно короткий период развития твердотельной электроники операция резки монокристаллов на пластины претерпела ряд существенных изменений [1]. На первых порах разделение слитков германия и кремния производилось традиционным для других отраслей промышленности способом с использованием алмазного круга с наружной режущей кромкой. Затем появились технологии резки набором полотен или проволокой с добавлением абразивной суспензии. Позднее был разработан такой уникальный инструмент как алмазный круг с внутренней режущей кромкой (АКВР), долгие годы занимавший в электронной промышленности лидирующие позиции на операции резки. Параллельно развивалась технология резки слитков на пластины бесконечной ленточной пилой, оснащенной алмазной режущей кромкой на гальванической связке. С увеличением поперечных размеров разделяемых заготовок ТХМ до 600 – 800 *мм* использование кругов АКВР стало весьма проблематичным ввиду того, что изготовление и эксплуатация кругов с габаритами, позволяющими обрабатывать такие заготовки, связаны с созданием громоздкого, неоправданно дорогостоящего оборудования. В результате с появлением новых высокопрочных материалов и прецизионного оборудования широкое распространение вновь получила технология разделения заготовок ТХМ проволокой. В настоящее время чаще всего используют три метода разделения полупроводниковых и диэлектрических слитков на пластины:

-алмазными кругами с внутренней режущей кромкой;
-проволокой, оснащенной алмазным режущим покрытием;
-проволокой с добавлением в зону резания абразивной суспензии.

При разработке техпроцесса изготовления подложек зачастую возникает проблема, связанная с выбором экономически наиболее обоснованного метода резки. Такой выбор подразумевает анализ многих параметров и источников информации. Исключение из анализа какого-либо важного критерия может явиться причиной неоправданных технологических потерь дорогостоящих материалов, повышения трудоемкости изготовления продукции, снижения выхода годных изделий.

Целью данной работы являлась разработка алгоритма выбора оптимального техпроцесса алмазно-абразивной резки полупроводниковых и диэлектрических слитков на пластины.

Блок-схема алгоритма показана на рис. 1.

Действия по выбору оптимального техпроцесса, исходя из заданных параметров, выполняются в такой последовательности.

1.Выбор кристаллографической плоскости резания.

Этот критерий выбора относится к анизотропным полупроводниковым и диэлектрическим монокристаллам. Обычно плоскость реза задается и она перпендикулярна оси роста такого монокристалла. Если же плоскость резания анизотропного монокристалла может быть выбрана произвольно, то следует руководствоваться рекомендациями, разработанными для различных типов кристаллической решетки и собранных в базу данных. Как известно, сдвиг в кристалле происходит наиболее легко вдоль атомных плоскостей с наиболее плотной упаковкой атомов. Например, в кристаллах кремния и германия такой является плоскость (111). Каждый тип кристаллической решетки характеризуется совокупностью ряда плоскостей легчайшего сдвига, одну из которых целесообразно выбрать в качестве плоскости резания. Резание в этой плоскости может осуществляться с максимальной производительностью и высоким качеством обработанной поверхности

2.Выбор кристаллографического направления резания.

Этот критерий выбора также относится к анизотропным полупроводниковым и диэлектрическим монокристаллам. Он обычно не задается, хотя многочисленные литературные источники указывают на то, что анизотропия механических свойств монокристаллических полупроводниковых и диэлектрических материалов заметно влияет на производительность и качество обработки. Например, при резке монокристаллического кремния вдоль плоскости (111) рекомендуется подачу инструмента устанавливать вдоль кристаллографического направления типа [112], при резке монокристалла антимонида индия вдоль плоскости (111) рекомендуется подачу инструмента устанавливать вдоль кристаллографического направления типа [110], при резке монокристаллического кремния вдоль плоскости (100) рекомендуется подачу инструмента устанавливать вдоль кристаллографического направления типа [100]. Аналогичные рекомендации существуют и для резки других монокристаллических материалов с алмазоподобной решеткой, решеткой типа сфалерита, решеткой типа вюрцита (гексагональной) и т.д. Вводя наименование материала и обозначение кристаллографической плоскости, вдоль которой должно осуществляться разделение монокристалла, из имеющейся базы данных выбирается рекомендуемое кристаллографической направление подачи инструмента на монокристалл.

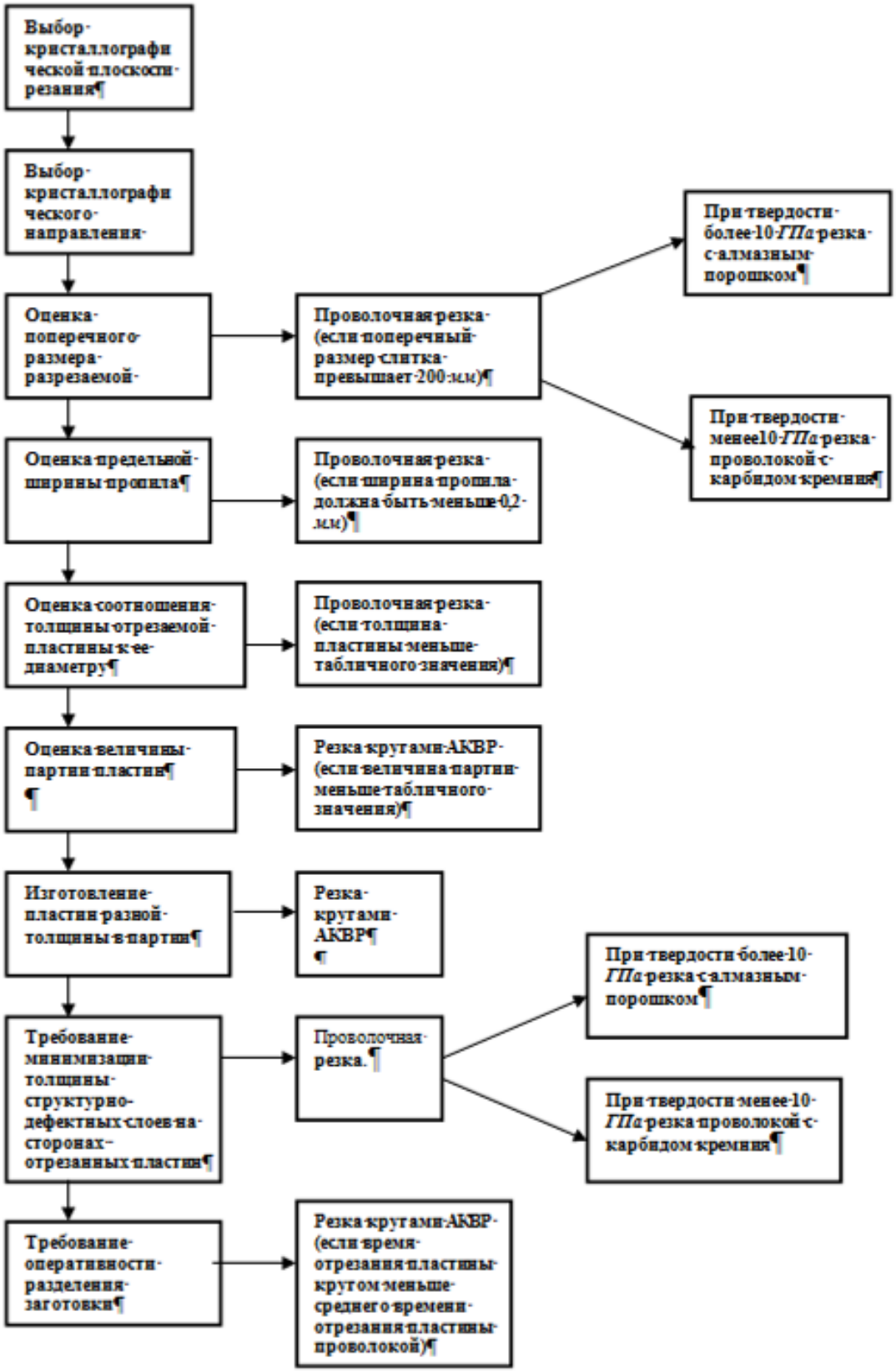


Рис.1. Блок-схема алгоритма выбора техпроцесса резки слитка.

3.Оценка поперечного размера разрезаемой заготовки.

Оценивается наибольший поперечный размер разрезаемой заготовки и сравнивается с максимальным размером, который может быть разрезан с помощью кругов АКВР. С середины 80-х годов прошлого столетия и до настоящего времени наибольшим является круг типа АКВР 860х305, у которого внешний диаметр равен 860 *мм*, а внутренний – 305 *мм*. Этот круг предназначен для резки заготовок максимального поперечного размера 200 *мм* (имеется информация о серийном производстве фирмой «Asahi diamond Industrial Co Ltd.», Япония, кругов типа АКВР 1180х410, предназначенных для резки слитков диаметром 250 *мм*, однако на отечественных предприятиях в настоящее время нет оборудования для их эксплуатации). Таким образом, заготовки, поперечный размер которых превышает 200 *мм*, могут быть разделены только с помощью проволочной резки. При появлении возможности разделения кругами АКВР слитков большего поперечного размера значение параметра проверки должно быть скорректировано.

4.Оценка предельной ширины пропила.

Сравнивается максимально допустимая ширина пропила с минимальной шириной, которая может быть обеспечена с помощью кругов АКВР. В настоящее время минимальная толщина режущей кромки круга АКВР, из всего перечня серийно выпускаемого инструмента, составляет 0,2 *мм*. Это ограничение объясняется прочностными характеристиками материала основы круга и требованиями приемлемой износостойкости режущей кромки последнего. Таким образом, если ширина пропила должны быть менее 0,2 *мм*, она может быть обеспечена только с помощью проволочной резки. При появлении кругов АКВР с меньшей толщиной режущей кромки значение параметра проверки должно быть скорректировано.

5.Оценка минимальной толщины отрезаемой пластины.

При разделении заготовок кругами АКВР вследствие весьма высоких скоростей обработки, расклинивающего действия смазочно-охлаждающей жидкости, находящейся между основой инструмента и отрезаемой пластиной, значительных термических градиентов в зоне резания весьма затруднительно получить относительно тонкую пластину, т.е. пластину с большим отношением ее диаметра к толщине. Ввиду значительной хрупкости обрабатываемых материалов под воздействием вышеперечисленных факторов повышается вероятность разрушения или скола пластин по мере уменьшения их толщины. В технической литературе описаны ограничения по толщине пластин различного диаметра из различных материалов, которые могут быть воспроизводимо отрезаны кругами АКВР.

Следует проверить требуемую толщину отрезанной пластины на ограничения, налагаемые технологическими особенностями процесса резки кругами АКВР, по имеющейся базе данных по следующему маршруту: наименование материала → кристаллографическая ориентация плоскости резания → кристаллографическое направление рабочей подачи → диаметр заготовки. Если выбранное из базы данных значение толщины пластины не превышает требуемую, то может быть использована резка кругами АКВР.

6.Оценка величины партии пластин.

Если требования, предъявляемые к максимальному поперечному размеру заготовки, максимально допустимой ширине пропила и минимальной толщине отрезаемой пластины, удовлетворяются, то при отрезании небольшого количества пластин целесообразно использовать резку кругами АКВР. Такая рекомендация объясняется тем, что при проволочной резке для каждой конкретной толщины отрезаемых пластин должна быть изготовлена пара дорогостоящих прецизионных направляющих барабанов с кольцевыми канавками [2]. Кроме того, продолжительность

подготовки к осуществлению операции резки на многопроволочном станке достигает нескольких часов, что может быть неприемлемо с точки зрения экономических аспектов рационального использования дорогостоящего оборудования.

7. Изготовление пластин разной толщины в партии.

Если требуется разрезать заготовку на пластины разной толщины, причем общее количество пластин относительно невелико (от нескольких десятков до нескольких тысяч), обработку целесообразно осуществлять кругами АКВР при условии, что требования, предъявляемые к максимальному поперечному размеру заготовки, максимально допустимой ширине пропила и минимальной толщине отрезаемой пластины, удовлетворяются. Такая рекомендация объясняется тем, что в этом случае должна быть изготовлена пара дорогостоящих прецизионных направляющих барабанов с индивидуально расположенными кольцевыми канавками. В то же время, оборудование резки кругами АКВР обеспечивает несложную регулировку шагового перемещения разрезаемой заготовки относительно плоскости вращения инструмента в широких пределах с дискретностью порядка 1 *мкм*.

8. Требование минимизации толщины структурно-дефектных слоев на сторонах отрезанных пластин.

Как известно глубина нарушений приповерхностных слоев после абразивной обработки, разновидностью которой является операция резки, зависит от целого ряда факторов. Наиболее существенными из них являются: размер абразивных зерен, твердость материала абразива, режимные параметры резания (линейная скорость перемещения режущего покрытия, величина рабочей подачи, температура в зоне обработки).

Исследования показали, что толщина трещиноватого слоя, образующегося в процессе обработки ТХМ свободным абразивом связана с размером абразивного зерна зависимостью

$$h = 1.5 \cdot k \cdot c \,. \qquad (1)$$

где h - толщина трещиноватого слоя;

k - эмпирический коэффициент, зависящий от режимных параметров технологического процесса резки;

c - размер зерна основной фракции абразива.

В процессе проволочной резки с добавлением абразивной суспензии в качестве абразивного порошка чаще всего используется карбид кремния (*SiC*) с размером зерен 10 – 12 *мкм*. Микротвердость карбида кремния обычно изменяется в пределах 32 – 35 *ГПа*. И если для обеспечения приемлемой скорости резки таких материалов как монокристаллический кремний (микротвердость которого в зависимости от кристаллографической ориентации и степени легирования составляет 8,2-9,6 *ГПа*), арсенид галлия (5,9-6,8 *ГПа*), германий (6,2-6,9 *ГПа*), антимонид индия (2,0-2,2 *ГПа*) и т.п. микротвердости карбида кремния достаточно, то скорость обработки сопоставимых с ним по микротвердости сапфира (22 - 24 *ГПа*), гадолиний-галлиевого граната (16 – 18 *ГПа*) и т.п. недостаточна для производственных целей. Поэтому для резки материалов с микротвердостью более 10 *ГПа* целесообразно использовать в качестве абразива природный или синтетический алмазный порошок.

Однако микротвердость абразивного порошка влияет не только на производительность резки, но и на глубину распространения структурно-дефектных слоев под обрабатываемой поверхностью. Совершенно очевидно, что микротвердость и прочность твердых хрупких материалов корреляционно связаны, т.е. при повышении твердости вдавливаемого в хрупкий материал индентора при сохранении величины нагружения, глубина проникновения трещин в обрабатываемый материал возрастает.

Поэтому с целью снижения глубины нарушенного слоя целесообразно по возможности использовать абразивы с минимальной микротвердостью.

Кроме того, следует учитывать, что в процессе проволочной резки образуется нарушенный слой существенно меньший, чем при резке кругами АКВР [3].

9. Критерий оперативности разделения заготовки

Следует сравнить время отрезания одной пластины кругами АКВР и проволокой с учетом вышеприведенных критериев. Например, средняя продолжительность отрезания одной пластины кремния диаметром 150 *мм* на станке проволочной резки модели DS 265 фирмы «Mayer Burger Swiss Slicing Systems» составляет около 60 *с*. Средняя продолжительность отрезания одной пластины кремния диаметром 150 мм кругом АКВР на станке модели «Алмаз-12» Луганского завода электронного машиностроения составляет около 300 *с* и не зависит от толщины. Выбор в пользу проволочной резки при сравнении рассматриваемых двух вариантов с точки зрения оперативности (производительности) очевиден. Однако по мере увеличения толщины отрезаемых пластин преимущество проволочной резки уменьшается и сходит на нет при отрезании пластин толщиной примерно 1,8 *мм*. При дальнейшем увеличении толщины отрезаемых пластин преимущество по оперативности переходит уже к методу резки кругами АКВР.

Таким образом, рассчитав продолжительность P отрезания одной пластины проволочной резкой по формуле:

$$P = \frac{S}{N}, \qquad (2)$$

где S - продолжительность разрезания слитка;

N –количество одновременно отрезаемых пластин, причем

$$N = \frac{L}{t_1 + t_2}, \qquad (3)$$

где L - длина слитка;

t_1 - толщина отрезаемой пластины;

t_2 – ширина пропила.

Сравнив полученный результат с продолжительностью отрезания одной пластины кругом АКВР производится выбор более оперативного метода резки.

В соответствии с разработанным алгоритмом были созданы необходимые базы данных и разработано программное обеспечение на языке C# с использованием среды разработки MS Visual Studio 2010.

Литература

1. Запорожский, В.П. Обработка полупроводниковых материалов / В.П. Запорожский, Б.А. Лапшинов. - М.: Высш. шк., 1988.– 184 с.

2. At the cutting edge of precision silicon technology. Manual (Wire Saw DS 265). – «Mayer Burger Swiss Slicing Systems» (CH-3613, Steffisburg / Switzerland), 2006, P. 87 – 122.

3. Аникин, А.В. Исследование нарушений в пластинах кремния при их механической обработке / А.В. Аникин // Микроэлектроника и информатика – 2005: Труды 12-ой всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов - Москва, 2005. – С. 53.

ИСПЫТАНИЯ БОРТОВОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ВИБРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Абрамешин А.Е., Аминев Д.А., Лисицын И.Ю., Увайсов С.У.
МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассмотрены составные части бортовых навигационных систем. Определены основные типы факторов, вызывающих их отказы. Предложена схема стенда для исследования аппаратуры на виброклиматические воздействия и представлены результаты испытаний. Выявлены вероятные причины отказов и приведены рекомендации по их устранению.

Test of the aviation satellite navigation system on vibro-climate impacts. Abrameshin A.E., Aminev D.A., Uvaysov S.U., Lisitsyn I.YU.

Components on-board navigation systems is studied. The main types of factors that cause their rejects is defined. A stand scheme for the study of the equipment on vibro-climatic impacts is proposed and results of the tests is given. The probable causes of rejects is detected and recommendations to address them is presented.

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.

В авиации спутниковые навигационные системы (GPS, ГЛОНАСС, Бэйдоу и др.) получили широкое распространение ввиду необходимости транспортным средствам четко следовать по заданным воздушным коридорам [1]. По данным государственного центра "Безопасность полетов на воздушном транспорте" [2] порядка 2% отказов бортовой радиоэлектронной техники, составляют отказы связанные с навигационной системой.

Одними из основных видов воздействий [3], приводящие к отказам, являются вибрационные и климатические (при комплексном действии виброклиматические), так как надежность и стабильность работы бортовой навигационной аппаратуры значительно ухудшается при механических воздействиях (вибрациях, ударах, линейных перегрузках) и при повышенных температуре и влажности. Источниками этих воздействий могут быть двигатели, в том числе и реактивные, дорожная тряска, быстро вращающиеся разбалансированные массы и т.п.

Механические воздействия на радиоэлектронную аппаратуру приводят к [4]:

– изменению активного сопротивления в полупроводниках, нарушению электрических контактов;
– наводкам и изменению параметров электрических, магнитных и электромагнитных полей;
– деформации электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и другим отрицательным явлениям.

В некоторых случаях такие воздействия приводят к помехам в каналах передачи информации, так как параметры ЭРЭ и узлов могут претерпеть обратимые и необратимые изменения, к снижению точности работы аппаратуры, к механическим разрушениям элементов конструкций. Сложность задачи защиты радиоэлектронной аппаратуры от механических воздействий обусловлена тем, что, несмотря на непрерывное повышение надежности элементной базы, интенсивность механических воздействий возрастает быстрыми темпами из-за увеличения скоростей подвижных

объектов. Также сказывается то, что узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры представляют собой сложные механические конструкции, в которых могут возникать различные резонансные колебания, усиливающие механические нагрузки в несколько раз.

Для обеспечения необходимой защиты от механических нагрузок необходимо априорное сопоставление допустимых параметров механических воздействий на ЭРЭ с требованиями для конкретного типа бортовой аппаратуры [5]. В данной статье рассматриваются требования к аппаратуре пассажирских и транспортных самолетов и вертолетов. Если применяемые ЭРЭ удовлетворяют этим требованиям, дальнейшие усилия необходимо направить на устранение резонансных колебаний и обеспечение прочности элементов конструкций.

Навигационная система является наиболее уязвимым узлом бортовой радиоэлектронной аппаратуры и представляет собой взаимосвязь сложных вычислительных модулей. В общем представлении бортовая навигационная система содержит антенну, приемное устройство, вычислитель и систему питания (рис. 1).

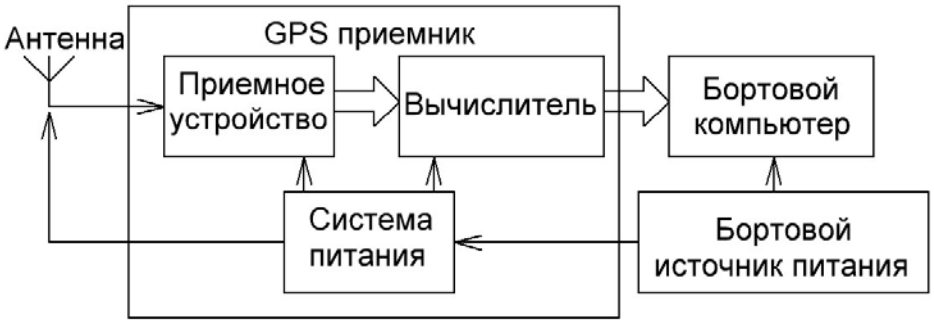


Рис. 1. Структурная схема бортовой навигационной системы

Антенна приемника вынесена за пределы приемного вычислительного блока, она представляет из себя микрополосковую активную антенну, для приема сигнала в заданном частотном диапазоне (1575,42±0,050 МГц) и мощностью порядка десятков микроватт.

Приемное устройство осуществляет необходимую корреляционную обработку входного сигнала, разделяет навигационную и служебную информацию необходимую для работы устройства, и передает полученные данные в вычислитель.

Вычислитель по полученным данным решает навигационную задачу определения пространственного местоположения, скорости, направления движения, и выдает готовые координаты, вектор направления и скорости в бортовой компьютер навигационных данных в цифровом виде.

Система питания преобразует напряжение бортового источника в ряд напряжений для антенны, приемного устройства и вычислителя. Такое преобразование осуществляется с использованием конверторов типа DC/DC, к которым предъявляются высокие требования в части гальванической развязки.

Бортовой компьютер, осуществляет контроль и отображение состояния летательного аппарата на индикации, а бортовой источник питания представляет собой аккумулятор, заряжающийся от бортовых генераторов.

Отказ навигационной системы в целом может произойти из-за отказа любого из её модулей, поэтому при проведении испытаний, необходимо регистрировать состояние параметров каждого модуля [6, 7]. Для проведения таких испытаний был разработан специальный стенд (рис. 2).

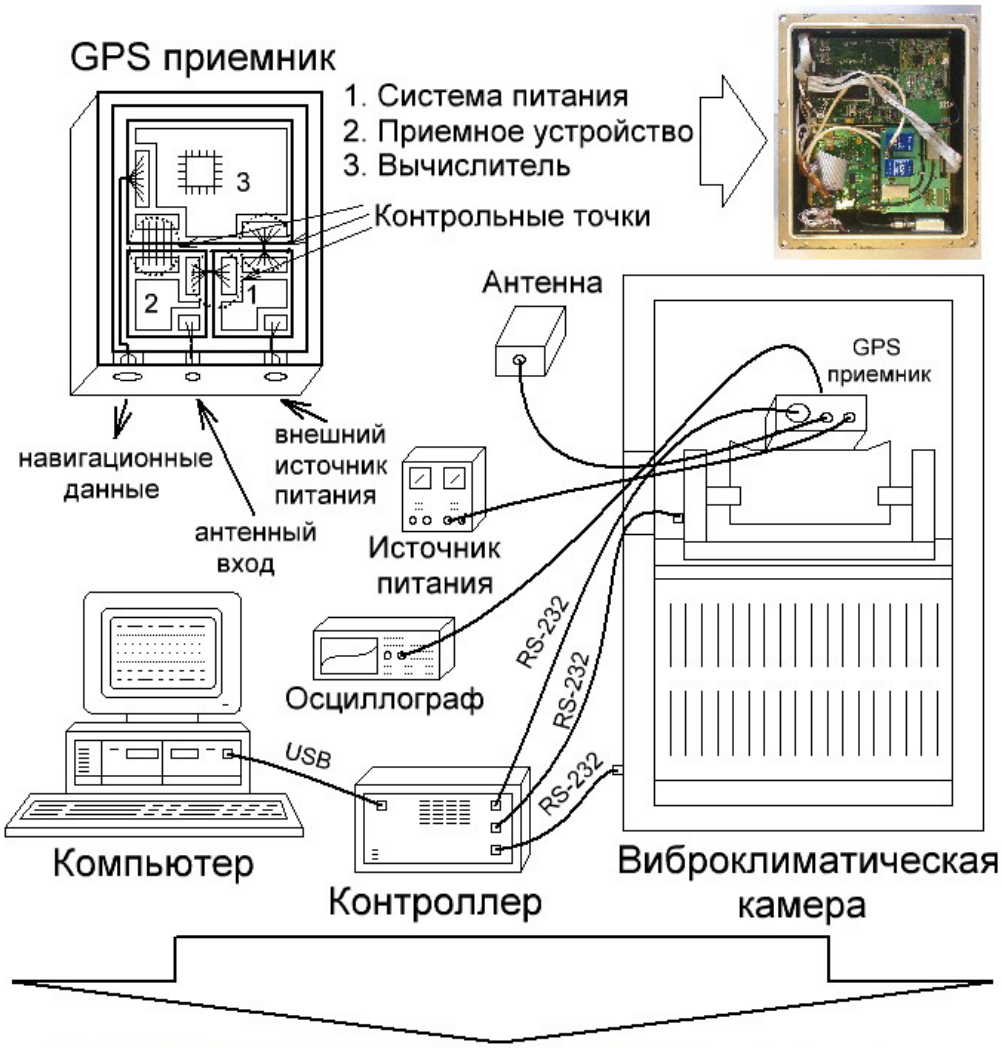




Рис. 2. Испытательный стенд виброклиматических испытаний

Испытательный стенд включает в себя климатическую камеру с установленным в нее вибростендом, персональный компьютер, контроллер, осциллограф и источник питания.

Виброклиматическая камера (Typhoon 1.5 компании Qualmark Corporation) может формировать тепловые воздействия с температурами от –100ºС до +200ºС, задавать влажность воздуха до 98% и создавать гармонические вибрации с частотами от 5 до 5000 Гц и амплитудами ускорения до 50g. Следует заметить, что антенна не устанавливается в камеру из-за создаваемых ею помех для GPS сигнала.

Управление климатической камерой, вибростендом проводится с помощью персонального компьютера с установленным на него специальным программным обеспечением.

Контроллер обеспечивает сбор данных от вычислителя GPS приемника и управление вибрационным стендом и климатической камерой по интерфейсам RS-232. Сопряжение контроллера с компьютером реализовано с использованием интерфейса USB 2.0 [6].

Осциллограф TDS-2022 компании Tektronix предназначен для мониторинга контрольных точек приемного устройства и системы питания. С целью идентификации отказавшего модуля контрольными точками выбраны выходы приемного устройства и системы питания [8].

В качестве бортового используется источник питания АНТ-1063 компании «Актаком» с выходным напряжением 27В, что соответствует номинальному напряжению сети летательных аппаратов [9].

Результаты испытаний навигационной системы на комплексные виброклиматические воздействия приводятся в таблице 1. При этом во всех случаях влажность воздуха составляла 80%, что соответствует повышенной влажности при эксплуатации, а длительность каждого воздействия составляла 30 минут.

Таблица 1. Результаты испытаний на виброклиматические воздействия

Климатические воздействия	Вибрационные воздействия		Наличие отказа		
Температура, ºС	Диапазон частот, Гц	Амплитуда ускорения, g	Система питания (отсутствие питания на выходе)	Приемное устройство (отсутствие сигнала на выходе)	Вычислитель (отсутствие служебной информации)
+50	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	–	–	–
+60	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	–	–	–
+70	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	+	+	+
+80	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	–	–	+
–40	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	–	–	–
–50	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	–	–	–

–60	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	+	+	+
–70	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	–	–	–
–80	12-25	2-5	–	–	–
	25-50	5-10	–	–	–

Из таблицы видно, что отказы системы питания происходят при значениях вибрации в диапазоне частот 12-50 Гц и амплитуде ускорения 5-10g и на температуре +70ºС и –60ºС.

Здесь отказ вычислителя навигационной системы произошел при температуре +80ºС в диапазоне частот вибраций 12-50 Гц и амплитуде ускорения 5-10 g. Отказ в данных условиях связан в первую очередь с высокой воздействующей температурой и представлял собой кратковременный сбой в выдаче навигационных данных в цифровом виде (пропуск кадров), что обычно случается при большой загрузке вычислительного процессора.

Обратимый кратковременный отказ системы питания на время 15 мс, привел к потере навигационных данных и перезагрузке вычислителя (30 секунд). Такой сбой является недопустимым в условиях полета и может привести к катастрофическим последствиям.

Таким образом, проведенные на разработанном стенде испытания бортовой спутниковой навигационной системы на виброклиматические воздействия позволили локализовать отказы и определить их вероятные причины. Критичным является отказ системы питания [10].

Так как зафиксированные отказы имеют обратимый кратковременный характер, то одним из методов защиты представляется увеличение емкости конденсаторов в системе питания [11].

Однако проведенные испытания не позволяют выявить четкую закономерность отказов навигационной системы, поэтому в перспективе планируется проведение дополнительных исследований.

Литература

1. http://www.un.org/ru/ecosoc/icao – международная организация гражданской авиации

2. www.flysafety.ru/files/razdel2.pdf – Анализ влияния отказов отечественной авиационной техники на безопасность полетов, Государственный центр "Безопасность полетов на воздушном транспорте"

3. Увайсов С.У., Абрамешин А.Е., Лышов С.М., Дубоделова Д.А. Обеспечение эксплуатационной надежности космической аппаратуры неразрушающими методами виброударной диагностики // В кн.: Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. / Под общ. ред.: Н.К. Юрков. . Т. 2. Пенза: Пензенский государственный университет, 2012. С. 454-456.

4. Талицкий Е.Н. Защита электронных средств от механических воздействий, Владимир 2001 г. – 253 с.

5. ГОСТ 23718-93. Самолеты и вертолеты пассажирские и транспортные. Допустимые уровни вибрации в салонах и кабинах экипажа и методы измерения вибрации.

6. Аминев Д.А., Увайсов С.У. Алгоритм распределения пропускной способности систем регистрации сигналов от множества датчиков.// Датчики и системы. - Москва. -2012. - Выпуск 5. - С. 26–29.

7. Аминев Д.А., Увайсов С.У. Оптимизация RAID массива для достижения максимальной производительности систем регистрации данных // Качество. Инновации. Образование. - Москва. -2012 № 12. - С. 93–96.

8. Увайсов С.У., Сотникова С.Ю., Абрамешин А.Е. Идентификация параметров бортовых источников вторичного электропитания на основе комплексирования моделей // В кн.: Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. / Под общ. ред.: Н.К. Юрков. . Т. 2. Пенза: Пензенский государственный университет, 2012. С. 465-466.

9. ГОСТ 19705-89. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии.

10. Увайсов С.У., Кофанов Ю.Н., Сотникова С.Ю. Программный комплекс моделирования физических процессов при автоматизированном проектировании источников вторичного электропитания для сложных бортовых систем // Динамика сложных систем. 2012. № 3. С. 80-84.

11. Увайсов С.У., Иванов И.А., Абрамешин А.Е. Контролепригодное проектирование источников вторичного электропитания с релейным регулированием // В кн.: Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. / Под общ. ред.: Н.К. Юрков. . Т. 2. Пенза: Пензенский государственный университет, 2012. С. 457-459.

ПРОГРАММНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УЗЛА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СЕТИ

Азизов Р.Ф., Аминев Д.А., Увайсов С.У.
МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассмотрены составные части децентрализованной сети и варианты реализации её узлов. Описаны основные принципы проектирования узлов. Предложен подход к распределению вычислительной нагрузки узла сети. Представлена схема взаимодействия элементов узла. Отражены её основные преимущества.

Innovation approach to software integration for elements of nodes of a decentralized network. Azizov R.F., Aminev D.A., Uvaysov S.U.

Considered components of a decentralized network and options for the implementation of its components. Considered the basic principles for the design of nodes. An approach to the distribution of computing load node. A scheme of interaction between node elements. Reflected its main advantages.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Радиоинтерфейсы являются неотъемлемой частью современных мобильных устройств. В большинстве случаев, мобильные устройства работают с широко распространёнными сетями, типа Wi-Fi или Bluetooth. Однако для реализации информационного обмена между заранее неизвестным количеством абонентов, каждый из которых может перемещаться в любых направлениях, гибкости традиционных сетей не хватает [1].

Для решения этой задачи целесообразно использование децентрализованных сетей, в которых каждый узел выполняет роль маршрутизатора и может создавать соединения в режиме реального времени, причем наличие какого-либо координатора сети не требуется.

Топология децентрализованной сети представлена на рис. 1.

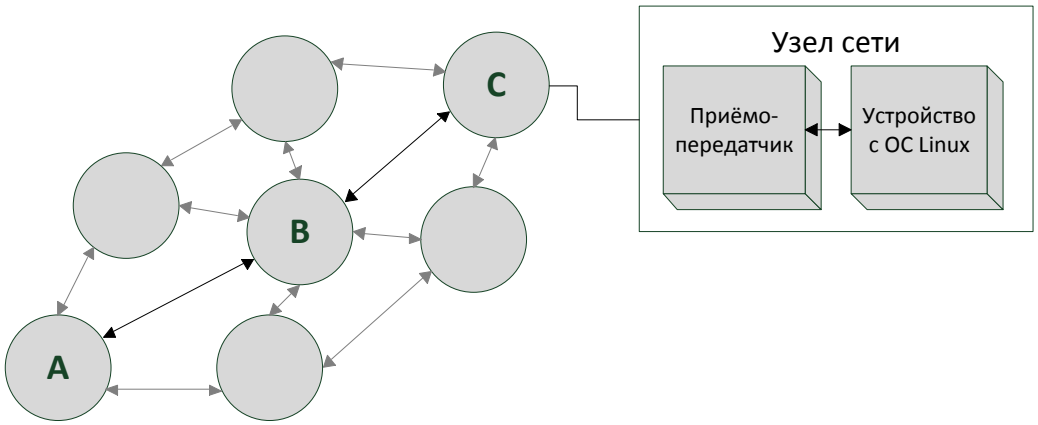


Рис.1. Топология децентрализованной сети.

Здесь линией изображен маршрут информационного обмена [2] узлов A и C. Узел B по отношению к обмену выступает в роли ретранслятора, но при этом он является обычным узлом-абонентом.

Как правило, алгоритмы для работы радиосетей реализуются в микроконтроллере приёмо-передатчика [3, 4, 5], который производит обмен информационными пакетами с ведущим устройством по одному из проводных интерфейсов [6]. Реализация алгоритмов такого рода в условиях сильно ограниченных ресурсов микроконтроллера является достаточно трудоёмкой задачей, а малая производительность микроконтроллера может оказать негативное влияние на пропускную способность сети.

Развитие мобильных устройств заключалось, в том числе, в уменьшении энергопотребления и увеличении производительности [7]. Поэтому стало целесообразным разрабатывать сложные алгоритмы маршрутизации для вычислителя с операционной системой, предоставляющим большую производительность и широкий набор инструментов разработки. При этом в контроллере приёмо-передатчика необходимо реализовать только основные алгоритмы для работы с радиоэфиром.

Предполагается, что реализация программной прослойки – драйвера приёмо-передатчика, позволит разработчику работать с привычными сетевыми интерфейсами [8], не вникая в тонкости работы радиосети. Использование стандартного сетевого стека делает возможным применение обширного круга существующих сетевых программ и инструментов, и, следовательно, значительно снижает нагрузку на разработчика.

Предлагается вариант использования вычислителя, работающего под управлением ОС Linux. На рис. 2 изображена структура обмена между прикладной программой для ОС Linux и приёмо-передатчиком.

Прикладная программа представляет собой типичное сетевое Linux приложение, взаимодействующее с сетью посредством сетевых интерфейсов.

Ядро Linux формирует сетевые IP пакеты и решает задачи маршрутизации.

Драйвер осуществляет подготовку пакетов для передачи по радиоэфиру и обеспечивает связь с приёмо-передатчиком.

Разделение программного обеспечения на подсистемы позволяет быстро менять отдельные программные модули. Например, при смене типа приёмо-передачтика изменению подвергнется лишь драйвер, отвечающий за взаимодействие с ним.

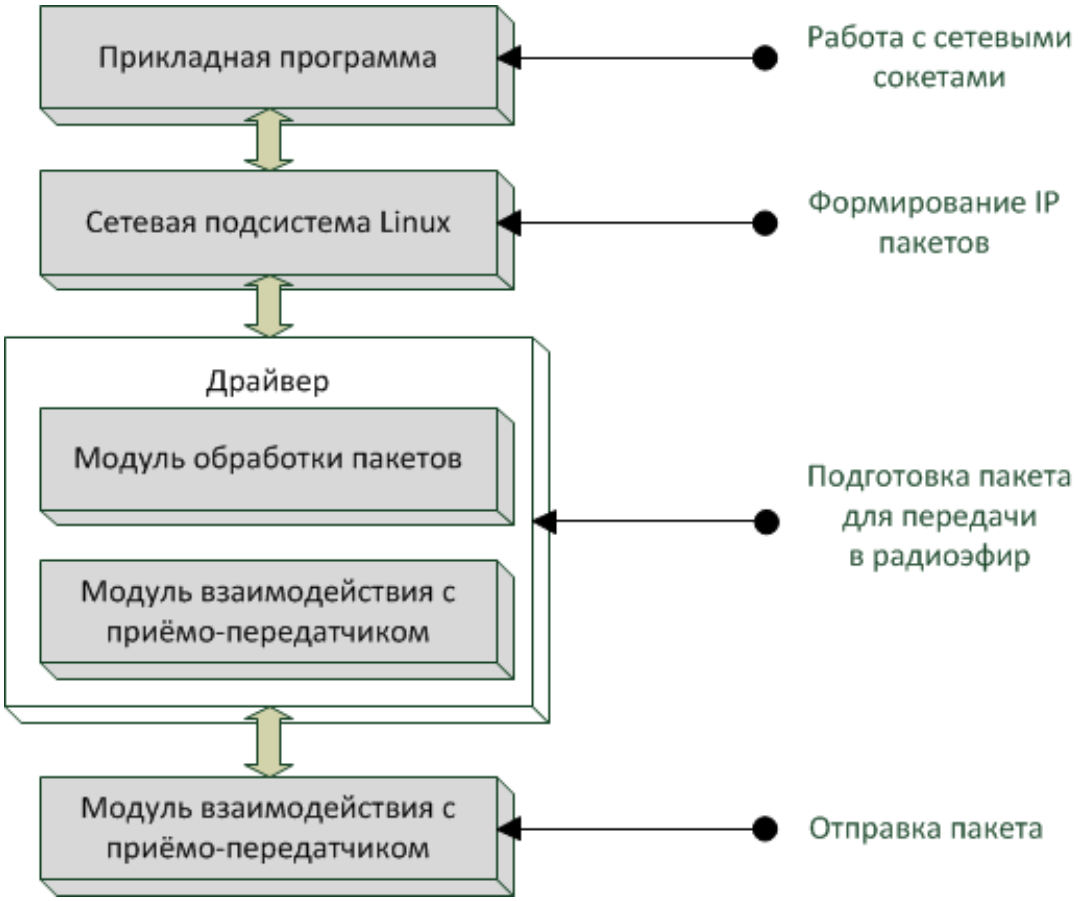


Рис 2. Схема обмена прикладной программы и приёмо-передатчика

Таким образом, перенос единой программы из микроконтроллера приёмо-передатчика в более производительный вычислитель [9], работающий под управлением кросс-платформенной ОС Linux и разделение её на отдельные подсистемы, значительно сокращает трудозатраты на разработку, позволяет использовать более сложные алгоритмы и облегчает отладку работающих программ. Кроме того, за счёт использования эффективных и проверенных временем сетевых подсистем ядра Linux, увеличивается общая надёжность системы. Использование кросс-платформенных средств разработки позволит без труда использовать программное обеспечение на большом ряде устройств, работающих на различных архитектурах.

Литература

1. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е издание - СПб.: Питер 2012. - 960 с

2. Аминев Д.А., Козырев А.А. К вопросу об оценки стоимости организации канала связи для передачи информации.// Труды НИИР. - Москва. -2012. - С. 3–7.

3. Wiley J. 6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet.// Sons Ltd. - 2009

4. XBee®/XBee-PRO® ZB SMT RF Modules Product Manual.// Digi International Inc. - 2010. 155 pp.

5. JN5148-001-Myy Data Sheet // NXP Laboratories. - UK. - 2010. 23 pp.

6. Аминев Д.А., Увайсов С.У. Анализ протоколов для передачи высокоскоростных потоков данных в межмодульных сетевых соединениях. // VI международная научно-практическая конференция «информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве». Сборник трудов, часть 2- 478с, - Протвино. -2-6 июля 2012. - С. 198–201.

7. Аминев Д.А., Увайсов С.У., Кондрашов А.В. Анализ технических достижений в решении проблемы регистрации информационных потоков.// Труды международной конференции «Проблемы охраны и защиты интеллектуальной собственности в различных отраслях промышленности, науки, образования и медицины в условиях вступления России в ВТО». - Тольятти. -2012.

8. Аминев Д.А. Предложения по гармонизации российских стандартов передачи высокоскоростных информационных потоков. // Всероссийская молодежная НТК «Прикладные научно-технические проблемы современной теории управления системами и процессами». - Москва - 2012. - С. 24 – 25.

9. Салибекян С.М., Аминев Д.А. Результаты моделирования объектно-атрибутной вычислительной системы.// Международная научно-практическая конференция «ИНФО-2012». - Сочи. - 2012. - С. 262–264.

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛАХ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Артюхова М.А., Полесский С.Н.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Вопрос улучшения надежности электронных средств, чувствительных к радиации, касается многих областей, в которых они применяются: космические системы, атомная промышленность, медицина. В работе рассматривается возможность проведения размещения элементов на функциональных узлах по критерию величины накопленной дозы.

Influence of elements placement on functional units for radiation hardness, Artyukhova M.A., Polesskiy S.N.

Issue of improving the reliability of electronic tools that are sensitive to radiation, affects many areas in which they are used: space systems, nuclear industry, and medicine. We consider the possibility of placing items on the functional units by the amount of accumulated dose.

Как показывает статистика, приблизительно 50% всех отказов бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов (БРЭА КА) происходит из-за воздействия ИИ КП. Причинами нарушения работоспособности БА являются два основных явления: деградация параметров ЭРИ вследствие накопления дозы радиации (частицы низких энергий - до 1 МэВ) и одиночные события радиационных эффектов, как результат воздействия тяжелых заряженных частиц и протонов (частицы относительно высоких энергий – свыше 1 МэВ).

Увеличение технических возможностей БРЭА достигается за счет применения все более сложной электронной компонентной базы (ЭКБ), преимущественно зарубежного производства. Если в прошлые годы (1970-1990 гг.) считалось, что увеличение степени интеграции больших интегральных схем (уменьшение проектной

нормы с 10 до 1 мкм) ведет к повышению качества БРЭА за счет уменьшения количества паяно-сварных соединений, то в настоящее время ситуация более сложная:

- увеличение степени интеграции компенсируется увеличением сложности БРЭА;
- появление ЭКБ с субмикронной проектной нормой – 0,1 мкм привело к снижению надежности БРЭА КА за счет снижения сбоеустойчивости;
- критерии оптимального выбора электрорадиоизделия (ЭРИ) иностранного производства – технические характеристики, радиационная стойкость, цена – не выбраны.

В настоящее время применяются следующие способы защиты БРЭА от воздействия ИИ КП: схемотехнический (схемы защиты от последствий возникновения одиночных эффектов), алгоритмический (для устранения последствий одиночных сбоев), избыточное кодирование, резервирование и экранирование (полное и локальное).

В России и за рубежом в последние 30 лет были разработаны ряд программных средств (ПС) для анализа радиационных условий. В таблице 1 перечислены основные из ПС и приведен сравнительный анализ характеристик, относящихся к оценке уровня накопленной дозы в БРЭА.

Таблица 1. Сравнительный анализ возможностей ПС, применяемых для оценки уровня накопленной дозы

Наименование ПС и страна изготовитель	Расчет энергетических спектров частиц на заданной орбите	Учет в расчетах конструкции БРЭА	Расчет накопленной дозы в точке	Учет эффекта взаимного экранирования элементов	Построение радиационных полей
CREME96, США	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
OMERE, Франция	Да	Нет	Да	Нет	Нет
COSRAD, Россия	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
FASTRAD, Франция	Да	Да	Да	Нет	Да
SPENVIS, США	Да	Нет	Да	Нет	Нет
RDOSE, Россия	Да	Да	Да	Нет	Да
PRIVET, Россия	Да	Нет	Да	Нет	Нет

Из таблицы 1 видно, что необходимые разработчику БРЭА КА данные могут предоставить два программных средства FASTRAD и RDOSE. ПС RDOSE не продается. ПС FASTRAD содержит еще много дополнительных моделей, позволяющих проводить имитационное моделирование различных радиационных эффектов, что значительно увеличивает его стоимость. Эти модули применимы в сертификационных центрах, но не требующихся непосредственным проектировщикам. Инженера-

разработчика в первую очередь интересуют ограничения, налагаемые на БРАЭ воздействием радиации.

Радиационная стойкость функционального узла (ФУ) определяется соотношением показателей минимальной предельной накопленной дозы (ПНД) ЭРИ к уровню набранной им дозы за срок активного существования (САС). Соответственно для более точной оценки стойкости (ФУ) предлагается использовать метод построения радиационных полей, основанный на применении лучевого метода, учитывающий эффект взаимного экранирования элементов.

Проиллюстрируем влияние эффекта взаимного экранирования элементами. На рис. 1 приведена 3D модель печатного узла (ПУ) с двухсторонним монтажом. ПУ помещен в корпус, обеспечивающий величину массовой защиты с каждой из шести сторон равную 1 г/см^2.

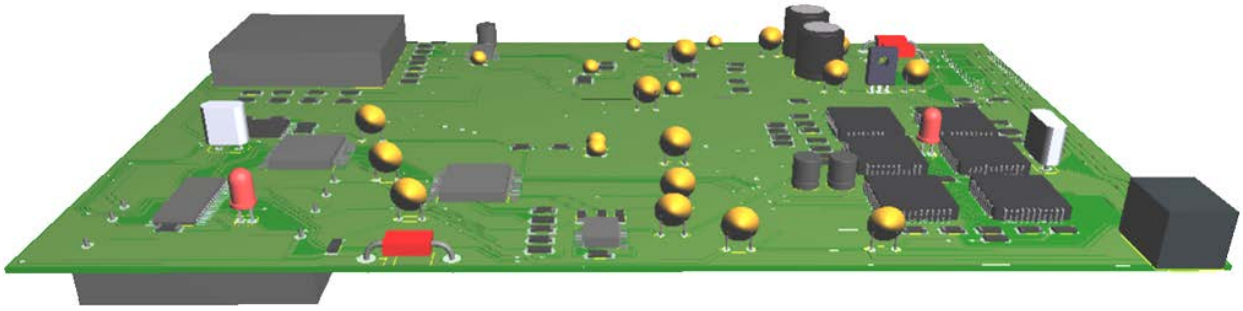


Рис. 1. 3D модель печатного узла

Возьмем за отправную точку сторону ПУ, показанную на рис. 1 и построим поле распределения уровней накопленной дозы для оборотной стороны (графическое представление поля на рис. 2). Использована цветовая индикация сравнительно благоприятных и критичных областей. Как видно, область окрашенная зеленым цветом и соответствующая минимальной накопленной дозе, соответствует положению DC-DC преобразователя на плате, что подтверждает выдвинутую идею об эффекте взаимного экранирования.

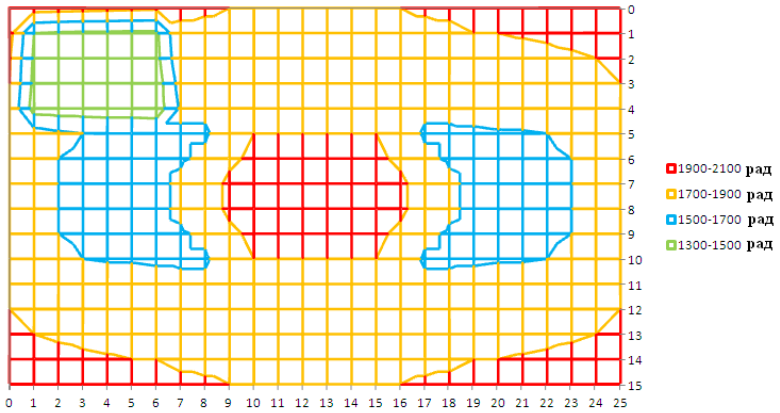


Рис. 2. Графическое представление поля распределения накопленной дозы

Сопоставляя физическое поле распределения накопленной дозы и схему размещения элементов на печатном узле, разработчик имеет необходимые данные для:

1. Для расчета ожидаемой стойкости каждого элемента с учетом его положения.
2. Оптимизации конструкции ФУ в процессе проектирования.
3. Оптимизация размещения элементов на плате, с целью увеличения минимального значения коэффициента запаса.
4. Рациональное применение различных способов защиты или их комбинаций для обеспечения заданых требований по радиационной стойкости.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Багмутов В. П., Паршев С. Н.,. Рыгин А. В
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Исследована проблема рационального применения электромеханической обработки (ЭМО) поверхностей деталей машин. Показаны пути обеспечения механических и эксплуатационных свойств деталей применительно к конкретным условиям эксплуатации. Предложена концепция развития технологических процессов и расчета конструктивно-технологических параметров ЭМО.

Systematization of technological processes electromechanical treatment of details.
Bagmutov V. P., Parshev S. N., Rygin A. V.

The problem of rational application of electromechanical treatment (EMT) of surfaces of details of machines is investigated. Ways of maintenance of mechanical and service properties of a product to particular service conditions are shown. Scientifically proved concept of development of master schedules and calculation of design-technological parameters EMT is offered.

Одной из важнейших задач обеспечения конкурентоспособности продукции является повышение надежности и долговечности изделий. Результаты многочисленных исследований показывают, что на эксплуатационные свойства материалов и деталей существенное влияние оказывает качество поверхностного слоя материала.

Одним из перспективных направлений в технологии поверхностного упрочнения является разработка методов высокоскоростного температурно-силового воздействия с использованием различных видов подводимой в зону обработки энергии. Одним из них является электромеханическая обработка (ЭМО), основанная на преобразовании структуры поверхностного слоя материала комплексным термо-деформационным воздействием при прохождении электрического тока высокой плотности (10^8-10^9 А/м^2) и напряжении 2-5В через зону контакта деформирующего электрод-инструмента с обрабатываемой поверхностью [1,2].

Основными преимуществами ЭМО является применение широко распространенной, относительно недорогой и удобной в использовании электрической энергии, экологическая чистота процесса, низкая стоимость оборудования в сочетании с типовыми металлорежущими станками, простота и удобство управления технологическими режимами.

В зависимости от энергетических параметров ЭМО может быть подразделена на ряд технологических процессов:

- электромеханическое сглаживание (ЭМС) – преимущественно горячее пластическое деформирование микронеровностей с целью достижения минимальной шероховатости. Имеющее при этом место некоторое упрочнение поверхностного слоя носит преимущественно деформационный характер;
- электромеханическое упрочнение (ЭМУ) – повышение прочностных свойств поверхностного слоя - высокотемпературное, когда температура в зоне контакта деформирующего электрод-инструмента превышает температуру мартенситного превращения и на поверхности формируется структура белого слоя и низкотемпературное, когда температура в зоне контакта не достигает температуры мартенситного превращения и на поверхности формируется горячедеформированная структура;
- электромеханическое восстановление (ЭМВ) – изменение размеров обрабатываемой поверхности за счет горячей пластической деформации или использования добавочного металла;
- электромеханический отпуск (ЭМОт) когда, при взаимодействии электрод-инструмента с предварительно закаленной сталью имеет место локальный вторичный отпуск поверхностного слоя со снижением его прочностных и повышением пластических свойств.
- импульсное электромеханическое упрочнение (ИЭМУ), как разновидность высокотемпературного ЭМУ, когда под действием импульсов электрического тока на поверхности формируется регулярная структура, состоящая из отдельных фрагментов белого слоя, чередующихся с неупрочненными зонами, или зонами вторичного отпуска.

Изложенная в данной работе концепция ЭМО предполагает рассматривать упрочняющую обработку в едином комплексе конструкторско-технологической подготовки от выбора материала с учетом его склонности к формированию структуры поверхностного слоя с физико-механическими свойствами, отвечающими конкретным условиям работы изделия в конструкции до оценки стабильности его служебных свойств при последующих технологических и эксплуатационных воздействиях [3].

На этапе предшествующей подготовки, на основе анализа условий эксплуатации и возможных причин нарушения работоспособности, производится выбор материала с учетом необходимых служебных свойств изделия и прогнозируется формирование структуры, физико-механических свойств, напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя и будущего изделия в целом при действии расчетных эксплуатационных нагрузок.

Стадия непосредственно электромеханической обработки заключается в выборе того или иного вида ЭМО, в зависимости от конкретных условий эксплуатации изделия, определении конструктивных параметров и расчете технологических режимов. На данном этапе важное значение приобретает обоснованное применение технологической схемы обработки (обкатка, выглаживание, виброобкатка и т.п.), выбор материала, геометрии рабочего профиля деформирующего электрод-инструмента, использование постоянного или переменного электрического тока, смазка, охлаждение и т. п.

Все последующие воздействия на упрочненную ЭМО поверхность изделий можно разделить на:

- механические и деформационные, связанные с операциями финишной обработки (полирование, суперфиниширование и т.п.) или использования комбинированного упрочнения (ЭМО+ППД);
- эксплуатационные (тепловые, механические, физико-химические и т.п.).

Учитывая высокое качество поверхности после ЭМО, операции финишной обработки в большинстве случаев не проводятся. Использование деформационного упрочнения, в частности ППД обкаткой роликами оказывает существенное влияние на формирование полей остаточных сжимающих напряжений и повышение усталостной прочности изделий. Особенно эффективно применение данного метода комбинированного упрочнения при ЭМО закаленных сталей, а так же, в сочетании с ЭМОт зон концентрации напряжений.

Эксплуатационные температуры существенно изменяют свойства упрочненного поверхностного слоя. Исследования прочностных свойств белого слоя, полученного в результате ЭМО на поверхности среднеуглеродистых сталей, показали, что существенное снижение микротвердости белого слоя имеет место при температурах свыше 550К, что ведет так же к значительному снижению износостойкости. Это указывает на нежелательность эксплуатации упрочненных ЭМО изделий при повышенных температурах.

Рассмотренная в настоящей работе концепция поверхностного упрочнения изделий электромеханической обработкой позволяет, таким образом, наиболее полно реализовать все преимущества и свести к минимуму недостатки данного процесса. Следует отметить, что в работе рассмотрена лишь общая стратегия, требующая конкретной проработки на каждом этапе, применительно к конкретной детали в зависимости от ее назначения в конструкции и условий эксплуатации.

Литература

1. Аскинази, Б. М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой / Б. М Аскинази // - Москва: Машиностроение, 1977.- 184 с.

2. Багмутов, В. П. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация / В. П. Багмутов, С. Н. Паршев, Н. Г. Дудкина, И. Н. Захаров // Новосибирск: Наука, 2003, 318 с.

3. Багмутов, В. П. Интегрированная концепция формирования структурно-неоднородного поверхностного слоя стальных изделий электромеханической обработкой. /В. П Багмутов, С. Н. Паршев //– Журнал Известия ВУЗов. Черная металлургия, 2004, № 8, с. 69-71

ФОРМИРОВАНИЕ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ

Багмутов В.П., Паршев С.Н., Денисевич Д. С., Косогоров А. В.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Исследованы проблемы получения регулярных структур на поверхности стальных деталей, с помощью импульсного электромеханического упрочнения (ИЭМУ) с использованием различных видов электрического тока. Изложены основные требования к регулярной структуре, которая трансформируется в регулярный микрорельеф на поверхности трения. Рассмотрены модели формирования регулярной структуры на поверхности стальных деталей. Получены расчетные формулы, отражающие соотношение между параметрами регулярной структуры и технологическими режимами ИЭМУ.

Create regular microrelief on the surface of steel parts pulsed electromechanical hardening. Bagmutov V. P., Parshev S. N., Denisevich D. S., Kosogorov A. V.

The problems of obtaining of regular structures of surfaces of steel parts by means of pulsing electromechanical hardening (PEMH) with the use of different kinds of electrical current are considered. The basic requirements to the regular structures, which transform into regular microrelief while friction points run-in are formulated. The models of formation of regular structure on the surface hardened by PEMH are offered. The design formulae reflecting the relation between the parameters of regular structure and technological modes of PEMH are obtained.

Повышение износостойкости подвижных сопряжений является актуальной научной и практической задачей, успешное решение которой требует комплексного исследования по следующим основным направлениям:

повышение механических и триботехнических свойств материалов, включающее оптимальный выбор пары трения, применение современных термических, химико-термических и физико-технических упрочняющих обработок, покрытий и т.п.

улучшение антифрикционных свойств подвижного сопряжения (снижение коэффициента трения, увеличение площади опорной поверхности, обеспечение макро и микрогеометрии, обеспечение требуемой точности и др.).

использование современных смазок, обоснованных схем их подачи и удержания в зоне трения.

Одним из перспективных путей решения последнего из перечисленных направлений является разработка технологических методов формирования на поверхности подвижных сопряжений регулярных микрорельефов. В настоящее время, благодаря разработкам школы профессора Шнейдера Ю. Г. и его учеников, широкое применение получили методы образования регулярных микрорельефом холодным пластическим деформированием вибрирующими или профильными роликами [1]. Они позволяют получить микрорельефы различной конфигурации в зависимости от конкретных условий эксплуатации. В то же время, холодным пластически деформированием весьма затруднительно получить микрорельеф на высокопрочном материале (например, закаленной стали). Кроме того, наибольшая степень деформационного упрочнения приходится на впадины микрорельефа, в то время как несущие выступы оказываются менее упрочненными, что ограничивает долговечность самого микрорельефа.

Данную проблему можно решить применением импульсных высокоэнергетических технологий, в частности, импульсного электромеханического упрочнения (ИЭМУ).

Импульсное электромеханическое упрочнение основано на преобразовании структуры поверхностного слоя стальных изделий комплексным термо-деформационным воздействием импульсов электрического тока высокой плотности (10^8-10^9 А/м^2) при напряжении 2-5 в зоне контакта деформирующего электрод-инструмента с обрабатываемой поверхностью. В результате высокоскоростного нагрева локального объема поверхности до температур порядка 1500К с одновременной пластической деформацией и быстрым последующим теплоотводом в основной объем материала и охлаждающую среду на поверхности стальных изделий формируется высокопрочная структура мелкодисперсного мартенсита – белый слой [2,3].

При этом на поверхности формируется регулярная структура из отдельных фрагментов белого слоя, каждый из которых образован в течение одного полупериода прохождения электрического тока. Форма, размеры и взаимное расположение

фрагментов белого слоя зависит от режимов ИЭМУ и определяет конкретный вид регулярной структуры. При этом, в ряде случаев целесообразно использовать однополупериодное выпрямление электрического тока, обеспечивающее необходимые параметры регулярной структуры (относительную площадь упрочнения, размеры фрагментов белого слоя и расстояния между ними, определяющие форму выступов и впадин регулярного микрорельефа). При изолированном расположении фрагментов белого слоя образуется ячеистая регулярная структура, которая может быть трансформирована в регулярный микрорельеф в процессе приработки пары трения за счет более высокого износа неупрочненных зон. Однако в этом случае, в зоне трения оказываются продукты износа, которые могут оказать абразивное воздействие и, как следствие, привести к снижению износостойкости.

В предложенном методе формирования регулярного микрорельефа используется свойство чрезвычайно низкой травимости белого слоя. Поэтому, в процессе химического или электрохимического травления неупрочненных зон формируются, так называемые, масляные карманы. Полученный микрорельеф отличается высокой долговечностью, так как наиболее прочными являются несущие выступы микрорельефа, образованные фрагментами белого слоя [4,5].

Испытания в условиях граничного трения показали, что износостойкость образцов с регулярным микрорельефом в два раза выше, чем закаленных ТВЧ и в 4,5 – 5 раз выше, чем нормализованных.

Литература

1. Шнейдер, Ю. Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом /Ю. Г. Шнейдер // – Л.: Машиностроение, 1982.–248с.

2. Аскинази, Б. М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой / Б. М. Аскинази // – Москва: Машиностроение, 1977.– 184 с.

3. Багмутов, В. П. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация / В. П. Багмутов, С. Н. Паршев, Н. Г. Дудкина, И. Н. Захаров // Новосибирск: Наука, 2003, 318 с.

4. Паршев, С. Н. Формирование регулярного микрорельефа на поверхности стальных изделий комбинированной обработкой / С. Н. Паршев, Н. Ю. Полозенко – Вестник машиностроения, 2004, №11.– С. 47-49

5. Багмутов, В.П. Импульсное электромеханическое упрочнение стальных изделий с образованием регулярной дискретной структуры поверхностного слоя / Багмутов В.П., Паршев С.Н. // Вестник машиностроения. - 1996. - N 2. – С. 38-39.

КИНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ МАТЕРИАЛОВ

Багмутов В. П., Столярчук А. С., Коробов А. В.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Разработана процедура численного моделирования процесса циклической ползучести материалов как сложной многопараметрической задачи. Проведено сопоставление расчетных и экспериментальных данных.

The kinetic approach to modelling of cyclic creep of materials. Bagmutov V. P., Stolyarchuk A. S., Korobov A. V.

The procedure of numerical simulation of cyclic creep of materials as a complex multiparameter problem is developed. Comparison of the calculated and experimental data is carried out.

Циклическая ползучесть [1] имеет место в области малоцикловой усталости материалов. Указанный процесс протекает даже при комнатной температуре и существенно зависит не только от нагрузки, но и от асимметрии цикла напряжений. Максимальная циклическая ползучесть обычно возникает при пульсирующем отнулевом растяжении. Поскольку малоцикловая усталость может реально снижать ресурс элементов высоконагруженного энергетического оборудования (в том числе на атомных электростанциях – АЭС), проблема циклической ползучести весьма актуальна. При этом возникает вопрос оценки кинетики образующихся в материале повреждений, существенно влияющих на долговечность указанного оборудования в эксплуатации. Задачей настоящего исследования является разработка модели процесса циклической ползучести современных конструкционных материалов. При таком моделировании, естественно, должно учитываться реальное строение материала, которое на мезоструктурном уровне [2] приводит к существенной неоднородности кинетических процессов повреждений и соответствующей деградации его структуры.

Вопросы оценки релаксационной стойкости и накопления усталостных повреждений при различном силовом воздействии, то есть при нестационарном по напряжениям цикле ($\sigma = var$), серьезно обсуждаются в литературе [3]. При циклической ползучести накопление повреждений протекает в условиях нестационарности остаточных деформаций ($\varepsilon = var$) при $\sigma = const$, что и отражает кривая циклической ползучести. Таким образом, модель циклической ползучести фактически должна описывать эту нестационарность, например, с привлечением основных понятий прикладной теории информации, чему специально посвящено исследование [4].

В настоящей работе основное внимание сосредоточено на подходе [5] к моделированию циклической ползучести, полностью опирающемуся на накопленные экспериментальные данные, позволяющие описать это явление как кинетический процесс. При такой формулировке задачи вопросы деградации структуры материала, в первом приближении, могут быть опущены. Важно отметить, что указанные два подхода [4, 5], которые условно можно назвать «фундаментальным» и «прикладным», не противоречат, а взаимно дополняют друг друга.

Предлагаемый нами кинетический подход в отличие от [4] позволяет осуществить точную привязку к имеющимся для многих материалов опытным данным (через вводимые в расчет экспериментально определяемые параметры) и, таким образом, имеет неоспоримое преимущество для решения конкретных прикладных задач применительно к реальным конструкциям.

В основе развиваемого в данной работе приема лежит эмпирически подтвержденное предположение о двустадийности процесса циклической ползучести с имеющейся точкой перегиба на кривой ползучести (в отличие от сложившегося мнения, что это трехстадийный процесс) [1]. На основе указанной гипотезы в рамках работы [5] разработана процедура численного моделирования циклической ползучести как многопараметрической задачи. Эта процедура легко осуществляется с помощью современных информационных технологий. Вводя на «входе» известные (или предварительно определяемые) для каждого материала его механические свойства, асимметрию цикла напряжений и другие параметры, – на «выходе» получаем

информацию как о текущем числе циклов, так и конечное разрушающее число циклов, то есть долговечность.

Разработанная процедура численного моделирования изучаемого процесса позволяет обобщить результаты исследования на широкий круг материалов и большой интервал коэффициентов асимметрии цикла напряжений. Проверка показала удовлетворительное совпадение эмпирических и расчетных значений деформации циклической ползучести на макроуровне. Решение вопроса о происходящих при этом структурных изменениях – деградации материала на мезоуровне – остается прерогативой подхода, описанного в статье [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», проект № 14.B37.21.1091

Литература

1. Багмутов, В. П. Описание процесса циклической ползучести металлов / В. П. Багмутов, О. В. Кондратьев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 1997. – Т. 63. – № 10. – С. 38-42.

2. Панин, В. Е. Деформируемое твердое тело как нелинейная иерархически организованная система / В. Е. Панин // Физическая мезомеханика. – 2011. – Т. 14. – № 3. – С. 7-26.

3. Evaluation of the relaxation resistance and fatigue strength of alloys under various force and thermal effects / A. N. Savkin, O. P. Luk'yanov, O. V. Kondrat'ev, K. D. Khromushkin // Strength of Materials. – 1985. – V. 17 (6). – P. 749-754.

4. Багмутов, В. П. Применение аппарата прикладной теории информации при моделировании механического поведения материалов / В. П. Багмутов, А. С. Столярчук // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – № 6 (99). – С. 21-25.

5. Багмутов, В. П. Особенности описания процесса циклической ползучести металлического образца при мягком асимметричном растяжении, сжатии / В. П. Багмутов // Металловедение и прочность материалов: межвуз. сб. научн. тр. – Волгоград, 2003. – С. 73-82.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КОЛЬЦЕВЫХ ЛАЗЕРОВ

Белов А.В., Соловьева Т.И., Хлебников П.А. Савельев И.И.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ, ОАО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»

Рассматриваются особенности внедрения на высокотехнологичных предприятиях информационно-управляющих систем класса ERP (Enterprise Resource Planning). Анализируются этапы построения такой системы для предприятия, разрабатывающего и производящего лазерную технику.

Development of the Enterprise Resource Planning system for the ring laser production facility. Belov A.V., Soloviova T.I., Khlebnikov P.A., Saveliev I.I.

The problems of the ERP system development for the high technology facilities are considered. There are analyzed the stages of the ERP system creation for the enterprise to make designing and producing the laser devices.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Введение

В настоящее время для большинства предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) актуальной задачей является переход от распределенных хранилищ производственных данных к единой информационной системе. Современный подход к решению этой задачи для промышленных предприятий заключается во внедрении на предприятии информационно-управляющих систем класса ERP (Enterprise Resource Planning). Однако для предприятий ОПК такой подход не всегда является эффективным в силу особенностей производства, специфики его конструкторско-технологической поддержки, применения уникальных технологий. Именно поэтому процесс внедрения информационно-управляющих систем ведущих зарубежных производителей таких, как Oracle, SAP, Microsoft и т.п. зачастую затягивается, становится высоко затратным. Общая стоимость владения (Total Cost Ownership) таких решений в несколько раз превышает стандартные значения для предприятий других отраслей: нефтехимии, пищевой промышленности, производства товаров широкого потребления.

В этой связи задача проектирования и разработки систем управления производством высокотехнологичных предприятий является весьма актуальной.

Как показал проведенный анализ разработки и производства изделий квантовой электроники – кольцевых лазеров в ОАО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, для повышения эффективности производства существенно необходимой является специализированная единая информационно-управляющая система, концепция построения которой предложена в данной работе.

Производство кольцевых лазеров – наукоёмкий процесс, основанный на применении современных технологий. Его производительность и устойчивость в большей степени зависит от организации информационной системы поддержки этого процесса.

В настоящей работе на основе анализа технологических процессов производства кольцевых лазеров – датчиков лазерных гироскопов с использованием CALS-технологий разработана архитектура информационно-управляющей системы производства (ИУСП) лазеров.

Архитектура ИУСП лазеров

В настоящее время существенную часть проектов по автоматизации промышленных предприятий составляют проекты по внедрению систем класса ERP. Но все больше заказчиков понимают, что основные затраты и необоснованные потери возникают в процессе производства. Соответственно, не добившись прозрачности производственного учета, не управляя процессом производства и потоками материала в оперативном режиме, невозможно добиться повышения эффективности производства, использования производственных мощностей, снижения себестоимости готовой продукции, исключения случаев нецелевого использования сырья и материалов.

При построении систем управления промышленным предприятием разработчики руководствуются стандартом ISA 95 «Интеграция систем управления и контроля» [1], который является одним из основных международных стандартов в области автоматизации промышленных предприятий. Он разработан ассоциацией ISA (The Instrumentation, Systems, and Automation Society). Цель стандарта состоит в том, чтобы сократить риск, стоимость и ошибки, связанные с внедрением систем уровня предприятия и систем управления производственными операциями, которые легко взаимодействуют и объединяются. Также этот стандарт используется для уменьшения усилий, связанных с реализацией новых типов продукции.

Данный стандарт не является обязательным для исполнения. Его цель состоит в том, чтобы предложить единую информационную модель промышленного предприятия, которая может быть использована в процессе автоматизации предприятия.

Стандарт ISA 95 состоит из трех частей, которые в целом описывают типичные автоматизируемые функции промышленного предприятия и его информационную модель.

Первая часть была выпущена в январе 2000 года. В ней приведены:

- Принцип разделения типовых автоматизируемых функций предприятия на несколько уровней автоматизации;
- Описание типовых автоматизируемых функций предприятия с распределением функций по уровням автоматизации;
- Основные информационные модели предметной области промышленного предприятия.

Вторая часть была выпущена в мае 2001 года. Она описывает:

- Детальные информационные модели предметной области промышленного предприятия;
- Детальные описания атрибутов объектов предметной области промышленного предприятия.

Третья часть была выпущена в ноябре 2003 года. Она описывает типовые бизнес - процессы промышленного предприятия, их задачи и содержание.

В контексте предлагаемой стандартом информационной модели автоматизируемые функции промышленного предприятия подразделяются на несколько уровней.

Верхний уровень включает автоматизируемые функции, относящиеся к деятельности компании и входящих в неё предприятий:

- Планирование работы предприятия на уровне объемного плана;
- Управление материальными и энергетическими ресурсами;
- Управление заказами и продажами;
- Управление закупками необходимых в производстве материалов.

К функциям уровня цеха предприятия относятся следующие группы функций:

- Оперативное планирование работ;
- Управление материальными и энергетическими ресурсами;
- Управление персоналом;
- Управление и планирование работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования (ТОРО) и ряд других функций.

В основном стандарт ориентирован на описание функций масштаба предприятия и цехового уровня, а также информационных моделей тех объектов предметной области предприятия, которые затрагиваются в ходе реализации этих функций.

На нижнем уровне находятся функции, относящиеся к процессам сбора измерительной информации и управления производственным оборудованием. Данный уровень в стандарте практически не рассматривается. Таким образом, как следует из положений стандарта ISA 95, при проектировании ИУСП возникает задача построения архитектуры системы в виде набора логически связанных информационных моделей объектов, а также моделей функций, составляющих основу процесса производства. При этом должна быть определена и технологическая архитектура, на базе которой будут реализованы перечисленные модели. Для конструирования предлагаемых моделей используются CASE-средства. Наиболее часто используемыми средствами

проектирования являются такие, как Aris, AllFusion Process Modeller и AllFusion Data Modeller.

Однако использование CASE-средств становится эффективным только тогда, когда разработаны математические модели, описывающие основные объекты и функции, входящие в состав ИУСП.

Компонентная модель ИУСП лазеров

Для построения ИУСП лазеров необходимо построить информационную модель нормативно-справочной информации (НСИ). Эта информация является базовой, т. к. она должна содержать данные о сырье, материалах, комплектующих и готовых изделиях из конструкторско-технологической документации, а также все необходимые словари, справочники и классификаторы, позволяющие унифицировать поиск и обработку данных. Модель построения системы управления НСИ описана в [2]. Ключевым понятием в ИУСП лазеров будет понятие **номенклатурной позиции**, которая включает в себя информацию о сырье, материалах, комплектующих и готовых изделиях. Фрагмент словаря номенклатурных позиций (НП), построенных для ИУСП лазеров в соответствии с предлагаемой информационной моделью, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Имя класса НП	Текстовое описание	Местонахождение экземпляра класса НП
Корпус		
Body	Заготовка корпуса кольцевого лазера	Заготовки корпуса поступают с завода-изготовителя на входной контроль
Ножка		
Disk	Диск – оптическая деталь	Диски поступают с завода-изготовителя на входной контроль
Комплект зеркал		
Substrate	Подложка – оптическая деталь со сверхгладкой поверхностью, на кото-рую напыляется много-слойное покрытие для создания лазерного зеркала	Подложки поступают с завода изготовителя на входной контроль
Substrate Set	Комплект подложек проходит напыление в отдельной лаборатории без измерения пара-метров	Комплект подложек формируется и проходит напыление в НИИ «Полюс»
Mirror	Зеркала; делятся на плоские, сферические и пьезо	Зеркала поступают комплектом после напыления и проходят контроль параметров
Mirror Set	Комплект зеркал	Комплект зеркал формируется из свободных на данный момент с учетом их параметров. Передается на сборку резонатора
Резонатор		
Resonator	В резонаторе генери-руется	Собирается из корпуса,

	лазерное излуче-ние	комплекта зеркал, ножки и катода. Для обезгаживания используется геттер
Датчик		
Sensor	Датчик на основе кольцевого лазера выдает информацию о парамет-рах вращения	Собирается на основе резонатора с использова-нием различных деталей

В связи с тем, что в процессе производства должны выполняться контрольно-измерительные операции для оценивания значений параметров изготавливаемых элементов конечных изделий, в состав базовой НСИ необходимо включить:

- спецификация – список измеряемых параметров на группу номенклатурных позиций и стандартные значения для этих параметров, определяемые используемыми стандартами (ГОСТ, ТУ предприятия и т. п.);
- спецификация на номенклатурную позицию – список измеряемых параметров на конкретную номенклатурную позицию и стандартные значения для этих параметров, определяемые используемыми стандартами (ГОСТ, ТУ предприятия и т. п.).

Спецификация определяется уникальным именем, датой, по которую действует данная спецификация, набором измеряемых параметров, стандартными значениями для параметра и единицей измерения для данного параметра.

Значения измеряемых параметров в спецификации могут иметь один из перечисленных типов:

- текстовый. Вводится то слово, которому должно соответствовать вводимое значение параметра, например, «соответствует» или «прозрачный» и т. д.;
- числовое значение, например, 12,5;
- диапазон значений, например, 100 – 150 (т. е. от 100 до 150);
- любое значение (цифровое или символьное), которое не будет ни с чем сравниваться. Для этого используется символ «*».

Для проектирования ИУСП необходимо определить состав выполняемых функций, т.е. построить модель технологических процессов, которая определит архитектуру алгоритмического и программного обеспечения ИУСП. Организация функциональной части системы должна быть построена на том, что все действия в системе могут выполняться только посредством зарегистрированных операций. Определим типы элементарных операций:

- учетные;
- административные;
- информационные.

Определения этих типов операций приведены в [3]. Используя вводимые понятия:

- ***Процедура*** – набор операций, используемых при контроле качества. Например, можно использовать процедуры, которые определяются местом проведения контроля в технологическом процессе: *входной, операционный* или *выходной* контроль,
- ***Документ качества*** – документ, в который заносятся результаты проведенных измерений,
- ***Журнал качества*** – журнал, в который заносятся документы качества с результатами измерений,
- ***Участок тестирования*** – рабочий участок с измерительным оборудованием, на котором проводятся контрольные операции,

можно реализовать технологические операции, связанные с автоматизацией процессов контроля качества производимых изделий [4].

Для формирования модели технологической архитектуры ИУСП необходимо сформировать нефункциональные требования. Основными нефункциональными требованиями к ИУСП, которые определяют последующие требования к используемым методам и средствам реализации ИУСП, т.е. физической модели архитектуры ИУСП и, в конечном счете, влияют на адекватность применяемых архитектурных решений и качество системы в целом, являются следующие:

- *Объем хранимых и обрабатываемых данных* – V^D;
- *Стоимость хранения данных* – C^D;
- *Время выполнения операций* – T^O;
- *Достоверность получаемой информации* – P^D;
- *Стоимость осуществления операции* – C^O.

Состав приведенных характеристик качества показывает, что для анализа качества построенной модели ИУСП необходимо оценивать компоненты предлагаемой модели: информационные объекты и операции, составляющие технологические процессы.

Заключение

Предложенный в статье подход к проектированию информационно-управляющей системы производства является оптимальным для таких предприятий, как ОАО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, разрабатывающих и производящих изделия квантовой электроники на базе уникальных технологий. Первый этап этой работы отражен в докладе [5].

Вместе с тем анализ особенностей разработки и технологического цикла изготовления изделий показал, что производство наукоемкой продукции, к которой относится лазерная техника, в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001:2000, является сложной задачей, и ее решение невозможно без создания единого информационного пространства на предприятии. Термин «единое информационное пространство» используется для обозначения такого порядка представления, хранения и доступа к информации, а также возможностей ее обработки, при котором любые (не относящиеся к конфиденциальным) сведения, имеющиеся на предприятии, могут быть получены по запросу в различных срезах и сочетаниях.

В соответствии с этой концепцией на предприятии должна быть создана единая информационно-технологическая среда, в состав которой должны войти следующие программно-аппаратные компоненты:

- системы сбора технологических данных (SCADA-системы),
- системы управления контрольно-измерительным оборудованием,
- система управления нормативно-справочной информацией,
- системы автоматизации проектирования (CAD/CAM),
- ERP-система для решения задач управления предприятия в целом,
- система контроля качества выпускаемой продукции,

а также обеспечивающие системы:

- система электронного документооборота,
- система управления проектами.

При этом для обеспечения эффективного управления деловыми процессами и программными приложениями, а также для объединения данных в рамках всего предприятия необходимо использовать современные интеграционные платформы.

Литература

1. ISA-95: The international standard for the integration of enterprise and control systems.
2. Белов А.В., Линев К.А. Разработка математического и программного обеспечения для систем управления мастер-данными.//Информационно-измерительные и управляющие системы, 2011, т.9, №6.
3. Белов А.В., Смирнов В.А. Построение математической модели системы анализа характеристик качества информационно-управляющих систем масштаба предприятия. // Качество. Инновации. Образование, 2009, №4.
4. Белов А.В., Смирнов В.А., Писаревский К.Е. Особенности построения СМК в сфере производства товаров широкого потребления. // Методы менеджмента качества, 2007, №7.
5. Новиков С.С., Савельев И.И., Хлебников П.А. Информационная система поддержки производства датчиков лазерных гироскопов. // Системные проблемы надежности, качества, математического моделирования и инфотелекоммуникационных технологий в инновационных проектах (ИННОВАТИКА-2012). Труды Международной конференции и Российской научной школы. Часть 1. Ивантеевка М.о.: Издательство НИИ предельных технологий, 2012 г., с.30.

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Беркетов Г.А., Микрюков А.А., Федосеев С.В., Головко Д.В.
Москва, Институт компьютерных технологий Московского государственного университета экономики, статистики и информатики

В статье рассматриваются вопросы управления техническим состоянием системы, ее надежностью и безопасностью на основе прогнозирования остаточного ресурса ее элементов. Для решения задач оценивания и прогнозирования технического состояния системы предлагается использование моделей и методов теории распознавания образов.

Models and pattern recognition algorithms in life-cycle management problems of technical systems, Berketov G.A., Mikryukov A.A., Fedoseev S.V., Golovko D.V.

The article deals with the technical system condition management, its safety and reliability based on the of residual life prediction of its elements. To solve the problems of estimation and forecasting of the technical state of the system is proposed to use the theory of pattern recognition models and methods.

Остаточный ресурс сложной технической системы (СТС) определяется величиной наработки до ее перехода в предельное состояние. При этом под предельным состоянием СТС понимается такое ее состояние, при котором она не способна выполнять целевые задачи с заданным качеством. Наиболее часто в качестве признаков перехода СТС в предельное состояние используют либо неустранимое снижение уровня безотказности функционирования, либо недопустимое возрастание эксплуатационных расходов на обеспечение функционирования.

При продлении сроков эксплуатации СТС необходимо уметь оценивать текущее состояние ее элементов, то есть относить их к тому или иному классу возможных

состояний и прогнозировать сроки их перехода в предельное состояние. Основные трудности при решении этой задачи обусловлены следующим.

Предположения о свойствах модели отказов оборудования, принимаемые при расчетах надежности оборудования в пределах гарантийного ресурса, оказываются слишком упрощенными и даже неприемлемыми за его пределами. Различные параметры оборудования при его длительной эксплуатации могут влиять друг на друга, и тогда причиной отказа может оказаться не только недопустимое отклонение некоторого параметра, но и неблагоприятное сочетание значений нескольких параметров, при том условии, что каждый из параметров находится в пределах допусков. При этом отказ одного элемента оборудования может привести к цепочке отказов других (кратный отказ). Заметим, что возможность возникновения таких ситуаций редко учитывается при проектировании средств диагностики, рассчитанных на использование в пределах гарантийных сроков эксплуатации СТС.

Обычно традиционные программы поддержания работоспособности СТК недостаточно полно учитывают конкретные условия эксплуатации его компонент, но, как показывает практика, именно они могут стать причиной отказов. Многие факторы внешней среды имеют кумулятивный характер, то есть их воздействие на работоспособность определяется суммарной экспозицией (суммарной длительностью воздействий).

Для большинства элементов СТС исходная информация о закономерностях изменения их параметров в процессе эксплуатации чрезвычайно мала. Вследствие этого известные методы прогнозирования, использующие классический аппарат математической статистики и теории случайных процессов, в практике прогнозирования состояния СТС за пределами гарантийных сроков могут найти лишь ограниченное применение.

Для более надежного прогнозирования остаточного ресурса СТС после длительной эксплуатации необходимо следующее:

расширение исходной информационной базы за счет проведения комплексного обследования подсистем СТК;

проведение мониторинга последующей эксплуатации СТК;

разработка новых методов прогнозирования, дополняющих уже известные.

Возможности для расширения информационной базы в настоящее время существенно увеличились: разработаны новые методы неразрушающего контроля; достижения микроэлектроники позволяют встраивать в оборудование малогабаритные устройства, которые могут записывать и хранить большие объемы информации об условиях работы оборудования и его параметрах; компьютерные сетевые технологии дают возможность производить быстрый обмен и анализ информации.

Одним из перспективных направлений решения задач оценивания и прогнозирования технического состояния СТК является использование моделей и методов распознавания образов [1,2]. В данной статье рассматриваются методы оценивания и прогнозирования технического состояния СТС, основанные на указанном подходе.

Под классом технического состояния понимается подмножество множества возможных значений вектора параметров объекта, которое соотносится с некоторой содержательной интерпретацией условий, при которых объект еще может использоваться по своему назначению. Например, пространство состояний некоторой подсистемы или компоненты оборудования СТС могут разделяться на следующие классы, соотнесенные с условиями возможного использования:

подсистема исправна и работоспособна;

подсистема работоспособна, но содержит неисправности;

подсистема неработоспособна, но ее работоспособность может быть восстановлена при выполнении ремонтно-профилактических работ;

подсистема неработоспособна, ее работоспособность может быть восстановлена только при выполнении капитального ремонта;

подсистема работоспособна, но ее дальнейшая эксплуатация нецелесообразна из-за низкого качества функционирования и больших эксплуатационных затрат;

подсистема работоспособна, но ее дальнейшая эксплуатация нецелесообразна по соображениям безопасности.

Множество классов состояний диагностируемого объекта будем обозначать через $Q = \{q_1, q_2, ..., q_m\}$.

При распознавании ТС объекта его физические характеристики преобразуются в вектор признаков $X = (x_1, x_2, ..., x_n)'$, которые характеризуют данное состояние (штрихом здесь обозначена операция транспонирования). Переменные x_i называют также диагностическими параметрами объекта. Множество возможных значений вектора X называется пространством признаков.

Система распознавания на основании сопоставления измеренного вектора признаков с априорным описанием классов состояний объекта принимает решение о принадлежности текущего состояния этого объекта к одному из классов.

Правило, которое каждому вектору признаков ставит в соответствие определенное наименование класса, называют решающим правилом.

Параметры (признаки) состояния объектов обычно имеют стохастический характер, их значения могут с некоторой вероятностью распределяться по нескольким классам состояния, поэтому в процессе распознавания возможны случайные ошибки.

Считается, что система распознавания допускает ошибку в том случае, если она относит к классу q_i состояние, на самом деле принадлежащее другому классу q_j.

Признаки, используемые при оценке технического состояния СТК, могут измеряться в различных шкалах: количественной (числовой), ординальной (порядковой) и номинальной.

Рассмотрим модель распознавания состояний СТС и методы формирования решающего правила для случая, когда все признаки измеряются в непрерывной числовой шкале. Пусть $Q = \{q_1, q_2, ..., q_m\}$ - множество рассматриваемых классов ТС оцениваемого объекта; λ_{ij} - потери, связанные с ошибочным отнесением состояния класса q_i к классу q_j. Каждому классу q_i в пространстве признаков R^n соответствует множество D_i – образ класса. Вектор признаков $X = (x_1, x_2, ..., x_n)'$ является многомерной случайной величиной. Заданы условные плотности $p(X / q_i)$ распределения вероятностей вектора X в предположении его принадлежности к классу q_i. Пусть также заданы априорные вероятности $P(q_i)$ принадлежности объекта к соответствующим классам q_i. Тогда апостериорная (после измерения параметров и вычисления вектора признаков X) вероятность принадлежности состояния объекта к классу q_i может быть вычислена с помощью байесовского правила

$$P(q_i / X) = P(q_i)\, p(X / q_i) / \, p(X), \tag{1}$$

где $p(X) = \sum_{i=1}^{m} p(X / q_i)$. (2)

Предположим, что вектор X был классифицирован как образ состояния, принадлежащего классу q_j. Так как X на самом деле может принадлежать любому из m рассматриваемых классов, то математическое ожидание потерь, связанных с отнесением образа X к классу q_j, определяется следующим выражением:

$$r_j(X) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_{ij} P(q_i / X). \quad (3)$$

В теории статистических решений эту величину называют *условным средним риском или условными средними потерями.*

С учетом (1) выражение (3) преобразуется к виду

$$r_j(X) = \frac{1}{p(x)} \sum_{i=1}^{m} \lambda_{ij} P(q_i) p(X / q_i). \quad (4)$$

В целом качество классификации можно оценить *общим средним риском*

$$r(X) = \frac{1}{p(x)} \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{m} \lambda_{ij} P(q_i) p(X / q_i). \quad (5)$$

При распознавании каждого образа решающее правило (классификатор) может отнести его к одной из m возможных категорий. Если для каждого образа X вычисляются значения условных средних потерь $r_j(X), j = \overline{1,m}$, и классификатор причисляет его к классу, которому соответствуют минимальные условные средние потери, то очевидно, что и математическое ожидание полных потерь на множестве всех решений также будет минимизировано. Решающее правило, минимизирующее математическое ожидание общих потерь, называется *байесовским решающим правилом (байесовским классификатором).*

Заметим, что при фиксированном X величина $1/p(X)$ является константой и поэтому её можно устранить из соотношений (4) и (5), что позволяет упростить вычисления.

Модифицированные формулы для вычисления условного риска имеют вид

$$R_j(X) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_{ij} P(q_i) p(X / q_i), \quad (6)$$

$$R(X) = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{m} \lambda_{ij} P(q_i) p(X / q_i). \quad (7)$$

Важным частным случаем рассмотренной модели является модель дихотомической классификации, когда множество Q состоит всего из двух классов q_1 и q_2. Дихотомические модели имеют сравнительно простую структуру и легче поддаются количественному анализу. Отметим также, что решение многоальтернативных задач распознавания часто сводится к схемам, в которых используются двухальтернативные решающие правила.

Пусть $Q = \{q_1, q_2\}$. Тогда при анализе образа X возможны два следующих решения: X относится к классу q_1 или X относится к классу q_2. При выборе первого решения

$$R_1(X) = \lambda_{11} p(X / q_1) P(q_1) + \lambda_{21} p(X / q_2) P(q_2), \quad (8)$$

а при выборе второго

$$R_2(X) = \lambda_{12} p(X / q_1) P(q_1) + \lambda_{22} p(X / q_2) P(q_2). \quad (9)$$

Как отмечалось выше, байесовское решающее правило относит образ X к классу с наименьшим значением средних потерь. Поэтому образ X зачисляется в класс q_1, если выполняется условие $R_1(X) < R_2(X)$; это означает, что

$$\begin{aligned} &\lambda_{11} p(X/q_1)P(q_1) + \lambda_{21} p(X/q_2)P(q_2) < \\ &< \lambda_{12} p)X/q_1)P(q_1) + \lambda_{22} p(X/q_2)P(q_2) \end{aligned}, \tag{10}$$

или, что то же самое,

$$(\lambda_{12} - \lambda_{11})\, p(X/q_1)P(q_1) > (\lambda_{21} - \lambda_{22})\, p(X/q_2)P(q_2). \tag{11}$$

Обычно считается, что $\lambda_{ij} > \lambda_{ii}$ (иногда дополнительно полагают $\lambda_{ii} = 0$). При этом допущении выражение (11) приводит к условию

$$\frac{p(X/q_1)}{p(X/q_2)} > \frac{P(q_2)(\lambda_{21} - \lambda_{22})}{P(q_1((\lambda_{12} - \lambda_{11})}, \tag{12}$$

выполнение, которого определяет отнесение образа X к классу q_1. Левую часть неравенства (12) называют отношением правдоподобия или коэффициентом правдоподобия:

$$l(X) = \frac{p(X/q_1)}{p(X/q_2)}. \tag{13}$$

Правая часть неравенства

$$h = \frac{P(q_2)(\lambda_{21} - \lambda_{22})}{P(q_1)(\lambda_{12} - \lambda_{11})} \tag{14}$$

называется пороговым значением.

Байесовское решающее правило формулируется следующим образом:

состояние диагностируемого объекта относится к классу q_1, если выполняется условие $l(X) > h$;

состояние диагностируемого объекта относится к классу q_2, если выполняется условие $l(X) < h$;

решение выбирается произвольным образом или привлекается дополнительная информация, если имеет место равенство $l(X) = h$.

Использование штрафных коэффициентов λ_{ij} имеет важное практическое значение. Правильно подобранные коэффициенты штрафа позволяют минимизировать в первую очередь вероятности принятия неверных решений, которые могут привести к невыполнению объектом своих функциональных задач или к значительным экономическим потерям.

На практике наряду с вышеописанным правилом принятия решения часто используют так называемое правило максимума апостериорной вероятности. При заданном X апостериорная вероятность $P(q_i/X)$ принадлежности состояния объекта к классу q_i вычисляется следующим образом:

$$P(q_i/X) = \frac{P(X/q_i)P(q_i)}{P(X)}, \tag{15}$$

где $P(X) = \sum_{i=1}^{m} P(q_i)P(X/q_i)$ – совместная плотность распределения вектора признаков.

Решение о принадлежности состояния к классу q_i принимается при выполнении условия, обеспечивающего минимум средней вероятности ошибки классификации.

Если рассматриваются два диагностических класса q_1 и q_2, то решение q_1 принимается при $P(q_1/X) > P(q_2/X)$ и q_2 при $P(q_1/X) < P(q_2/X)$. Это и есть правило максимума апостериорной вероятности.

Отношение правдоподобия имеет прежний вид

$$l(X) = P(X/q_1)/P(X/q_2),$$

а величина порога вычисляется по формуле

$$h = P(q_2)/P(q_1). \qquad (16)$$

При практических вычислениях удобно использовать логарифм отношения правдоподобия, полагая

$$l(X) = \log\frac{P(q_1/X)}{P(q_2/X)}, h = \log\frac{P(q_2)}{P(q_1)}.$$

В формулы вычисления пороговых значений (14) и (16) входят величины априорных вероятностей $P(q_i)$. Обычно $P(q_i)$ заранее не известны. При решении практических задач эти величины часто задаются на основании субъективных оценок исследователя. Более объективным следует считать подход, когда $P(q_i)$ полагают пропорциональными объемам обучающих выборок из рассматриваемых классов. При полной неопределённости, в соответствии с принципом Бернулли, можно положить $P(q_1) = P(q_2) = 1/2$, т.е. принять порог равным единице $(h = 1)$. В этом случае мы приходим к правилу максимального правдоподобия.

В теории распознавания образов широко используется геометрическое представление о разделении диагностических классов в пространстве признаков. Считается, что для успешной классификации необходимо, чтобы образы состояний X, соответствующие классу q_i, концентрировались в некоторой области D_i пространства R^n .Дополнительно требуется, чтобы в каждую область D_i попадала лишь незначительная часть образов из других классов.

Построение решающего правила можно рассматривать как задачу поиска m непересекающихся областей $D_i (i = \overline{1,m})$, удовлетворяющих вышеуказанным условиям. Если образ состояния X попадает в область D_i, то принимается решение о принадлежности состояния к классу q_i.

Нет необходимости в полном построении точных границ областей D_i; для целей классификации достаточно указать лишь гиперповерхности, которые разделят эти области в пространстве признаков. Примеры подобного разбиения пространства для двумерного вектора X приведены на рис.1 и 2. Для разделения разделяющих гиперповерхностей вводится понятие дискриминантных (разделяющих) функций (ДФ).

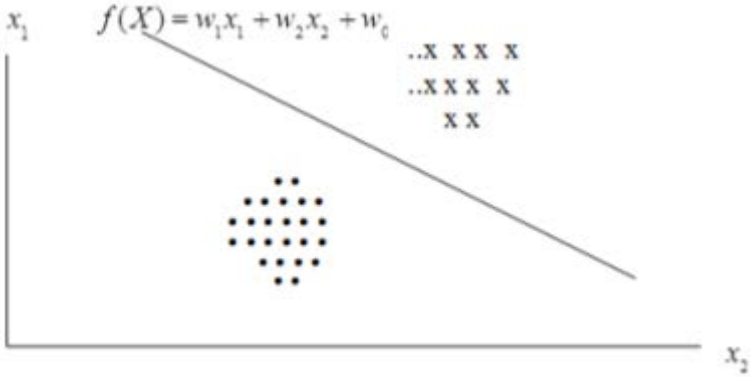


Рис.1. Пример линейной дискриминантной функции для случая разделения образов на два класса

Предполагается, что в случае разбиения на два класса разделяющая функция $f(X)$ обладает следующим свойством:

$$f(X) > 0, \text{ если } X \in D_1, \ f(X) < 0, \text{ если } X \in D_2. \quad (17)$$

Тогда уравнение разделяющей гиперповерхности запишется в виде

$$f(X) = 0. \quad (18)$$

Этот случай иллюстрируется на рис.1.

При разбиении пространства состояний на несколько классов каждая область D_i отделяется от остальных одной разделяющей поверхностью. В этом случае существует m разделяющих функций, обладающих следующим свойством: для $i = \overline{1,m}$ выполняется

$$f_i(X) > 0, \text{ если } X \in D_i, \text{ и } f_i(X) < 0, \text{ если } X \notin D_i. \quad (19)$$

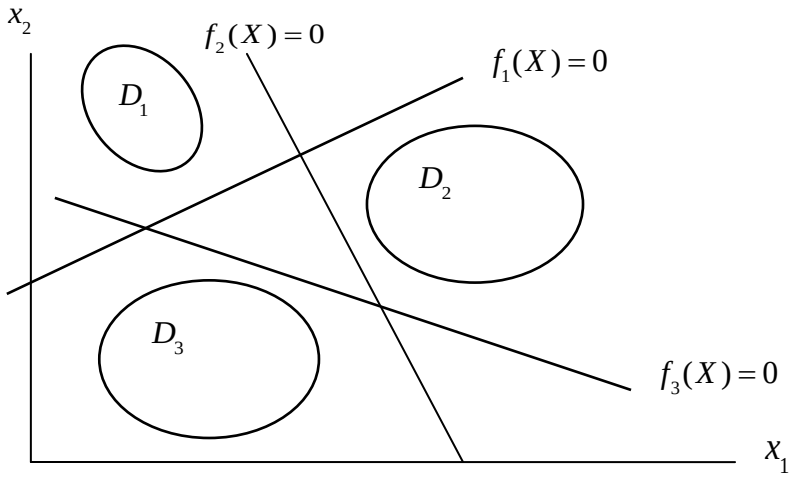


Рис.2. Иллюстрация к случаю разделения на несколько классов

Поверхность, отделяющая область D_i от остальных, определяется значениями X, при которых $f(X) = 0$. Данный случай иллюстрируется на рис.2.

Установим связь между подходом, основанным на теории статистических решений и геометрическим подходом.

Для упрощения выкладок будем рассматривать случай с двумя разделяемыми классами q_1 и q_2.

Положим $\lambda_{11} = \lambda_{22} = 0, \lambda_{12} = \lambda_1, \lambda_{21} = \lambda_2$. При осуществлении события X условные вероятности ошибок первого рода и второго рода равны

$$\alpha = \int \cdots \int_{D_2} P(X / q_1)\, dx_1 \cdots dx_n; \quad \beta = \int \cdots \int_{D_1} P(X / q_2)\, dx_1 \cdots dx_n. \tag{20}$$

Средний риск определяется по формуле

$$R = \lambda_1 P(q_1)\alpha + \lambda_2 P(q_2)\beta. \tag{21}$$

Так как интеграл от плотности вероятности по области $D_1 \cup D_2$ равен единице, то

$$\alpha = 1 - \int \cdots \int_{D_1} P(X / q_2)\, dx_1 \cdots dx_n,$$

откуда

$$R = \alpha_1 P(q_1) +$$

$$+ \int \cdots \int_{D_1} [\lambda_2 P(q_2)\, p(X / q_2) - \lambda_1 P(q_1) P(X / q_1)] dx_1 \cdots dx_n \tag{22}$$

Для минимизации среднего риска необходимо так выбрать области D_1 и D_2, чтобы интеграл в (22) принял отрицательное и наибольшее по модулю значение. Это достигается тогда, когда подынтегральное выражение принимает наибольшее по модулю отрицательное значение, и вне области D_1 не существует такой области, в которой подынтегральное выражение отрицательно, т.е. выполняется

$$\lambda_2 P(q_2) P(X / q_2) - \lambda_1 P(q_1) P(X / q_1) < 0. \tag{23}$$

Отсюда следует ранее рассмотренное байесовское решающее правило.

Распознаваемое состояние, для которого установлен вектор признаков X, относится к классу q_1,если

$$\frac{P(X / q_1)}{P(X / q_2)} > \frac{\lambda_2 P(q_1)}{\lambda_1 P(q_2)}, \tag{24}$$

где $\frac{\lambda_1 P(q_1)}{\lambda_2 P(q_2)} = h -$ пороговое значение коэффициента правдоподобия.

Отсюда следует, что разделяющая функция для байесовского правила имеет вид

$$f(X) = \lambda_1 P(q_1) P(X / q_1) - \lambda_2 P(q_2) P(X / q_2). \tag{25}$$

Итак, если для объекта известны априорные вероятности классов состояний $P(q_i)$ и условные плотности вероятности $P(X / q_i)$, то можно определить решающее правило или дискриминантные функции для классификации состояний по результатам диагностических измерений.

Процесс обучения заключается в построении аппроксимаций для разделяющих функций.

Рассмотрим процесс обучения критерию Байеса применительно к ситуации, когда число классов равно двум ($m = 2$).

Принадлежность состояния к классу q_1 или классу q_2 определяется знаком функции

$$f(X) = (\lambda_{11} - \lambda_{12}) P(X / q_1) + (\lambda_{21} - \lambda_{22}) P(q_2) P(x / q_2). \tag{26}$$

Сложность аппроксимирующей функции зависит от взаимного расположения образов классов в пространстве признаков. Иногда разделение образов можно осуществить с помощью линейной ДФ, но в общем случае необходимо использовать нелинейную аппроксимацию. Ниже рассматривается общий случай построения нелинейной аппроксимации.

Пусть задана система линейно независимых функций $\varphi_1(X), \varphi_2(X), ..., \varphi_k(X)$. Тогда $f(X)$ можно аппроксимировать линейной комбинацией

$$\hat{f}(X, W) = W\varphi(X) = w_1\varphi_1(X) + w_2\varphi_2(X) + \cdots + w_k\varphi_k(X). \quad (27)$$

Выражение (27) представляет собой скалярное произведение вектор-строки коэффициентов $W = (w_1, w_2, \cdots, w_k)$ и вектор-столбца $\varphi(X)$, для которого

$$\varphi'(X) = [\varphi_1(X), \varphi_2(X), \cdots, \varphi_k(X)].$$

Коэффициенты $w_1, w_2, \cdots, w_k$ определяются в результате статистической обработки обучающей выборки.

Ошибка аппроксимации определяется функционалом

$$J(W) = \int\cdots\int_{(X)} [f(X) - W\varphi(X)]^2 dX, \quad (28)$$

где (X) – пространство признаков $[(X) \subseteq R^n]$, $dX = dx_1 dx_2 ... dx_n$.

Условие минимума функционала имеет вид

$$\nabla J(W) = -2\int\cdots\int_{(X)} [f(X) - W\varphi(X)]\varphi(X)dX = 0. \quad (29)$$

Введем матрицу

$$H = \int\cdots\int_{(X)} \varphi(X)\varphi'(X)dX,$$

размер которой равен SxS. Тогда условие (29) перепишется в виде

$$HW - \int\cdots\int_{(X)} f(X)\varphi(X)dX = 0. \quad (30)$$

Подставив в (30) соотношение (26), получим

$$HW - \int\cdots\int_{(X)} [(\lambda_{11} - \lambda_{12})P(q_1)p(X/q_1) + (\lambda_{21} - \lambda_{22})P(q_2)p(X/q_2)]\varphi(X)dX = 0 \quad (31)$$

Обозначим через $q(X)$ класс состояния ассоциируемого с вектором признаков X. Положим

$$\Phi(X) = \begin{cases} (\lambda_{11} - \lambda_{12})\varphi(X), \text{ если } q(X) = q_1; \\ (\lambda_{21} - \lambda_{22})\varphi(X), \text{ если } q(X) = q_2. \end{cases}$$

Тогда равенство (31) представляется в виде

$$HW = M_X[\Phi(X)]. \quad (32)$$

Символом M здесь обозначена операция вычисления математического ожидания.

Пусть система функций $\{\varphi_i(X)\}_1^S$ является ортонормированной. В этом случае

$$HW = IW = W$$

и, следовательно, будет выполняться равенство

$$W = M_X[\Phi(X)]. \quad (33)$$

Тогда итерационный алгоритм обучения критерию Байеса может быть записан следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} W_K &= W_{K-1} - (1/K)\{W_{K-1} - (\lambda_{11} - \lambda_{12})\varphi(X_n)\}, \\ &\text{если } q(X_n) = q_1; \\ W_K &= W_{K-1} - (1/K)\{W_{K-1} - (\lambda_{21} - \lambda_{22})\varphi(X_n)\}, \\ &\text{если } q(X_n) = q_2. \end{aligned}\right\} \quad (34)$$

K=1, 2,…, N, где N – объем обучающей последовательности.

Алгоритм (34) реализует метод стохастического градиента.

Литература

1. Беркетов Г.А. Прогнозирование остаточного ресурса и остаточного срока эксплуатации систем с неизвестным полным ресурсом эксплуатации//Математические методы решения инженерных задач. 2005. №1. с. 17-31.

2. Беркетов Г.А., Микрюков А.А., Федосеев С.В. Математическая модель поддержания надежности сложной технической системы на основе прогнозирующего параметра. Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании, г. Протвино, 2010, стр. 228-232.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОЧНО-ПОСТОВОГО МЕТОДА

Беркетов Г.А., Микрюков А.А., Федосеев С.В., Головко Д.В.
Институт компьютерных технологий Московского государственного университета экономики, статистики и информатики

Рассматривается задача оптимального планирования работ при техническом обслуживании комплекса агрегатов поточно-постовым методом.

Maintenance service process optimization at precisely-post method using. Berketov G.A., Mikryukov A.A., Fedoseev S.V., Golovko D.V.

The optimum scheduling problem is considered at maintenance service of the units complex by precisely-post method.

Постановка задачи

При построении модели процесса обслуживания используются следующие исходные данные:

$N = \{1,...,n\}$ - множество агрегатов, входящих в состав обслуживаемого комплекса;

$M = \{1,...,m\}$ - множество постов обслуживания;

$A = \|a_{ij}\|^{n \cdot m}$ - матрица времен обслуживания, элемент a_{ij} которой равен длительности обслуживания i -го агрегата на j -м посту.

Операцию, заключающуюся в обслуживании i -го агрегата на j -м посту, обозначим через (i, j), а время ее начала через t_{ij}. Расписание (календарный план) процесса обслуживания определяется набором переменных $\|t_{ij}\|$.

Задача заключается в нахождении расписания, минимизирующего общее время завершения всех операций $T = \max\limits_{(i,j)\in N\times M}(t_{ij} + a_{ij})$ и удовлетворяющего следующим ограничениям:

1) все агрегаты комплекса должны пройти обслуживание на каждом из постов;

2) в любой момент времени на каждом посту может обслуживаться не более одного агрегата;

3) каждый агрегат в произвольный момент времени может обслуживаться только на одном из постов;

4) все операции по обслуживанию агрегатов на постах выполняются без прерываний.

На порядок прохождения постов ограничения не накладываются, т.е. он может быть произвольным.

Алгоритм решения задачи

Для решения задачи используем алгоритм, реализующий общую схему метода энумерации [1,2]. При построении алгоритма вместо переменных t_{ij} более удобно использовать переменные $f_{ij} = t_{ij} + a_{ij}$. Поскольку предполагается, что все операции выполняются без прерываний, переменные f_{ij} обозначают моменты их окончания. Заметим, что набор переменных $\|f_{ij}\|$ аналогично набору $\|t_{ij}\|$ полностью определяет расписание.

Пусть для части операций расписание уже составлено; такое расписание будем называть частичным. Для хранения частичного расписания в алгоритме используется матрица переменных $F = \|f_{ij}\|$ и массив S, состоящий из записей вида (i, j), соответствующих включенным в расписание операциям.

Наряду с матрицей A в алгоритме используются дублирующие ее матрицы $A^{(1)}$ $A^{(2)}$. Первоначально $A^{(1)} = A^{(2)} = A$, но в ходе выполнения алгоритма матрицы $A^{(1)}$ и $A^{(2)}$ модифицируются. Элементы этих матриц, соответствующие операциям, включаемым в текущее частичное расписание, заменяются нулями. По сравнению с матрицей $A^{(1)}$ матрица $A^{(2)}$ может содержать дополнительные нули. Включение этих нулей в $A^{(2)}$ означает введение временных запретов на планирование соответствующих операций.

В алгоритме также используется специальный массив Z, имеющий следующую структуру. Массив состоит из элементов (записей), которые группируются в блоки переменной длины (поля записей). Каждая запись представляет собой упорядоченную пару индексов (i, j), идентифицирующих некоторую операцию. В поле Z_k вносятся операции, включение которых в частичное расписание на k -м уровне выбора запрещается. В связи с этим Z называется списком запретов.

Положим $\theta = \{\theta_1,...,\theta_m\}$ где θ_j - момент времени "высвобождения" j -го поста, занятого выполнением операций, вошедших в текущее частичное расписание. Аналогично $\tau = \{\tau_1, \tau_2,..., \tau_n\}$, где τ_i - момент окончания последней операции по обслуживанию i -го агрегата из числа вошедших в текущее частичное (или полное) расписание.

Пусть $C = \|c_{ij}\|$ - матрица размерности $n \times m$. Обозначим через $(C)_i$ и $(C)'_j$ соответственно i - ю строку и j - й столбец матрицы $\boldsymbol{C}$. Строку $(C)_k$ будем называть "плотной", если

$\sum_{j=1}^{m} c_{kj} = S\Gamma^*(C) = \max_{i\in[1\div n]}\left\{\sum_{j=1}^{m} c_{ij}\right\}$, т.е. сумма элементов "плотной" строки является максимальной. Аналогично определяется "плотный" столбец $(C)'_r$, для которого выполняется $\sum_{i=1}^{n} c_{ir} = SW^*(C) = \max_{j\in[1\div m]}\left\{\sum_{j=1}^{m} c_{ij}\right\}$.

В общем случае матрица C может содержать несколько плотных строк и столбцов. Множества индексов плотных строк и столбцов матрицы C обозначим соответственно через $\dot{I}(C)$ и $\dot{J}(C)$.

Правило μ выбора операции (l, r) для планирования на очередном шаге алгоритма формулируется следующим образом: 1) определить множества $\dot{I}(A^{(2)})$ и $\dot{J}(A^{(2)})$; 2) положить $l = \min\{ i \mid i \in \dot{I}(A^{(2)}) \}$, $r = \min\{j \mid j \in \dot{J}(A^{(2)})\}$.

Оценка снизу значения целевой функции для множества продолжений частичного расписания F вычисляется по формуле

$T_*(F) = \max\{f_i \mid i \in N\}$, где $f_i = \tau_i + S\Gamma^*(A^{(1)})$.

Наилучшее из найденных к текущему моменту полных решений называется рекордным и обозначается через F_R. Соответственно величина $R = T(F_R)$ называется рекордом.

Алгоритм.

1. Положить $\theta = 0, \tau = 0, A^{(2)} = A^{(1)} = A, F = F_R = 0, \quad R = \infty, \quad S = Z = 0, K = 1.$

2. Выбрать $(l,r) = \mu\{A^{(2)}\}$ и положить $f_{lr} = \max\{\tau_l, \theta_r\} + a_{lr}$, $\tau_l = \theta_r = f_{lr}$.

Внести операцию (l, r) в список S. Пересчитать матрицы $A^{(1)}$ и $A^{(2)}$:

$$a_{lr}^{(1)} = a_{lr}^{(2)} = 0,\ a_{lr}^{(2)} = a_{ij} \text{ для } \forall (i, j) \in Z_k.$$

3. Если F – полное решение $(k = nm)$, то перейти к блоку 8, иначе - к блоку 4.

4. Вычислить оценку $T_*(F)$ текущего частичного решения. Если $T_*(F) < R$, то положить $k := k + 1$ и перейти к блоку 2, иначе – к следующему блоку.

5. Пусть (p, h) - последняя запись в списке $\boldsymbol{S}$. Удалить (p, h) из S и приписать к Z_k. Пересчитать матрицы $A^{(1)}$ и $A^{(2)}$: $a_{pn}^{(1)} = a_{pn}, a_{pn}^{(2)} = 0, a_{ij}^{(2)} = 0$ для $\forall (i, j) \in Z$ и $a_{ij}^{(2)} = a_{ij}$ для $\forall (i, j) \in Z_{k+1}$. Если $Z_{k+1} \neq 0$, удалить Z_{k+1} из Z.

6. При $A^{(2)} = 0$ положить $k := k+1$ и перейти к следующему блоку. В противном случае перейти к блоку 2.

7. Если $k < 1$, закончить вычисления, иначе — вернуться к блоку 5. При окончании вычислений текущее рекордное решение F_k является оптимальным.

8. Для полученного полного расписания $\boldsymbol{F}$ вычислить значение целевой функции $T(F)$. Если $T(F) < R$, положить $R = T(F)$ и $F_R = F$. Перейти к блоку 5.

Литература

1. Беркетов Г.А. Метод энумерации для решения задач дискретного программирования.// Математические методы решения инженерных задач. М.-МО СССР, 1991.

2. Беркетов Г.А., Микрюков А.А., Федосеев С.В. Оптимизация технологических процессов обработки информации в АСУ., Сборник трудов Научно-практической конференции (ежегодная, с международным участием) «Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий» Инфо-2008, г. Сочи, 2008г. стр. 197-200.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 20ХН С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Бондарев А.А., Крайнев Д.В., Ингеманссон А.Р., Полянчиков Ю.Н., Азаматов П.А.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассматривается математическая модель, описывающая закономерности формирования шероховатости при точении с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности. В качестве представителя класса конструкционных углеродистых сталей выбрана Сталь 20.

Mathematical model of process of formation of the roughness when turning constructional carbonaceous steel 20XH with advancing plastic deformation. Bondarev A.A., Krainev D.V., Ingmansson A.R., Polyancikov Y.N., Azamatov P.A.

The mathematical model describing regularities of formation of a roughness at turning with the advancing plastic deformation (APD) on a processed surface is considered. Steel 20XH is chosen as the representative of a class constructional carbonaceous steels.

Конструкционные легированные стали широко применяются для изготовления деталей машин. В частности, операции обработки точением применяются в технологических процессах изготовления валов и других тел вращения, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости и качества поверхности. Повышение эффективности обработки точением конструкционных легированных сталей является актуальной задачей.

Резание с опережающим пластическим деформированием (ОПД), совмещающее стадии предварительного поверхностного пластического деформирования и последующего съема припуска на обработку режущим инструментом, является комбинированным методом обработки, позволяющим получить комплексный результат повышения эффективности процесса по перечисленным выше направлениям. Изменение физико-механических свойств обрабатываемого материала после стадии ОПД обусловливает формирование таких условий протекания физических процессов в зоне резания, которые способствуют снижению работы стружкообразования, нагрузок на режущий клин, улучшению условий контактного взаимодействия и формирования новой поверхности [1].

Исследованиями установлено, что точение конструкционных легированных сталей с ОПД по обрабатываемой поверхности позволяет значительно улучшить

микропрофиль получаемой поверхности и повысить производительность процесса резания. Так, при точении с ОПД конструкционной легированной стали 20ХН происходило снижение значения среднего арифметического отклонения профиля *Ra* до 2-х раз по сравнению с традиционной обработкой. Были выявлены резервы существенного повышения производительности процесса резания. Одинаковые значения *Ra* получались при традиционном точении на одних подачах и при резании на больших подачах предварительно продеформированного металла.

Для исследования закономерностей формирования шероховатости поверхности деталей из конструкционных легированных сталей при точении с ОПД, прогнозирования результатов процесса и расширения возможностей практического применения способа резания в свете представленных его преимуществ необходимо построить математическую модель влияния основных параметров обработки на качество получаемой поверхности.

Исследования выполнялись для чистового точения (глубина резания t=0,5 *мм*) конструкционной легированной стали 20ХН (сортовой прокат, состояние поставки, $\sigma_{0,2}$=590 *МПа*). Инструмент был представлен сменными многогранными твердосплавными пластинами формы W (α=0^o (ISO 1832-1991)); радиус сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок r=0,8 *мм*. Обработка выполнялась без смазочно-охлаждающих технологических сред. В качестве факторов, определяющих значение функции отклика (*Ra*), были выбраны: скорость резания, теплопроводность инструментального материала, подача и коэффициент ОПД.

$$K_{ОПД} = \frac{h_{нак}}{t}, \qquad (1)$$

где $h_{нак}$ – глубина наклепанного поверхностного слоя, *мм*;

t – глубина резания, *мм*.

Для исследований приняты, как наиболее часто рассматриваемые, математические модели следующих спецификаций: аддитивная (линейная) и мультипликативные (степенная и показательная).

Задача использования математических методов планирования экспериментов состоит в том, чтобы после реализации опытов получить математическое описание функции отклика в виде математической модели, связывающей эту функцию с варьируемыми факторами. Минимальный и достаточный объем статистической выборки, на основании которой выполняется моделирование, определяется в зависимости от спецификации модели и количества рассматриваемых факторов (в данном исследовании 4) и равен:

– для аддитивной модели: $k_{\min} = 2^n = 2^4 = 16;$ (2)

– для мультипликативных моделей $k_{\min} = 3^n = 3^4 = 81,$ (3)

где k_{min} – количество независимых опытов при полном факторном эксперименте;

n – число факторов.

Корректная оценка степени влияния факторов на характер и величину функции отклика возможна только при условии сопоставимости значений всех факторов и собственно целевой функции. Поскольку рассматриваемые факторы имеют различный масштаб, было выполнено нормирование исходных данных по правилам соответствующим регрессионным моделям различных спецификаций.

Средняя относительная погрешность (расхождение значений *Ra*, рассчитанных по модели и полученных опытным путем) линейной модели ниже аналогичных параметров степенной и показательной (8,59 % – линейная;13,98 % – степенная; 12,93 % – показательная), что является преимуществом. Степень влияния на шероховатость поверхности случайных факторов, выражаемая соответствующим

коэффициентом регрессии, у линейной модели равна по абсолютной величине -0,03, т. е. незначительна. У степенной и показательной моделей влияние случайных факторов характеризуется абсолютной величиной 0,24, что весьма существенно на фоне принятых в исследовании факторов. Таким образом, линейная модель облегчает дальнейший прогноз качества поверхности после токарной обработки с ОПД, так как позволяет сделать вывод о том, что наиболее значимое влияние на шероховатость оказывают именно скорость резания, теплопроводность инструментального материала, подача, ОПД.

Регрессионная математическая модель влияния основных параметров обработки резанием с ОПД на показатель среднего арифметического отклонения профиля Ra обработанной поверхности при точении конструкционной легированной стали 20ХН реализуется в виде следующей зависимости:

$$Ra = 3783{,}8 - 4{,}8 \times V + 44{,}5 \times \lambda + 5965{,}4 \times S_O - 712{,}4 \times K_{ОПД}, \qquad (4)$$

где V – скорость резания, *м/мин*;

λ – теплопроводность инструментального материала, *Вт/м·К*;

S_o – подача, *мм/об*;

$K_{ОПД}$ – коэффициент ОПД.

Эта формула позволяет рассчитать значение шероховатости при традиционном точении и с ОПД, т. е. спрогнозировать повышение эффективности процесса резания при изучаемом способе и учесть это в технологическом маршруте обработки. Диапазоны варьирования факторов (например, скорости резания 90-180 *м/мин*) и условия обработки для практического применения зависимости описаны выше.

Таким образом, создана математическая модель, описывающая закономерности формирования шероховатости при точении конструкционных легированных сталей с ОПД по обрабатываемой поверхности. Регрессионный анализ позволил выявить характер зависимости функции отклика и величину влияния каждого из факторов на нее. Предложена формула для расчета среднего арифметического отклонения профиля *Ra*, расширяющая возможности применения способа резания с ОПД в практике механической обработки.

Литература

1. Полянчиков Ю.Н. Совершенствование получистового и чистового точения нержавеющих и жаропрочных сталей путем использования опеежающего пластического дефомирования / Ю.Н. Полянчиков, Д.В. Крайнев, П.А. Норченко, А.Р. Ингеманссон; Науч. ред. А.П. Бабичев; ВолгГТУ – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 155 с.

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СРОКОВ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА НЕФТЕПРОВОДА

Босенко В.Н.

Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Данная статья посвящена описанию модели для управления и оптимизации сроков проекта строительства участка магистрального нефтепровода. Модель учитывает специфику отрасли и содержит действия для последовательного создания и управления расписанием.

Model of management and optimization project terms of construction oil pipeline. Bosenko V., Volgograd, VSTU

This article is devoted to the model description for management and optimization project terms of the construction main oil pipeline. The model considers specifics of branch and contains actions for consecutive creation and management of the schedule.

Управление строительством нефтепровода подразумевает деятельность по руководству и координации людских и материальных ресурсов, достижения в проекте результатов по составу и объему работ, их стоимости, времени и качеству выполнения к удовлетворению ожиданий участников проекта [1].



Рис. 1 - Общая структура разрабатываемой методологии

Для разработки методологии управления строительством МН, необходимо в первую очередь выделить ключевые модели, которые будут являться ее основой. Исходя из особенностей реализации проекта строительства нефтепровода и взаимоотношений Заказчика и Подрядчика, нужно разработать модели:

- Управление проектом;
- Управление задачами;
- Управление ресурсами;
- Управление сроками;
- Управление качеством;
- Управление рисками;
- Управление персоналом.

Каждая модель является отдельной частью методологии. В то же время, модели взаимосвязаны между собой для функционирования методологии вцелом. Они

пересекаются друг с другом как в функциональном, так и во временном отношении [2]. На рисунке 1 представлена структура разрабатываемой методологии: модели методологии с основными задачами.

Управление сроками проекта включает в себя процессы, обеспечивающие своевременное завершение проекта. Принимая во внимание особенности строительства нефтепровода крупнейшей компанией по транспорту нефти «ОАО АК«Транснефть» процессы управления сроками строительства МН должны включать в себя следующее:

1) **Определение состава задач** – определение конкретных плановых операций на всех этапах строительства нефтепровода.

2) **Определение взаимосвязей операций** – выявление и документирование зависимостей между плановыми операциями, взаимосвязи должны соответствовать технологической последовательности строительства.

3) **Оценка ресурсов операции** – оценка типов и количества ресурсов, необходимых для выполнения каждой плановой операции. Планирование количества ресурсов и их распределение описывает модель «Управление ресурсами».

4) **Оценка длительности выполнения задач** – оценка количества рабочих периодов, необходимых для выполнения отдельных операций.

5) **Разработка расписания** – составление расписания проекта с учетом технологической последовательностей выполнения операций строительства, их длительности, требований к ресурсам и ограничений на сроки.

6) **Управление расписанием** – процесс мониторинга статуса проекта для корректировки его исполнения и внесения изменений в базовое расписание.

Одной из особенностей строительства компанией «Транснефть» является то, что график выполнения работ согласовывается совместно с контрактом. Данный график содержит основные работы, время их начала и окончания. Поэтому команде проекта необходимо на основании этого графика и технологической последовательности работ разработать расписание, которое будет содержать детальный перечень всех работ, их длительность, требуемые ресурсы и т.д.

Процессы модели управления сроками проекта взаимодействует друг с другом, а также с другими моделями для обеспечения единой концепции управления строительством нефтепровода [2]. Каждый процесс происходит как минимум один раз – строительство проводится по контрактному графику без отклонения по срокам, отсутствуют внеплановые работы. В случае, когда происходит изменение проекта по каким-либо причинам, вышеуказанные процессы выполняются несколько раз.

В основе всех процессов управления сроками лежит план управления расписанием, который подсказывает что и когда необходимо делать [3]. На рисунке 2 представлена общая схема составления расписания.

Определение взаимосвязей операций, оценка ресурсов операций, оценка длительности операций и разработка расписания представлены как отдельные процессы, поскольку используют различные методы и средства.

1. Определение состава задач.

В качестве инструментов и методов возможно использование:

- Декомпозиция;
- Планирование методом набегающей волны;
- Шаблоны;
- Экспертная оценка.

Для исследуемой области рациональным будет использование декомпозиции. Декомпозиция позволяет:

– Отразить содержание проекта с высокой степенью детализации;

– Отслеживать ход выполнения проекта;
– Получить расписание выполнения проекта;



Рис. 2 - Общая схема составления расписания

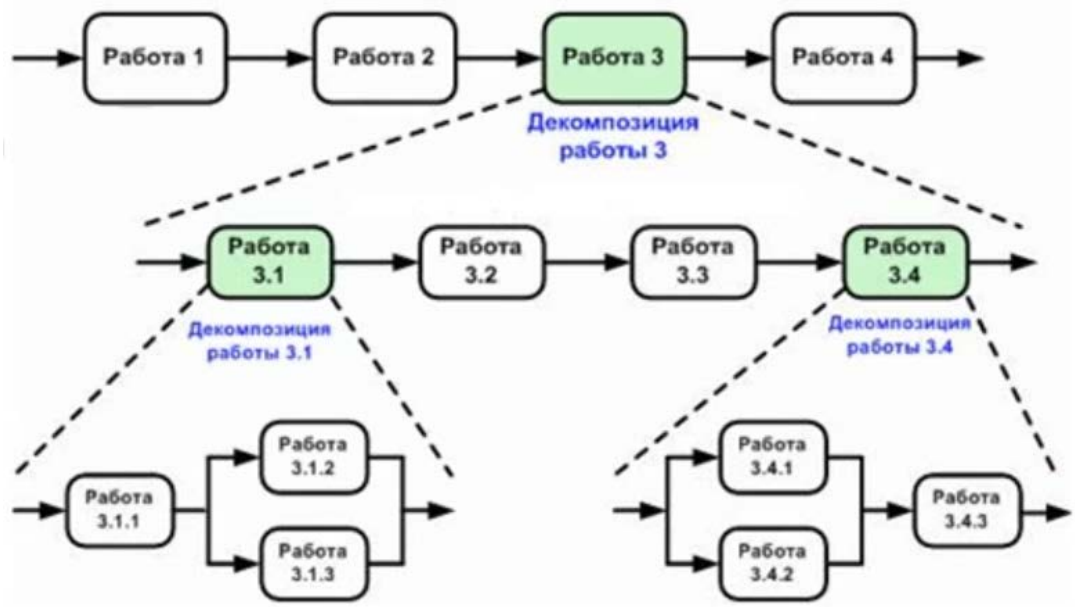


Рис. 3 – Пример декомпозиции работ.

2. Определение последовательности операций.

Это процесс определения и документирования взаимосвязей между операциями проекта. Каждая операция и контрольное событие, кроме первых и последних, связаны, по крайней мере, с одной предшествующей и одной последующей операцией.

Всвязи с жестко заданной технологической последовательность работ возможно лишь изменение последовательности «мелких» операций «внутри» конкретного вида работ. Полный перечень операций получается на предыдущем шаге с помощью

декомпозиции основных видов работ. Помимо перечня операций необходимо знать также параметры этих операций и описание содержание всего проекта.

Инструментами на данном этапе являются:

- Диаграммы предшествования;
- Определение зависимостей;
- Задержка и опережение.

Диаграмму предшествования можно выполнить двумя способами: «операции в узлах» (activity on node) (рисунок 4) или «операции в стрелках» (activity on arrow).

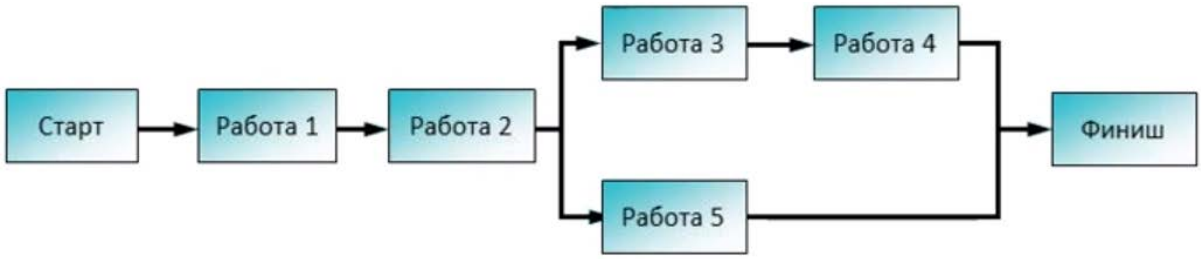


Рис. 4 – Пример диаграммы предшествования.

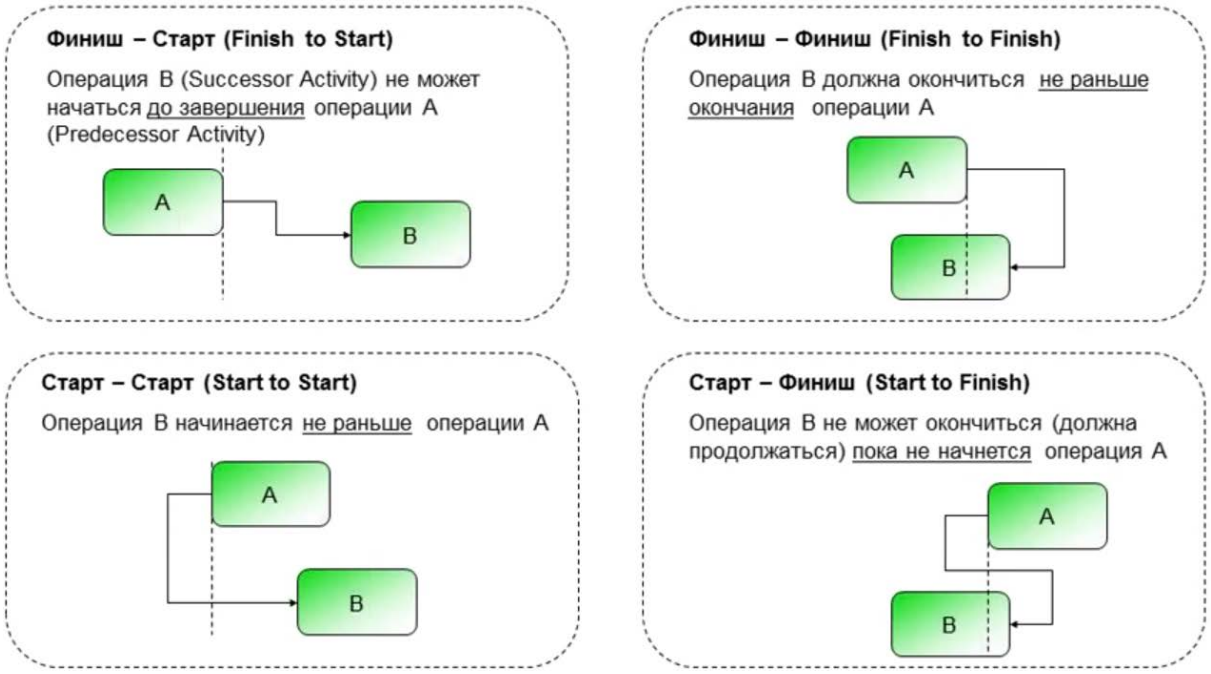


Рис. 5 – Примеры отношений операций.

Для определения вида зависимостей операций необходимо ориентироваться на основные виды зависимостей:

- Обязательные зависимости (жесткая логика) – требуются по контракту или являются неотъемлемым свойством выполняемой работы. Например, в строительстве нефтепровода невозможно произвести гидравлические испытания трубопровода без предварительного изолирования сварочных стыков.
- Дискреционные зависимости (предпочтительная логика) - устанавливаются на основе передовых методов организации работ в определенной прикладной области или в рамках необычного аспекта проекта, где предпочтительна особенная последовательность, хотя могут существовать и другие приемлемые последовательности.

• Внешние зависимости - включают взаимосвязи между операциями проекта и операциями вне проекта. Например, в проекте по строительству участка МН операция диагностирования сварочных стыков может зависеть от поставки специальной пленки сторонней организацией-поставщиком.

В проекте строительства нефтепровода существуют зависимости, которые могут потребовать опережения или задержки для точного определения логической взаимосвязи. Использование задержек и опережений не должно заменять логики расписания.

Опережение допускает ускорение сроков выполнения последующей операции. Задержка устанавливает отсрочку выполнения последующей операции. Например, приступить к гидравлическим испытаниям построенного участка трубопровода на герметичность возможно по истечению 12 часов после начала гидроиспытаний на прочность. Это может быть представлено в виде отношения «старт-старт» с 12-часовой задержкой.

Результатом определения взаимосвязи операций является сетевая диаграмма.

3. Оценка ресурсов операции.

Данная модель концепции управления строительством взаимодействуют с процессами из других моделей. Оценка ресурсов, их распределение на активные задачи и другие операции с ресурсами описаны в модели «Управление ресурсами» [4].

4. Оценка длительности выполнения задач.

Для оценки длительности операций возможно применение нескольких методов:

1)Экспертная оценка;
2)Оценка по аналогам;
3)Параметрическая оценка;
4)Оценки по трем точкам;
5)Анализ резервов.

Экспертные оценки основаны на получении оценки проблемы на основе мнения специалистов (экспертов) с целью последующего принятия решения.

Оценка по аналогам подразумевает использование таких параметров как длительность, бюджет, размер, вес и сложность из предыдущих подобных проектов в качестве основы для оценки тех же параметров или измерений будущего проекта. Оценка по аналогам обходится дешевле и занимает меньше времени, чем другие методы, но при этом она обычно оказывается и менее точной.

Параметрическая оценка использует статистические взаимосвязи между историческими данными и прочими переменными (например, количество пересечений проектируемого нефтепровода с коммуникациями) для численной оценки длительности.

Длительность операций может быть количественно определена путем умножения количества работ, которые необходимо выполнить, на количество рабочего времени, затрачиваемое на производство единицы работы. Данный метод может обеспечивать более высокую степень точности в зависимости от опыта и данных, лежащих в основе модели.

В основе метода оценки по трем точкам лежит рассмотрение неопределенностей оценок и рисков. Для оценки диапазона длительности операции PERT использует три оценки (рис. 6):

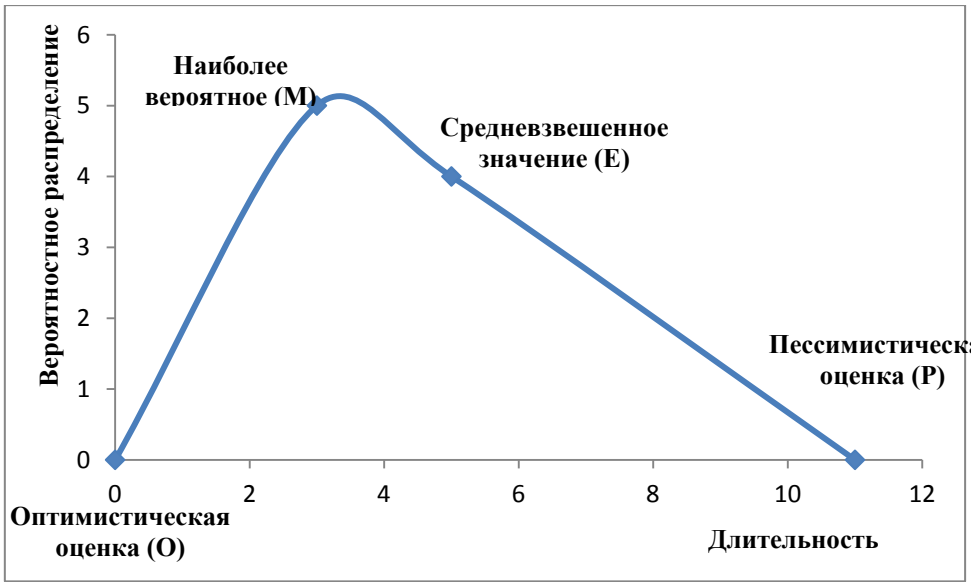


Рис. 6 – Пример работы метода оценки по трем точкам.

- Наиболее вероятная (M). Длительность операции определяется с учетом предварительного выделения ресурсов, их производительности, реалистичной оценки их доступности для выполнения данной операции, зависимости от других участников и задержек.
- Оптимистичная (O). Длительность операции основывается на анализе наиболее благоприятного сценария развития операции.
- Пессимистичная (P). Длительность операции основывается на анализе наиболее неблагоприятного сценария развития операции.

Анализ PERT позволяет определить ожидаемую (E) длительность операции с помощью вычисления среднего взвешенного этих трех оценок:

$$t_E = \frac{t_O + 4t_M + t_p}{6}$$

На основе анализа вышеуказанных методов можно сделать вывод, что для области строительства нефтепровода наиболее предпочтительным является метод оценки длительности по трем точкам. Данный метод позволяет найти наиболее вероятное значение искомого параметра.

Например, снятие плодородного слоя почвы при заданном объеме работ должно быть выполнено за 10 дней (M=10). В зависимости от природных условий и состояния технических ресурсов возможно, что O = 8, P = 15. Тогда средневзвешенное значение $t_E = \frac{8+4*10+15}{6} = 10{,}5.$

Оценки длительности могут включать в себя резервы на возможные потери в рамках общего расписания проекта строительства для устранения неопределенности расписания. Резерв на возможные потери может выражаться в процентах от оценочной длительности операции, в фиксированном числе рабочих периодов. По мере поступления более точной информации о проекте резервы на возможные потери могут быть использованы, сокращены или устранены.

5. Разработка расписания – процесс анализа последовательностей операций, их длительности, требований к ресурсам и временных ограничений для создания расписания проекта. Разработка приемлемого расписания проекта является итеративным процессом. Он определяет запланированные даты старта и финиша операций и контрольных событий проекта. Разработка расписания требует проведение

анализа и проверки оценок длительности и ресурсов для создания утвержденного расписания проекта, способного служить в качестве базового плана, по которому будет проходить отслеживание исполнения. Пересмотр продолжается на всем протяжении проекта по мере выполнения работ.

После выполнения вышеуказанных этапов появляется возможность для разработки расписания. Предварительно должны быть получены следующие исходные данные:

1) Список операций;
2) Параметры операций;
3) Сетевые диаграммы проекта;
4) Требования к ресурсам операций;
5) Ресурсные календари;
6) Оценки длительности операции;
7) Описание содержания проекта.

Процесс составления расписания подразумевает решение следующих методов:

1) Анализ сети;
2) Метод критического пути;
3) Метод критической цепи;
4) Выравнивание ресурсов;
5) Анализ сценариев «что если»;
6) Применение опережений и задержек;
7) Сжатие расписания.

В анализе сети применяются разнообразные аналитические методы, такие как метод критического пути, метод критической цепи, анализ сценариев «что если» и выравнивание ресурсов, позволяющие рассчитать даты раннего и позднего старта и финиша незавершенных частей операций проекта.

Метод критического пути позволяет рассчитать теоретические даты раннего старта и финиша, а также даты позднего старта и финиша для всех операций без учета ресурсных ограничений путем проведения анализа прохода вперед и назад по сети проекта. Полученные даты раннего старта и финиша не обязательно являются расписанием проекта; они скорее указывают периоды времени, в рамках которых может быть запланированы операции с учетом длительностей операций, логических взаимосвязей, опережений, задержек и других известных ограничений.

Выравнивание ресурсов представляет собой метод анализа сети, применяемый для расписания, которое уже было проанализировано методом критического пути. Выравнивание ресурсов может быть использовано, когда общие или критически важные необходимые ресурсы доступны только в определенное время или только в ограниченном количестве, или для поддержания использования ресурсов на постоянном уровне. [4]

Анализ вопроса: «Что произойдет, если ситуация будет развиваться по неопределенному сценарию» требует выполнение анализа сети, при котором с помощью заданной модели рассчитываются сценарии выполнения проекта. В данной работе прогнозирование сценариев проекта строительства проводится с помощью адаптированного алгоритма МГУА. В процессе адаптации метода группового учета аргументов применительно к области строительства нефтепровода был введен дополнительный внешний критерий, связанный с качеством и количеством информации о процессе строительства.

Сжатие расписания сокращает длительность проекта без изменения содержания проекта, временных ограничений, директивных дат или иных целевых параметров расписания. Существует несколько методов сжатия расписания:

- Сжатие (crashing) – привлечение дополнительных ресурсов для ускорения работ, находящихся на критическом пути. В строительстве это может достигаться путем назначения сверхурочных работ, ускорением поставок. Но сжатие всегда ведет к увеличению стоимости всего проекта.
- Быстрый подход – параллельное выполнение работ проекта, которые обычно выполняются последовательно.

6. Управление расписанием – процесс мониторинга статуса проекта для корректировки его исполнения и внесения изменений в базовое расписание проекта.

Процесс управления расписанием строительства включает в себя методы и инструменты разработки расписания, а также:

- Анализ исполнения проекта;
- Анализ отклонения проекта от расписания.

В процессе выполнения проекта важно определить текущее состояние проекта, управлять фактическими изменениями по мере их поступления и максимально возможно влиять на факторы, которые вызывают изменение расписания.

Анализ отклонения проекта от расписания включает в себя:

- Отклонение по срокам = ОО - ПО (разница между Освоенным и Плановым Объемами). Если данный показатель отрицательные, следовательно, идет задержка проекта по срокам.
- Индекс выполнения сроков = ОО / ПО.

Вывод: применение вышеуказанных методов управления сроками проекта позволяет корректировать процесс строительства, путем внесения изменений в расписание.

Литература

1. Босенко В.Н. Автоматизация процесса управления строительством нефтепровода. /Босенко В.Н., Кравец А.Г. // Сборник научных трудов sworld по материалам международной научно-практической конференции – 2012г, 90-93с.

2. Босенко В.Н. Разработка структуры методологии управления строительством нефтепровода. /Босенко В.Н., Кравец А.Г. // Сборник научных трудов III Международной научной конференции «Актуальные вопросы современной науки» - 2012г., 8-12с.

3. Кравец А.Г. Применение имитационного моделирования для оценки качества бизнес-планов инновационных проектов. /Кравец А.Г., Дроботов А.С. // Ннаучно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики – 2011г, 163-165с.

4. Босенко В.Н. Разработка методов управления ресурсами проекта строительства нефтепровода. /Босенко В.Н., Кравец А.Г. // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития информационного общества» - 2012г., 13-22с

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИИ MeshLogic ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Бушмелев П.Е., Плюснин И.И., Бушмелева К.И., *Увайсов С.У., **Дергунов Н.В.
*Сургут, Сургутский государственный университет, *Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ, **Сургут, ОАО «Сургутнефтегаз»*

Рассмотрено проектирование беспроводной системы мониторинга магистральных газопроводов на базе топологии MeshLogic. Совокупность различных аппаратных и программных средств системы по обнаружению утечек газа в реальном масштабе времени предназначена для автоматизированного получения данных о техническом состоянии газопроводов, передачи, обработки, централизованного накопления этих сведений, осуществления контроля и принятия управленческих решений, направленных на обеспечение безопасности и надежности эксплуатации объектов газотранспортной сети.

Application for design topology MeshLogic monitoring of gas pipeline. Bushmelev P.E., Plyusnin I.I., Bushmeleva K.I., Uvaysov S.U., Dergunov N.V.

Considered designing a wireless system for monitoring gas pipelines based on topology MeshLogic. A set of different hardware and software systems for the detection of gas leaks in real time is designed for automated data acquisition of the technical condition of gas pipelines, transmission, processing and centralized storage of information, control and decision making to ensure the safety and reliability of operation of the gas transmission network.

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.

Магистральные газопроводы (МГ) эксплуатируются в тяжелых условиях. С одной стороны, по ним транспортируется газ, который легко при утечке воспламеняется, с другой стороны, газопроводы проложены в неблагоприятных условиях (зачастую болото), с точки зрения развития коррозии и подвергаются, помимо прочего, резким температурным перепадам и другим внешним воздействиям.

Снижение аварийности является прямым следствием использования прогрессивных методов диагностики МГ и планово предупредительных работ, которые позволяют эффективно выявлять изношенные участки и устаревшее оборудование, а также своевременно определять места утечек газа. На сегодняшний наиболее эффективными являются дистанционные методы обнаружения утечек газа (например, с борта вертолета), где чаще всего используется лазерные и тепловизионные устройства. Но данные средства имеют недостатки, одним из которых является периодичность контроля.

В настоящей работе прилагается система автоматического мониторинга МГ, построенная на основе совокупности различных аппаратных и программных средств, предназначенных для автоматизированного получения данных о техническом состоянии (ТС) газопроводов (в первую очередь информация о предполагаемых местах утечек газа), передачи, обработки, централизованного накопления этих сведений, осуществления контроля и принятия управленческих решений, направленных на минимизацию последствий аварийных ситуаций [1].

Система мониторинга представляет собой сенсорную сеть, построенную на основе топологии MeshLogic, где в режиме реального времени производится сбор информации об утечках газа посредством распределенных в пространстве N одинаковых беспроводных измерительных модулей (БИМ). БИМ устанавливаются вблизи трубы, через определенное расстояние (около 100м), соединяются между собой беспроводной радиосвязью, образуя последовательную сеть приемопередающих устройств, передающих информацию от точки к точке посредством ретрансляции.

Под модулем следует понимать контроллер с подключенными датчиками, беспроводным передатчиком, источником питания и средствами для автономного существования. Модули, находящиеся в радиусе действия своих передатчиков, передают друг другу информацию с датчиков, формируя пакеты, которые пересылают на шлюз. Шлюз в свою очередь передает пакеты серверу, где происходит контроль полученных данных. В случае выхода из заданного диапазона происходит сигнализация о нештатной ситуации.

Хотя дальность работы БИМ ограничивается их мощностью, и достигает в среднем 100м, однако самоорганизация сети с использованием узловых точек для ретрансляции данных в режиме «каждый с каждым» позволяет увеличивать это расстояние до необходимого без участия специалистов, создавая тем самым зоны сплошного покрытия территории МГ от одной компрессорной станции до другой, что в свою очередь приводит к созданию самовосстанавливающегося сегмента широкополосной сети. Низкое энергопотребление таких устройств позволяет размещать модули, не заботясь о дополнительном подведении питания, ограничиваясь автономными питающими элементами (аккумуляторами), используя для их зарядки солнечные батареи.

Сложность системы мониторинга обуславливается высокой совокупностью различных технологий, которые необходимо применить для получения готового продукта. Такая система обладает большой мобильностью и возможностью установки в любом труднодоступном месте. Также несомненным плюсом является получение данных в реальном времени.

Архитектура системы мониторинга МГ состоит из трех основных уровней: клиентский уровень; серверный уровень; уровень беспроводных измерительных модулей [2].

На клиентском уровне архитектуры, система находится на web-сайте под управление CMS WordPress. На территории, покрываемой областью действия модулей беспроводной передачи данных, объединенных в единую сенсорную сеть, возможно подключение любого устройства (персонального компьютера - ПК, карманного персонального компьютера - КПК, ноутбука и др.) с установленным специализированным программным обеспечением (ПО), что в свою очередь позволит синхронизировать работу системы, обеспечивая получение необходимой информации с последующей ее обработкой.

На серверном уровне представлен web-сервер и сервер БД. Система обеспечивает связь цепочки БИМ – база данных (БД) - ПК. ПО выполнено в виде сервиса, написанного на языке программирования Java под Eclipse IDE, что обеспечивает не только быструю интеграцию с различными технологиями, но делает данную систему кроссплатформенной, в свою очередь БД реализуется с использование СУБД MySQL и хранилищ в формате XML.

БИМ представляет собой устройство, работающее от автономного источника питания и обладающее набором основных компонентов, работающее под операционной системой (ОС) реального времени TinyOS. ПО отвечает за работоспособность устройств, осуществляя прием и передачу данных.

Периодичность работы БИМ определяется работой следующих основных устройств, датчика газа (ДГ), источников питания (ИП) и модемом XBeePro. С целью оптимизации технических средств и с учетом режимов работы обслуживающего персонала рассмотрим посуточный алгоритм работы ДГ (рис. 1).

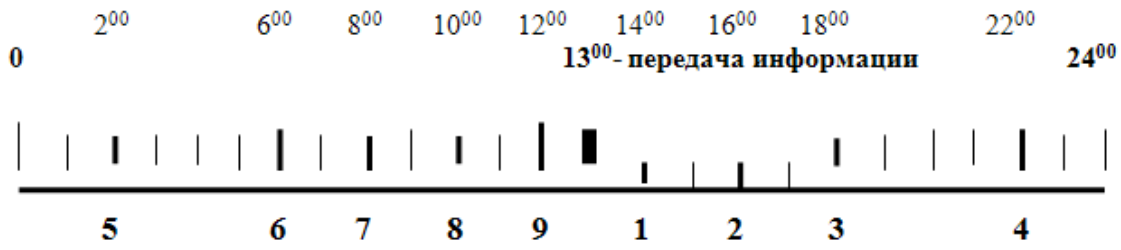


Рис. 1. Алгоритм работы ДГ

Из представленной схемы следует, что в светлое время суток (днем), когда солнечная энергия (СЭ) будет интенсивно заряжать ИП, ДГ будет включаться через каждые 2 часа, а в темное время суток достаточно трех тактов контроля, через 4 часа. В итоге ДГ будет работать в течение суток 9 раз, начало суточного цикла в 14^{00} часов, а его результат записываться и запоминаться в первом разряде информационного кода. В результате примем время работы ДГ равным 10 минут, при этом вовремя эксплуатации системы мониторинга это время можно оптимизировать.

Поскольку результат обнаружения утечки газа запоминается в контроллере модема XBeePro, то результат контроля за сутки достаточно передавать один раз, после девятого такта работы ДГ (после чего информационный код обнуляется), при дальнейшей эксплуатации данных устройств режим работы БИМ можно легко изменить.

Формат асинхронной последовательности передачи данных (кадр) БИМ содержит *n* (*n*=9) пересылаемых битов информации (в каждый такт работы ДГ соответствующий разряд записывается, при этом логическая «1» соответствует наличию утечки газа). 10бит адреса БИМ позволяет присвоить адреса 1000 шт. БИМ. Так, например, 13 дополнительных битов: 2 стартовых, 1 бит контроля четности, 2 разделительных и 8 стоповых битов, представлены в виде кода 10101010 (рис. 2).

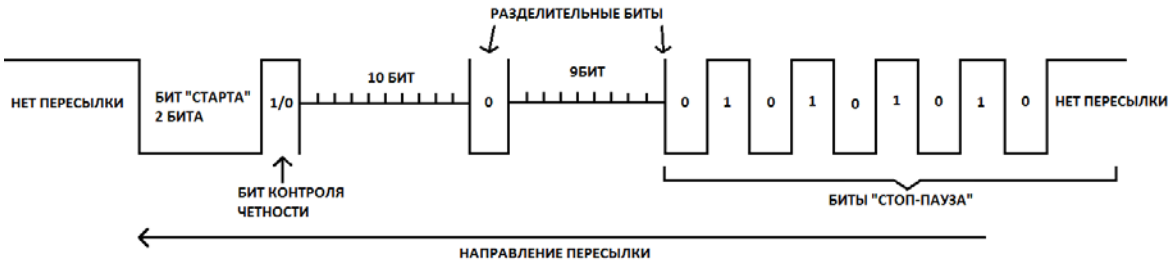


Рис. 2. Формат данных (кадр) БИМ

Разделительные биты, логический «0», определяют длины адреса и передаваемой информации. Стоповые биты представляют код 10101010 и выполняют дополнительную функцию «тайм-паузы» при ретрансляции данных. Таким образом, кадр передачи данных состоит из 32 бит (4 байтов).

Передача информации посредством модемов XBeePro, осуществляется в полудуплексном режиме, для уменьшения потребляемой мощности, в определенные моменты времени. От интервала между передачами зависит мощность выбираемых источников питания, таких например как солнечная батарея.

В связи с тем, что модем XBeePro из всех устройств БИМ потребляет наибольшую мощность в основных режимах «приема – передачи», актуальным становится расчет максимального времени работы БИМ в этих режимах.

Поскольку размер всех кадров одинаков, то объем информации передаваемой, а также принимаемой, от одного БИМ к другому будет все время увеличиваться на один кадр, при этом объем передаваемой и принимаемой информации в сети будет одинаков. В результате проведенных расчетов для системы мониторинга было получено, что при количестве БИМ, рассматриваемых на участке МГ, равном N=500:

- информация, передаваемая первым БИМ1, т.е. размер 1 кадра, равна a_1=32бит, тогда размер для a_N определяется как $a_N=a_1+(N-1)d=d*N$, где d - шаг прогрессии, в нашем случае $d=a_1$. При этом информация, передаваемая БИМ500, составляет a_N=500*32=16000бит;
- объем информации, передаваемой системой через все БИМ, составляет $S_N=((a_1+a_N)/2)*N=((32+16000)/2)*500\tilde{}4*10^6$бит.

Таким образом, беспроводные модули с заданным периодом выполняют нормализацию и аналого-цифровое преобразование сигналов с подключенных к ним датчиков и устройств, а также осуществляют их первичную обработку. Далее полученные результаты в виде пакета с цифровыми данными порядка $4*10^6$бит передаются в точку сбора информации по радиоканалу.

Данная система для информационной поддержки обслуживающего персонала газотранспортного предприятия базируется на использовании современных технологий беспроводной передачи данных MeshLogic [3]. Выбор беспроводной связи для передачи информации между датчиками и серверной, куда будет стекаться вся информация со всех БИМ, объясняется сложностью прокладки и высокой вероятностью механических повреждений кабельных линий связи в труднодоступных районах эксплуатации МГ.

Понятие топология Mesh определяет принцип построения сети, отличительной особенностью которой является самоорганизующаяся архитектура, реализующая следующие возможности: создание зон сплошного информационного покрытия большой площади; масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации; использование беспроводных транспортных каналов для связи точек доступа в режиме «каждый с каждым»; устойчивость сети к потере отдельных элементов.

Топология Mesh основана на децентрализованной схеме организации сети, в отличие от типовых сетей 802.1 1a/b/g, которые создаются по централизованному принципу. Точки доступа, работающие в Mesh-сетях, не только предоставляют услуги абонентского доступа, но и выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других точек доступа той же сети. Благодаря этому появляется возможность создания самоустанавливающегося и самовосстанавливающегося сегмента широкополосной сети.

Чаще всего Mesh-сети строятся как совокупность кластеров, в результате территория покрытия разделяется на кластерные зоны, число которых теоретически не ограничено. В одном кластере размещается от 8 до 16 точек доступа. Одна из таких точек является узловой и подключается к магистральному информационному каналу с помощью кабеля (оптического либо электрического) или по радиоканалу (с использованием систем широкополосного доступа). Узловые точки доступа, так же как и остальные точки доступа в кластере, соединяются между собой (с ближайшими соседями) по транспортному радиоканалу. В зависимости от конкретного решения точки доступа могут выполнять функции ретранслятора (транспортный канал) либо функции ретранслятора и абонентской точки доступа. Особенностью Mesh является использование специальных протоколов, позволяющих каждой точке доступа создавать таблицы абонентов сети с контролем состояния транспортного канала и поддержкой

динамической маршрутизации трафика по оптимальному маршруту между соседними точками. При отказе какой-либо точки доступа происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку передаваемой информации за минимальное время.

Процедура расширения сети в пределах кластера ограничивается установкой новых точек доступа, интеграция которых в существующую сеть происходит автоматически.

В качестве недостатка подобных сетей можно отметить то, что они используют промежуточные пункты для передачи данных, это в свою очередь может вызвать задержку при пересылке информации и, как следствие, снизить качество трафика реального времени. В связи с этим существуют ограничения на количество точек доступа в одном кластере.

Вопросы безопасности сетей (защита от нелегальных подключений) сегодня являются весьма актуальными. Безопасность Mesh-сетей обеспечивается в рамках спецификаций стандарта 802.11. Принятие стандарта 802.11i (WPA2) делает доступной более безопасную схему аутентификации и кодирования трафика. Стандарт IEEE 802.11i предусматривает использование в продуктах Wi-Fi таких средств, как поддержка алгоритмов шифрования трафика: TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), WRAP (Wireless Robust Authenticated Protocol) и CCMP (Counter with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol). Конечно, данных алгоритмов достаточно для защиты на уровне абонентского трафика, но на уровне корпоративного пользователя используются дополнительные механизмы, включающие более совершенные способы аутентификации при подключении к сети. Например, такие как, криптостойкие методы шифрования, динамическая замена ключей шифрования, использование персональных межсетевых экранов, мониторинг защищенности беспроводной сети и т.д.

Преимущество данной системы состоит в том, что созданная на базе таких устройств последовательная беспроводная сеть позволяет: быстро развернуть ее на любом участке МГ; оперативно получать и передавать информацию об утечках газа; в случае обнаружения утечки производить выезд ремонтной бригады и осуществлять ликвидацию повреждений; проводить мониторинг и контроль технического состояния объектов.

Литература

1. Бушмелев, П.Е. Беспроводная система мониторинга магистральных газопроводов / П.Е. Бушмелев // Новые информационные технологии: тезисы докладов XVIII международной студенческой конференции – школы-семинара. – М.: МИЭМ, 2010. – С. 181 – 182.

2. Алгоритм выбора технических средств для беспроводной системы мониторинга газопроводов / П.Е. Бушмелев, С.У. Увайсов, К.И. Бушмелева, И.И. Плюснин, Е.В. Назаров // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: материалы межд. науч.-практ. конф. - М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2012. – С. 338 - 342.

3. Осипов, И.Е. Mesh сети: технологии, приложения, оборудование / И.Е. Осипов // Технологии и средства связи. – 2006. - №4. – С. 38 – 45.

ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ СИСТЕМА АСПИРАЦИИ НА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Вандышев А.С.
Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал) ФГБОУ ВПО Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Двухступенчатая система аспирации представляет собой единое целое с точки зрения эффективности газоочистки; отсутствие одного из узлов приводит к ее значительному снижению. Применение же фильтроэлемента для очистки не усложняет конструкцию и незначительно повышает стоимость циклона и его обслуживание.

Two-stage system of aspiration in wood-processing enterprises. Wandishew A.S.
The proposed two-stage system of aspiration is a single whole from the point of view of the efficiency of gas purification; the absence of one of the nodes leads to the significant reduction. Applying the same filter screen for the treatment does not complicate the design and slightly increases the cost of the cyclone and its maintenance.

На современном этапе развития все предприятия сталкиваются с проблемой очистки своего производства от пыльных выбросов и отходов. Процесс производства изделия, в любой сфере промышленности (деревообрабатывающая, химическая, целлюлозно-бумажная, пищевая и т.д.), всегда связан с загрязнением воздуха. Для очистки воздуха рабочей зоны существуют системы аспирации и средства пылеулавливания.

Назначением системы аспирации является предотвращение распространения вредных выбросов от источника в воздух рабочей зоны. Тип аспирационных систем выбирается в зависимости от принятой компоновки технологического оборудования, подлежащего аспирации.

Качество обработки на деревообрабатывающих производствах возможно только в том случае, если система аспирации - пылеудаления является качественной и надежной. Работа любого деревообрабатывающего станка сопровождается выделением большого количества древесных отходов (стружка, опилки, пыль), поэтому система аспирации - непременный атрибут деревообрабатывающих производств.

Система аспирации может иметь неограниченное число вариантов, отличающихся друг от друга конструктивными особенностями и оборудованием. Выбор того или иного класса систем определяется технологическими и технико-экономическими соображениями. Основным показателем, характеризующим работу пылеулавливающих агрегатов в конкретных условиях их применения, является степень очистки от пыли, которая зависит как от качества пылеулавливающих агрегатов, так и от производительности (м3 воздуха в час), которая, в свою очередь, напрямую зависит от скорости воздушного потока.

Основное требование к системам аспирации по качеству очистки воздуха выполняют пылеулавливающие агрегаты, которые отличаются по конструктивному исполнению.

Установка дополнительных ступеней инженерно - экологических систем сопровождается возрастанием капитальных вложений и эксплуатационных затрат, а также сокращением производственных площадей. Кроме того, к недостаткам существующих систем пылеочистки следует отнести интенсивное пылевыделение, наблюдаемое при выгрузке уловленного продукта из бункеров пылеулавливающих аппаратов. Это приводит к загрязнению прилегающих территорий (при размещении

инженерно - экологического оборудования на промплощадке или на кровле производственного здания) или к выносу пыли в атмосферный воздух системами общеобменной вытяжкой вентиляции (при расположении пылеуловителей в производственных помещениях).

Таким образом актуальным решением задачи является компоновка инженерно-экологических систем, позволяющих обеспечить высокую эффективность пылеулавливания при минимальных затратах материальных ресурсов.

Циклон – аппарат, используемый в промышленности для очистки газов или жидкостей от взвешенных частиц. Их широкое распространение обусловлено простотой устройства циклона, надежностью в эксплуатации, и небольших капитальных и эксплуатационных затратах.

Несмотря на это, особенности работы циклона не позволяют производить очистку газа (воздуха) в полной мере. Некоторые частицы все же попадают в выхлопную трубу циклона, снижая тем самым качество очищенного газа (воздуха). Данную проблему можно решить, установив в выхлопную трубу противоточного циклона фильтроэлемент из базальтового волокна, образуя при этом двухступенчатую систему очистки. Первая ступень – максимально возможное осаждение частиц пыли в противоточном циклоне (центробежный пылеосадитель); вторая ступень – фильтрация с выпуском очищенного воздуха в атмосферу.

Основная идея работы состоит в компоновке двух систем: противоточного циклона и фильтроэлемента (рис.1).

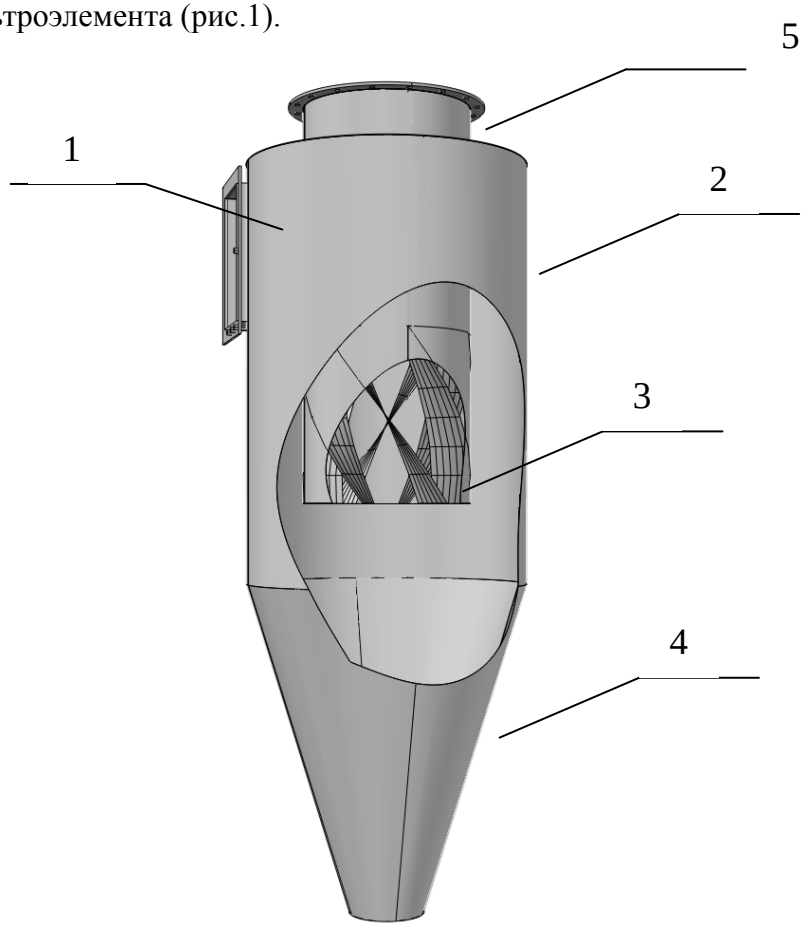


Рисунок 1. Двухступенчатая система аспирации: 1- входной патрубок, 2 - цилиндрический корпус, 3 – дозакручиватель (специальной конфигурации), 4 - коническое днище, 5 – выхлопная труба с фильтроэлементом

На первой ступени в качестве пылеотделителя применяется противоточный циклон, состоящий из корпуса, входного патрубка, выхлопной трубы с дозакручивателем, представляющим собой пластины, изогнутые таким образом, что при переходе газовоздушной смеси из цилиндрического корпуса аппарата в выхлопную трубу воздух дозакручивается, создавая центробежную силу и отбрасывая более мелкие частички пыли, унесенные в выхлопную трубу, на фильтроэлемент, установленный в выхлопной трубе, и конического днища с бункером-пылесборником. На второй ступени системы – базальтовый фильтроэлемент.

После первой ступени содержание пыли в воздухе составляет 30мг/м^3, что не позволяет выпускать воздух в помещение или атмосферу без дополнительной очистки. Для доочистки воздуха (газа) до требуемых норм используется фильтроэлемент из базальтового волокна.

Ввиду широкой распространенности систем аспирации в промышленности, существует множество различных видов циклонов и фильтров, однако, их модернизация часто связана с усложнением конструкции и соответственно и стоимости аппарата. Предложенная двухступенчатая система аспирации представляет собой единое целое с точки зрения эффективности газоочистки; отсутствие одного из узлов приводит к ее значительному снижению. Применение же фильтроэлемента для очистки не усложняет конструкцию и незначительно повышает стоимость циклона и его обслуживание.

Анализ проблемы обеспыливания воздуха в системах аспирации и пневмотранспорта на деревообрабатывающих предприятиях свидетельствует об ее актуальности и целесообразности решения, путем создания двухступенчатой системы аспирации.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ТОРМОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Внуков А.А., Шраим Л.М.А.
Москва, РУДН

В статье рассматриваются математические модели и принципы интеллектуализации цифрового управления электроприводом в режиме электродинамического торможения. Разрабатывается структурная схема системы интеллектуального управления с применением методов нечеткой логики управления быстропротекающими процессами, позволяющая провести моделирование и рекомендовать принцип нечеткого управления и возможность обеспечения эксплуатации частотно-регулируемого привода асинхронного электродвигателя (АД) без перегрева обмоток.

Intellectualization digital control system dynamic brake electric industrial robot. Shraim L.M.A., Vnukov A.A.

The article deals with the mathematical model and the principles of intellectualization of digital motor control mode electrodynamic braking. Developed a structural diagram of the intelligent control with the use of fuzzy logic control fast processes, which allows to model and encourage the principle of fuzzy control and the ability to support the operation of the variable frequency drive AC motors (BP) without overheating the windings.

Введение

Системы искусственного интеллекта можно разделить на интеллектуальные и интеллектные системы. Способность самостоятельно формировать цель функционирования объекта относят к интеллектуальным системам. Постановка цели экспертом характерна для интеллектных систем. Интеллектуальные автономные подсистемы могут использоваться при целенаправленном согласованном управлении в режиме масштаба реального времени интеллектуальными объектами с различным уровнем сложности и характером решаемых задач. Нечеткий контроллер воспроизводит в них логический механизм и действия эксперта оперативно с учётом специфики управления объектом.

Необходимо решить задачу моделирования системы интеллектуального управления АД для режима электродинамического торможения с выделением значительной тепловой энергии, не позволяющей эксплуатировать электропривод в нормальном режиме, с использованием включения в контур управления нечеткого контроллера, на вход которого подаются температура и скорость изменения температуры, а на выходе получается скорость вращения вентилятора, охлаждающего электродвигатель.

Областью применения являются промышленные роботы, станки с числовым программным управлением, мехатронные системы.

Электрический привод промышленного робота

Электрический привод широко применяют в промышленных роботах. Современные электроприводы промышленных роботов являются приводами с высокомоментными двигателями постоянного тока, бесколлекторными двигателями постоянного тока, силовыми шаговыми двигателями и реже асинхронными двигателями.



Рис. 1. Промышленный робот Kawasaki FS03N с шестью вращательными электроприводами в режиме ручного управления в РУДН

Электроприводы промышленных роботов имеют малые моменты до 0,05 Нм, высокую максимальную частоту вращения до 15000 об/мин, уменьшенную инерцию двигателей со встраиваемыми электромагнитными тормозами, датчиками, механическими и волновыми передачами.

Функциональна схема электропривода

Электропривод промышленного робота представляет собой комплекс приводов, каждый из которых управляет отдельной степенью подвижности. Наиболее распространенная функциональная схема электропривода промышленного робота представлена на рис. 2.

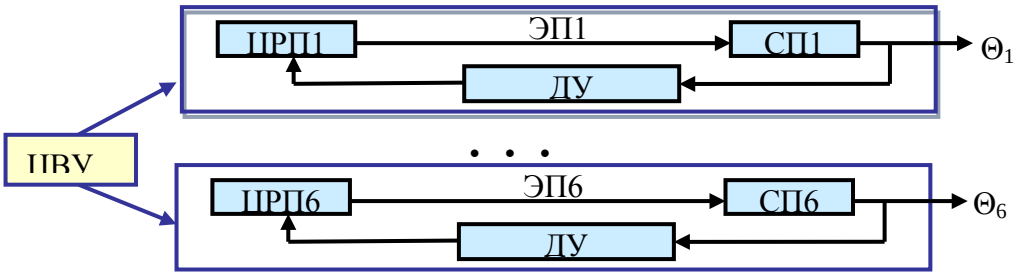


Рис. 2. Функциональная схема управления электроприводами робота

Промышленный робот с 6 обобщенными угловыми $\theta_1,\ldots,\theta_6$ или линейными координатами $S_1,\ldots,S_6$ обладает 6 степенями подвижности. Все 6 электроприводов (ЭП) управляются от общего центрального вычислительного устройства (ЦВУ) системы программного управления (СПУ) промышленного робота. ЦВУ выдает сигналы на 6 цифровых регуляторов положения (ЦРП) отдельных приводов. ЦРП управляют 6 сервоприводами (СП) в соответствии с сигналами ЦВУ и датчиков угла (ДУ).

Функциональная схема сервопривода промышленного робота с 6 обобщенными угловыми $\theta_1,\ldots,\theta_6$ координатами, в состав которого входит электродвигатель (ЭД), является сложным и ответственным устройством (рис. 3).

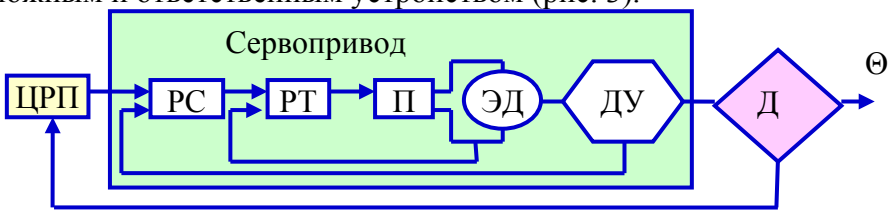


Рис. 3. Функциональная схема сервопривода промышленного робота.

В схеме аналогово-цифровой системы автоматического управления сочетаются преимущества комбинированной аналоговой трехконтурной системы подчиненного каскадного регулирования с достоинствами цифровой системы с высокой точностью и удобством программирования.

Первый контур образован ЭД с преобразователем (П) и регулятором тока (РТ). Во второй контур входят датчик угловой скорости (ДУС) и регулятор скорости (РС). В третий контур дополнительно входят ДУ и ЦРП.

Поскольку сигнал об изменении угловой (линейной) скорости может быть вычислен в ЦРП путем дифференцирования сигнала с ДУ (датчика линейной координаты), то применение ДУС (ДКС) не всегда требуется.

Функциональные схемы на рис.2 и 3 показывают, что независимо от схемы электропривод промышленного робота состоит из устройств:

– исполнительного элемента (электродвигателя);

– преобразователя с регуляторами тока, скорости и угла;

– датчиков обратной связи по току, скорости и углу.

Математическая модель АД для исследования режимов торможения электропривода

Математическая модель асинхронного электродвигателя (АД) в уравнениях (1-3) составлена для варианта двухмассовой модели, приведенной к эквивалентной одномассовой модели, где

$$\begin{cases} V_{qs} = R_s i_{qs} + \dfrac{d}{dt}\varphi_{qs} + \Omega\varphi_{ds} \\ V_{ds} = R_s i_{ds} + \dfrac{d}{dt}\varphi_{ds} - \Omega\varphi_{qs} \\ V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + \dfrac{d}{dt}\varphi'_{qr} + (\Omega - \Omega_r)\varphi'_{dr} \\ V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \dfrac{d}{dt}\varphi'_{dr} - (\Omega - \Omega_r)\varphi'_{qr} \\ T_e = \dfrac{3}{2} pL_m(\varphi_{ds} i_{qs} - \varphi_{qs} i_{ds}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \varphi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \\ \varphi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr} \\ \varphi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs} \\ \varphi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds} \\ L_s = L_{ls} + L_m \\ L'_r = L'_{lr} + L_m \end{cases} \quad (2)$$

(2).

(1)

Уравнения механической части системы записываются следующим образом:

$$\frac{d}{dt}\Omega_m = \frac{p}{J}(T_e - F\Omega_m - T_m - T_L), \text{ где } \frac{d}{dt}\theta_m = \Omega_m \quad (3)$$

При динамическом торможении электропривода происходит изменение динамического момента на валу АД. Уравнения (1- 3) не учитывают изменений в динамическом моменте на валу АД при подаче постоянного тока управления в обмотки статора АД. Это влияние вводится в математическую модель дополнением ее уравнениями (4- 5) с отражением фактора влияния меняющихся параметров в указанных зависимостях.

$$T_L = \frac{3I^2 L^2_m R'_2}{(1-s)\Omega_n\left[\left(\dfrac{R'_2}{1-s}\right)^2 + (L_m + R'_2)^2\right]} \quad (4)$$

(4)

$$I_{\Pi} = \frac{1}{\sqrt{3R'_r L_m}} \sqrt{\frac{3V_n R'_r (1-s)\Omega_n \left(\dfrac{R'_r}{1-s}\right)^2 + (L_m + R'_r)^2}{s\Omega_n\left[\left(R_s + \dfrac{R'_r}{s}\right)^2 + (R_s + R'_r)^2\right]} - T_e(1-s)\Omega_n\left[\left(\dfrac{R'_r}{1-s}\right)^2 + (L_m + R'_r)^2\right]} \quad (5)$$

(5)

В уравнениях (1-5) введены следующие обозначения:

R_s, L_{ls} – активное сопротивление и индуктивность рассеяния статора;

R'_r, L'_{lr} – активное сопротивление и индуктивность рассеяния ротора;

L_m – взаимная индуктивность между статором и ротором;

L_s, L'_r – полная индуктивность статора и ротора;

V_{qs}, i_{qs} – проекция напряжения и тока статора на ось q;

V_{qr}, i'_{qr} – проекция напряжения и тока ротора на ось q;

V_{ds}, i_{ds} – проекция напряжения и тока статора на ось d;

V'_{dr}, i'_{dr} – проекция напряжения и тока ротора на ось d;

$\varphi_{qs}, \varphi_{ds}$ – проекции магнитного потока статора на оси q и d;

$\varphi'_{qr}, \varphi'_{dr}$ – проекции магнитного потока ротора на оси q и d;

Ω_m – угловая скорость вращения ротора;

θ_m – угол поворота ротора;

P – число пар полюсов;

Ω_r – электрическая угловая скорость ($\Omega_m \times p$);

θ_r – электрический угол поворота ротора ($\theta_m \times p$);

T_e – электромагнитный момент;

T_m – момент нагрузки;

J – приведенный момент инерции;

H – приведенный коэффициент инерции;

F – коэффициент трения;

T_L – тормозной момент, обусловленный протеканием постоянной составляющей тока статора в режиме двухтокового динамического торможения;

$I_п$ – постоянная составляющая тока статора в режиме двухтокового динамического торможения;

s – скольжение.

Электромагнитный момент торможения от постоянного тока управления задается по уравнениям (4) и (5) и подается на вход блока управления асинхронного двигателя в момент начала торможения. Такой принцип торможения позволяет поддерживать постоянным ускорение торможения и возможность точной остановки позиционного привода мехатронной системы промышленного робота в заданной точке. При этом угловая скорость вращения Ω АД изменяется с изменением или сохранением момента M_H.

Режим двухтокового динамического торможения АД

Объектом повышенного внимания исследования является двухтоковый электродинамический принцип торможения частотно-регулируемого привода АД в сочетании с частотным управлением и подмагничиванием обмоток статора постоянным током от дополнительного управляемого источника. Двухтоковое торможение основано на совмещении торможений противовключением и динамического торможения. Оно достигается одновременным введением в двигатель переменного и постоянного токов.

При установившейся скорости движения исполнительного механизма привода $M_H = M_C$ (момент нагружения M_H равен статическому моменту M_C) скорость вращения вала АД составляет $\Omega_B=\Omega_H$. Режим торможения начинается с плавного понижения частоты f_M и напряжения U_M питания АД согласно закону изменения напряжения U_M и частоты f_M на выходе автономного инвертора напряжения (АИН): U_M/f_M=const, чтобы не было динамических ударов в системе электропривода и исполнительном механизме. Затем включается режим динамического торможения АД, пульсирующий постоянный ток подается в обмотки статора АД, находящегося в состоянии двухтокового торможения с плавным формированием тормозного момента $-M_{T1}$ и плавным снижением угловой скорости вращения Ω. В этих двух режимах плавные переходы изменения скорости определяются постоянной времени нарастания постоянного тока в обмотке управления. Далее изменение скорости реализуется при постоянном тормозном моменте $-M_{T1}$ и постоянном ускорении торможения $-\varepsilon_T$. На следующем участке торможения АИН развивает момент вращения на валу АД за счет уменьшения тормозного момента при уменьшении тока подмагничивания $I_П$. Ползучая низкая частота вращения n и угловая скорость вращения Ω продолжают снижаться под активным моментом на валу АД. АД из тормозного режима переходит в двигательный режим на ползучей скорости. На этом отрезке торможения при возрастании момента возможен плавный разгон АД и приводной системы без динамических ударов. На последнем режиме торможения АД алгоритм работы АИН снижает скорость до полной остановки электропривода мехатронной системы программным формированием

вектора магнитного поля статора с отставанием на 1-2 электрических градуса от вектора магнитного потока поля ротора.

Особенностями двухтокового динамического торможения АД являются:

1) режимы торможения соответствуют рассчитанным отрезкам перемещений приводов;

2) одновременное использование частотного принципа торможения путем снижения (по пропорциональному закону Um/fm= const.) частоты и напряжения питания АД и двухтокового динамического торможения с регулированием постоянного тока в обмотках статора;

3) для постоянства момента и ускорения на участке торможения регулирование величины постоянной составляющей тока статора зависит от текущих значений частоты f и напряжения U питания АД от АИН;

4) плавные переходы угловой скорости вращения ротора Ω и момента на валу АД достигаются постоянной времени нарастания постоянного тока в обмотке управления.

Регулирование напряжения и частоты АИН по заданному закону задает плавность торможения АД, но не решает задачу его эффективного торможения при увеличении тепловых потерь в статоре и роторе и меняющихся температурных условиях окружающей среды. Интенсивную эксплуатацию частотно-регулируемого привода при сильно меняющейся температуре окружающей среды без перегрева изоляции обмоток АД может обеспечить интеллектуальная система управления.

Математическая модель АД для исследования температурных режимов

АД является сложной термодинамической системой с неоднородными тепловыми параметрами, с внутренним тепловыделением и сложной внутренней циркуляцией тепловых потоков.

Для анализа тепловых процессов в АД используем допущения из работ [3,4], а также [2]:

- АД имеет бесконечную большую теплопроводность и одинаковую температуру по всему объему;
- величина теплового обмена АД с окружающей средой пропорциональна разности температур двигателя и окружающей среды;
- линейность тепловой модели, т.к. тепловые параметры АД и окружающей среды постоянны и не связаны с температурой двигателя;
- потери в обмотках и в стали сердечников статора и фазного ротора создают одинаковый греющий эффект;
- потери в активной части сердечников отводятся их цилиндрической поверхностью;
- потери в лобовых частях обмоток статора и фазного ротора отводятся цилиндрической поверхностью лобовых частей обмоток.

Допущения позволяют записать первую тепловую модель в виде линейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$Cm\frac{d\Theta}{dt} = P_{\Gamma} - (\alpha_{\Pi} + k_1)S_{\Pi}\Theta \quad (6)$$

$$P_{\Gamma} = \left(i^2_{qs} + i^2_{ds}\right)R_s(\Theta) + \left(i'^2_{qr} + i'^2_{dr}\right)R'_r(\Theta) \quad (7)$$

$$R_s(\Theta) = R_{s0}(1 + \alpha_s\Theta) \quad (8)$$

$$R'_r(\Theta) = R'_{r0}(1 + \alpha_r\Theta) \quad (9)$$

Уравнения (6 - 9) называются уравнениями теплового баланса, где:

Θ – разность температуры АД с окружающей средой;

C – удельная теплоемкость;

m – масса АД;
$P_Г$ – электрические потери;
$\alpha_Л$ – коэффициент теплоотдачи;
$S_Л$ – площадь АД;
α_s – температурный коэффициент сопротивления статора;
α_r – температурный коэффициент сопротивления ротора;
R_{s0} – сопротивление статора при температуре 20°С;
R'_{r0} – сопротивление ротора при температуре 20°С;
k_1 – коэффициент самовентиляции;

Применение метода интеллектуализации системы управления АД

Дадим обоснование выбора метода интеллектуального управления АД. Тепловые расчеты АД обладают невысокой точностью, связанной с трудностью измерения температуры машины. Температуру АД необходимо регулировать применением дополнительной вентиляции, и поддерживать ее в допустимом диапазоне значений, чтобы приводная система обладала большей производительностью при разных алгоритмах пуска или торможения, в том числе и динамического двухтокового торможения АД.

Сейчас появились методы, позволяющие по-новому решить задачу торможения АД в условиях перегрева. Проблема решается математическим моделированием в среде MatLab с элементами искусственного интеллекта на основе применения методов нечеткой логики, что позволяет отнести разрабатываемую систему управления к классу интеллектуальных систем [1].

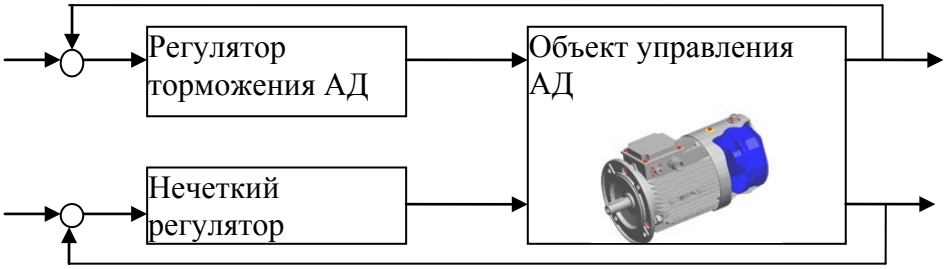


Рис. 4. Структура интеллектуализированной системы управления АД

На рис. 4 показан регулятор торможения АД, который является классическим регулятором системы управления. Интеллектуальный регулятор температуры АД осуществляет нечеткое управления скоростью вращения вентилятора АД с целью поддержания его температуры в пределах, обеспечивающих его нормальную эксплуатацию без перегрева.

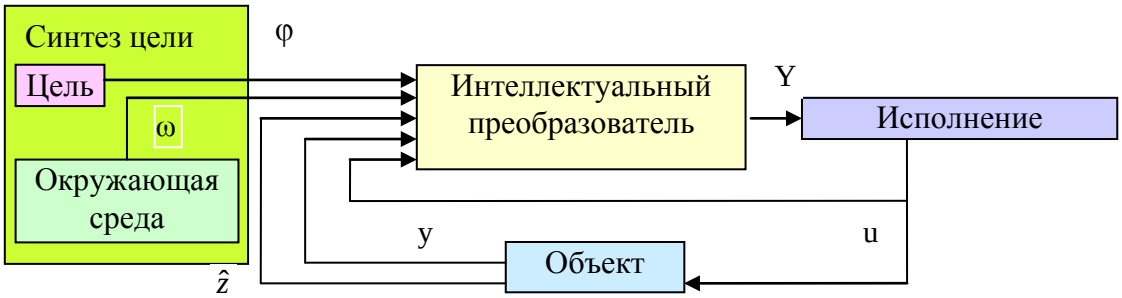


Рис. 5. Структура интеллектуальной системы управления скоростью вращения вентилятора АД

Структура интеллектуального регулятора температуры АД, изображенного на рис. 4, показана на рис. 5. На нем представлены блоки системы интеллектуального управления АД: цель – блок формирования цели; окружающая среда – блок, характеризующий влияние окружающей среды на интеллектуальную систему; интеллектуальный преобразователь – блок, реализующий в каждый момент времени текущую цель управления объектом; исполнение управления – блок, трансформирующий команды в сигналы управления вентилятором; объект – математическая модель объекта управления. На рис. 5 показаны сигналы и вектора: φ – сигнал цели, содержит информацию о текущем состоянии цели; ω – вектор возмущения; u – сигнал управления; $\hat{z}$ – сигнал модели объекта, содержит информацию о текущем изменении структуры и параметров объекта; Y – вектор состояния интеллектуального преобразователя; y – выход объекта.

Построение нечеткого контроллера сводится к воспроизведению в интеллектуальной системе логического механизма и действий квалифицированного эксперта оперативно с учётом его знаний и специфики управления объектом. НК встраивается в систему управления с обратной связью с подстройкой выхода объекта управления y путём сравнивания его со значением переменной $\dot{y}$.

Закон управления для дискретного времени t - в общем случае с нелинейной функцией f:

$$u(t) = f(e(t), e(t-1), \ldots, e(t-r), u(t-1), \ldots, u(t-r)), \quad (6)$$

где управляющее воздействие является отношением между входом и выходом контроллера. Ошибка e представляет собой разность между ожидаемым значением величины $\dot{y}$ и значением y выходного параметра объекта управления.

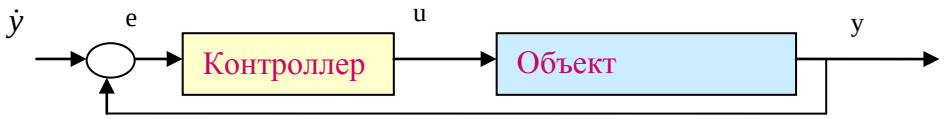


Рис. 6. Система управления с обратной связью

Динамику поведения НК можно описать набором лингвистических правил экспертных знаний вида: IF <множество удовлетворимых условий> THEN <множество выводимых консеквентов>.

В базе нечетких правил имеются активные правила (каждое с весом, равным 1).

Система нечеткого вывода для поставленной задачи имеет 15 правил нечетких продукций вида:

R_i: Если “температура АД” есть “$\mu_i \in TM_1$” и “скорость изменения температуры” есть “$\mu_c \in TM_2$” то “скорость вентилятора” есть “$\mu_B \in TM_3$”

где: R_i – i-правило, μ_i – i-элемент множества TM_1, μ_c – i-элемент множества TM_2 и μ_B – i-элемент множества TM_3, TM_l – нечёткие множества 3-х лингвистических переменных ($l = 1,2,3$) правила нечетких продукций R_i.

Они нужны для анализа поверхности нечеткого вывода и для установления зависимости значений выходной лингвистической переменной от значений входных лингвистических переменных нечеткой модели системы управления температурным режимом АД. Приведение к четкости через процедуру дефазификации позволяет полученному значению выходной лингвистической переменной поставить в

соответствие четкое значение величины. Эта зависимость является основой для реализации нечеткого алгоритма управления в форме таблицы решений. Например, в базе нечетких правил будут активные правила вида:
ЕСЛИ (tad температура АД $\in$ tad1) И (dtad скорость изменения температуры $\in$ dtad1) ТО (wb скорость вентилятора $\in$ dw1), где tad1, dtad1, dw1 множества очень холодная, отрицательная, нулевая.

В целом этапами применяемой технологии и алгоритма являются:

1. Формирование базы правил систем нечеткого вывода.
2. Фазификация входных переменных.
3. Агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций.
4. Активизация подзаключений в нечетких правилах продукций.
5. Аккумуляция заключений в нечетких правилах продукций
6. Дефаззификация выходных переменных.

Выводы

Анализ выполненных исследований позволяет сделать выводы:

Продемонстрирована возможность построения систем с нечеткой динамической коррекцией скорости вращения вентилятора АД вместо традиционных регуляторов. Использование методов нечеткого управления позволяет получить качественный переходный процесс без использования громоздких вычислений в классических методах управления.

Представлены удачная технология и алгоритм, упрощающие разработку микропроцессорных систем управления с нечеткой логикой.

Реализации вычислений в системах с нечеткой логикой управления хорошо поддаются распараллеливанию и могут быть усовершенствованы.

Литература

[1] Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.

[2] Михаилов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1990.

[3] Гольдберг О.Д., Буль О.Б., Свириденко И.С., Хелемская С.П. Переходные процессы в электрических машин и аппаратах и вопросы их проектирования. М.: Высшая школа, 2001.

[4] Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. Автоматизирование проектирования электрических машин малой мощности М.: Высшая школа, 2002.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ КОМПЛЕКТОВАНИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ИННОВАЦИОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Гирко В.В.
Москва, МГТУ «СТАНКИН»

Рассмотрена методика разработки информационной системы, позволяющей формировать оптимальный состав средств оснащения рабочих мест и инфраструктуры предприятия. Приведена классификация и система параметров средств оснащения. Сформирована система оценки качества разработанных решений.

Development of decision-making support system in completing of workplace in industrial interprises with innovative equipment. Girko V.V. Moscow, MSTU «Stankin»

We consider the methodology of an information system formation that allows to form an optimal constitution of means to equip workplaces and enterprise infrastructure. It is shown in detail about classification and parameters of equipment means system. The article touches upon the issue of forming a system of quality evaluation of developed decisions.

Промышленное предприятие представляет собой комплекс взаимосвязанных производств, каждое из которых характеризуется определенной структурой организации производственной деятельности. Качество функционирования предприятия связано с налаживанием органичного механизма протекания основных, вспомогательных и обслуживающих процессов, что приводит к выпуску продукции с определенными параметрами в необходимом объеме и в установленные сроки. Производственная деятельность подразумевает выполнение на рабочих местах основных и вспомогательных операций производственного процесса. Качество выполнения операций, закрепленных за рабочими местами, определенным образом связано с применяющимися при этом оборудованием и вспомогательными устройствами, формирующими систему средств оснащения рабочих мест и элементов инфраструктуры. Параметры средств оснащения рабочих мест и элементов инфраструктуры предприятия в значительной степени обеспечивают объем и качество выпускаемой продукции, обновление ее ассортимента, компенсируют дефицит квалифицированных кадров, определяют величину эксплуатационных расходов, влияют на себестоимость продукции, а в самом широком смысле определяют темпы совершенствования национальной технологической среды.

Основными проблемами российских промышленных предприятий в сфере средств производства на текущем этапе являются [1]:

– увеличение среднего возраста оборудования, обусловленное сокращением объемов закупок средств производства;

– снижение показателей использования (коэффициента сменности и внутрисменного использования оборудования);

– значительное моральное старение оборудования;

– снижение затрат на обновление оборудования, обусловленное дефицитом финансовых ресурсов у предприятий.

Следовательно, актуальной является задача проведения технического перевооружения промышленных предприятий. При этом ориентация на инновационное оборудование, способное перевести производственную систему на иной качественный уровень, дает предприятию широкие возможности в повышении своей конкурентоспособности.

Перевооружение промышленных предприятий является сложной задачей, решение которой сопряжено со сдерживающими факторами: неизбежным снижением объема выпуска продукции на период проведения переоборудования рабочих мест и выхода на полную проектную мощность, необходимостью рассмотрения прогнозируемых состояний системы в условиях меняющейся конъюнктуры, наличием технических, экономических, финансовых, временных и других видов рисков. Модернизация на основе инновационного оборудования, кроме этих факторов, сопряжена также с риском ошибок на этапе опытно-конструкторских и проектировочных работ, возможным несоответствием технологического уровня предприятия новому оборудованию, более высокими требованиями к проведению переобучения персонала, отсутствием практического опыта в эксплуатации

оборудования и другими сдерживающими факторами. В то же время, модернизация на основе инновационного оборудования является инструментом раскрытия внутренних ресурсов повышения результативности и эффективности функционирования производственной системы. Принятие решения о выборе того или иного вида оборудования в качестве основы модернизации должно быть подтверждено большим количеством расчетов, выражающих в конечном итоге комплексный эффект выполняемых операций. Принятие решения о проведении модернизации на основе инновационного оборудования должно сопровождаться разработкой детального технико-экономического обоснования. Повышение качества принимаемых решений при оценке перспективности использования инновационного оборудования в качестве основы технической модернизации производства связано с разработкой специализированных информационных систем поддержки принятия управленческих решений.

Информационные системы подобного рода позволяют подбирать оптимальный состав средств оснащения рабочих мест и элементов инфраструктуры на основании одного или нескольких критериев предпочтения, значения которых определенным образом связаны с характеристиками оборудования. Состав характеристик оборудования, в свою очередь, формируется в соответствии с функциональным назначением средств производства. Все средства оснащения рабочих мест предприятия предлагается распределять по классификационным группам:

- основное технологическое оборудование - элемент системы оснащения рабочих мест, обеспечивающий выполнение основных операций технологического процесса по изменению формы, размеров или состояния заготовки. В зависимости от характера выполняемых операций, может быть представлен металлообрабатывающим, литейным, кузнечно-прессовым, сварочным и другим оборудованием;
- технологическая оснастка - элемент системы оснащения рабочих мест, представляющий собой вспомогательные устройства к основному технологическому оборудованию, используемые при выполнении основных операций по обработке, сборке или контролю. К технологической оснастке рекомендуется относить:
  - набор инструмента, закрепленный за рабочим местом;
  - приспособления для закрепления рабочих инструментов;
  - приспособления для базирования и закрепления обрабатываемой заготовки;
  - измерительные и контрольные приспособления;
- вспомогательное оборудование – элемент системы оснащения рабочих мест, обеспечивающий сокращение непроизводственных затрат времени и освобождающий работника от тяжелых физических функций. К вспомогательному оборудованию рекомендуется относить:
  - подъемно-транспортное оборудование;
  - оборудование, обеспечивающие сбор и отведение стружки из зоны резания и с рабочего места;
  - элементы, обеспечивающие подведение СОЖ;
  - окрасочное оборудование;
  - сортировочное оборудование;
  - устройства для ввода и хранения управляющих программ;
  - устройства, обеспечивающие предварительную подготовку заготовок непосредственно на рабочих местах;
- организационная оснастка - элемент системы оснащения рабочих мест, обеспечивающий экономию трудовых движений, рациональное использование

площади рабочей зоны и удобство рабочей позы оператора. К организационной оснастке рекомендуется относить:

- приспособления для хранения инструмента;
- приспособления для хранения технической документации;
- приспособления для поддержания удобного положения тела оператора;

• рабочая тара – элемент системы оснащения рабочих мест, обеспечивающий временное хранение и межоперационное перемещение заготовок и изделий. Включает механизированные и немеханизированные устройства, выполняющие озвученную функцию.

• средства освещения рабочей зоны – элемент системы оснащения рабочего места, обеспечивающий достаточную освещенность рабочей зоны;

• система безопасности – элемент системы оснащения рабочего места, препятствующий получению оператором производственных травм и увечий. К элементам системы безопасности рекомендуется относить:

- элементы защиты от поражения электрическим током;
- элементы защиты от механических повреждений;
- защитные элементы, относящиеся к одежде оператора;

• хозяйственные средства – элемент системы оснащения рабочего места, обеспечивающий качественный уход за оборудованием и поддержание чистоты в рабочей зоне. К хозяйственным средствам рекомендуется относить:

- обтирочные материалы;
- хозяйственный инвентарь;
- чистящие средства;

• элементы эстетизации рабочей зоны – элемент системы оснащения рабочего места, обеспечивающий создающие благоприятной морально-психологической атмосферы при выполнении работы. К элементам эстетизации рекомендуется относить:

- цветовые решения: окраска оборудования; цвета одежды;
- элементы озеленения рабочей зоны;
- визуальные элементы эстетизации рабочего места: жалюзи, картины, ковры.
- музыкальное сопровождение производственного процесса.

Организация бесперебойного режима протекания производственного процесса связана с уровнем развития инфраструктуры предприятия, который в свою очередь связан с применяемыми средствами оснащения элементов инфраструктуры, среди которых выделяются:

• средства оснащения инструментального хозяйства;

• средства оснащения ремонтного хозяйства, в состав которого входят:

- ремонтно-механические цеха или мастерские по ремонту оборудования;
- ремонтно-механические или электромеханические участки в составе производственных цехов;
- ремонтные средства, находящиеся в распоряжении рабочих основного производства;

• средства оснащения энергетического хозяйства;

• средства оснащения системы обеспечения рабочих мест сжатым воздухом;

• средства оснащения транспортного хозяйства;

• средства оснащения системы обеспечения связи между участниками производственного процесса;

• средства обеспечения санитарно-гигиенических условий труда:

- система освещения помещений;

- системы нагнетательной и вытяжной вентиляции;
- системы очистки и кондиционирования воздуха;
- системы отопления производственных помещений;
- системы защиты от вибраций и шума;
- системы защиты от электромагнитных излучений;
- средства обеспечения системы общецеховой безопасности.

Характеристики средств оснащения рабочих мест и элементов инфраструктуры, определяющие эффект назначения данного оборудования на качество функционирования производственной системы, могут быть оценены по группам показателей [2, 3]:

– функциональные показатели: мощность, класс точности, масса, грузоподъемность и другие показатели;

– показатели надежности: стойкость, ресурс работы, регламентация по проведению планово-предупредительных и капитальных ремонтов, группа ремонтной сложности и другие показатели;

– показатели технологичности: габаритные размеры, масса, количество унифицированных элементов и другие показатели;

– экономические показатели: восстановительная или первоначальная стоимость, себестоимость изготовления, амортизационная группа, стоимость проведения планово-предупредительных ремонтов и другие показатели;

– эстетические показатели: цвет, дизайн, пропорции элементов и другие показатели;

– эргономические показатели: уровень шума, уровень вибраций, габариты рабочей зоны, масса и другие показатели;

– показатели безопасности: система ограничений на перемещения узлов, ограждения, щитки, барьеры и другие показатели;

– патентно-правовые показатели: наличие патентов, документации и другие показатели;

– экологические показатели: объем вредных выбросов, марка применяемой СОЖ и другие показатели.

Состав характеристик, выявляемых в рамках каждой конкретной задачи, определяется группой средства оснащения в соответствии с приведенной выше классификацией и условиями задачи. Характеристики средств оснащения рабочих мест и элементов инфраструктуры выявляются на этапе сбора исходной информации и в информационной системе формируют базы данных по оборудованию.

Сравнение эффекта от назначения различных вариантов оборудования в информационной системе проводится на основании критериев предпочтения, назначаемых пользователем. Содержательный смысл критериев предпочтения заключается в описании проявлений результатов назначения оборудования на изменение параметров функционирования производственной системы в какой-либо сфере оценки качества. Предполагается, что все критерии предпочтения могут быть отнесены к пяти подгруппам [4]:

- временные характеристики – основное время выполнения заказа; вспомогательное время выполнения заказа; оперативное время выполнения заказа; продолжительность планомерных перерывов, обусловленная организацией производственного процесса; продолжительность основного применения средств производства; продолжительность дополнительной занятости средств производства; время основной занятости персонала; продолжительность перерывов на личные нужны и другие характеристики;

- финансово-экономические характеристики – валовая выручка; прибыль от продаж; прибыль до налогообложения; чистая прибыль; рентабельность продукции; доля основных средств в активах; ликвидность продукции; доля запасов в оборотных активах; коэффициент финансовой зависимости предприятия и другие характеристики;
- количественные характеристики – коэффициент использования материала; коэффициент загрузки оборудования; максимально достижимый объем выпуска продукции; число рабочих мест и другие характеристики;
- качество создаваемой продукции – надежность; долговечность; точность; мощность; масса; габаритные размеры; уровень шума; экологичность; безопасность и другие характеристики;
- инвестиционные характеристики – дисконтированный доход; чистый дисконтированный доход; индекс рентабельности инвестиций; внутренняя норма доходности инвестиций; срок окупаемости инвестиций и других характеристики.

Система критериев оценки, формируемая для каждой конкретной задачи в соответствии с системой организации производственной деятельности предприятия и предпочтениями лиц, проводящих анализ, включает критерии предпочтения различных классификационных групп. Принятие решения об окончательном выборе средств оснащения рабочих мест или инфраструктуры предприятия в информационной системе производится на основании расчета количественных значений критериев, входящих в сформированную для данной задачи систему оценки. Использование в системе оценки качественных характеристик требует перехода к количественным критериям, позволяющим установить предпочтительность вариантов.

В том случае, если принятие решения о выборе оборудования проводится по единичному критерию, предполагается, что данный критерий целиком определяет функцию предпочтительности решений $F(x)$. Задача сводится к задаче скалярной оптимизации и оптимальный вариант назначения оборудования доставляет максимум функции предпочтительности [5]:

$$F(x) \to \max, \qquad (1)$$

На всем множестве допустимых решений X решением подобной задачи будет являться элемент $x' \in X$, для которого $F(x') \geq F(x)$ для любых $x \in X, x' \in X$. Аналитическим выражением критерия оптимальности является целевая функция, и оптимальному варианту назначения оборудования будет соответствовать максимальное (минимальное) значение целевой функции вида:

$$w(e_i) \to \max\,(\min), \quad (2)$$

где e_i – выбранный критерий предпочтительности.

В том случае, если принятие решения о выборе оборудования проводится по совокупности критериев предпочтения, задача сводится к задаче многокритериальной оптимизации. При этом назначение различных вариантов оборудования может быть оптимальным по различным критериям. В таком случае элемент $x' \in X$ будет являться решением задачи, если он доминирует над другими решениями $x \in X$ по Парето, т.е. $F_i(x') \geq F_i(x)$ и хотя бы для одного частного критерия $F_i(x') > F_i(x)$ для любых $x \in X, x' \in X$, что обозначается как $x' \succ px$, либо доминирует над другими решениями по Слейтеру т.е. $F_i(x') > F_i(x)$ для любых $x \in X, x' \in X$, что обозначается как $x' \succ sx$. Совокупность несравнимых вариантов определяет на множестве допустимых решений X паретовское $\overline{X}$ либо слейтеровское $\overline{S}$ множество, состоящее из паретовских $\overline{x}$ или слейтеровских $\overline{s}$ оптимумов. Каждый из таких оптимумов будет являться решением задачи.

Аналитическим выражением критерия оптимальности является целевая функция, и оптимальному варианту назначения оборудования будет соответствовать максимальное (минимальное) значение целевой функции вида:

$$w(e) = F(w_1(e), w_2(e), ..., w_n(e)) \rightarrow \max(\min), \quad (3)$$

где

$w(e)$ определяет оценку варианта назначения по совокупности критериев;

$w_j(e),\ j = \overline{1,n}$ определяет оценку варианта назначения по частным критериям;

n - число частных критериев оценки.

Выбор окончательного варианта назначения оборудования из паретовских либо слейтеровских множеств проводится путем введения в систему оценки дополнительных критериев.

Описанная система поддержки принятия решений реализована в программной оболочке Borland C++. Управление базами данных с характеристиками оборудования и параметрами элементов инфраструктуры осуществляется с применением продукта Oracle Database. Информационная система может быть применена на большинстве промышленных предприятиях, проводящих технологический аудит и осуществляющих модернизацию производственной сферы.

Литература

1. Корниенко А.А. Управление развитием парка технологического оборудования. – М.: Янус-К, 2006. - 148 с.

2. Лукина С.В., Крутякова М.В., Соловьева Н.П., Гирко В.В. Методика сравнительной оценки стоимости и качества инновационных решений на проектных этапах жизненного цикла высокотехнологичных изделий машиностроительных производств // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. № 2(14), т. 2. С. 118-124.

3. Лукина С.В. Обеспечение конкурентоспособности металлорежущего оборудования путем управления его качеством и себестоимостью на этапах НИОКР (на примере токарных станков): монография / С.В. Лукина, М.В. Крутякова, Н.П. Соловьева. – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 108 с.

4. Гирко В.В. Управление бизнес-процессами инновационной деятельности предприятий машиностроения. Сборник трудов всероссийской молодежной конференции «Автоматизация и информационные технологии (АИТ-2012)». Первый том. – М.: МГТУ «Станкин», 2012. С.90-95.

5. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.:МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ ИНСПЕКЦИИ ГАЗОПРОВОДОВ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Голубкин И.А., Щербатов И.А.

Астраханский государственный технический университет, Астраханская область

В представленной статье разработана теоретико-множественная модель процесса обследования газопроводов мобильным колесным роботом для внутритрубной дефектоскопии. Формализовано описание собственных физических параметров робота, физических и внешних параметров сечения трубопровода, параметров встречающихся в трубопроводе препятствий и маршрута робота. Рассмотрены основные ограничения значений имитационной модели.

Set-theoretical model of gas pipeline inspection process by mobile robot. Golubkin I., Shcherbatov I.

Set-theoretical model of gas pipeline inspection process by wheeled mobile robot for in-pipe defectoscopy is presented in this paper. Physical robot parameters, physical and inner pipeline parameters, parameters of obstacle and target objects are formalized. The main limits of imitation model meanings are revealed and described.

Проведение внутритрубной диагностики газопроводов является важным технологическим процессом обслуживания, от качества и частоты выполнения которого зависит безопасная и надежная эксплуатация трубопроводных систем. Применение мобильных роботов в данном процессе позволит осуществлять диагностику без вскрытия трубопроводов, что существенно облегчит работу специалистов.

Построение мобильных технологических роботов, способных передвигаться внутри труб, отличается от конструкции традиционных промышленных роботов. Подобные роботы представляют собой интеллектуальные многомерные устройства, построенные на мехатронных принципах и технологиях [1], способные эффективно выполнять программы функциональных движений в изменяющихся условиях трубопроводных систем.

Конструкция рассматриваемого робота для перемещения диагностических устройств включает в себя использование роботизированного комплекса с трехопорной лучеобразной кинематикой. Основным преимуществом данной конструкции перед традиционной для мобильных роботов мобильной конструкцией является преодоление наклонных и вертикальных участков трубопроводов [2].

При движении мобильного робота в газопроводе, устройству приходится преодолевать различные трудности (прецеденты) путем изменения поведения на основе данных сенсорной подсистемы робота [3, 5].

Для описания процессов работы мобильного внутритрубного робота предлагается использовать имитационное моделирование, которое позволяет провести замену динамических процессов системы-оригинала процессами, имитируемыми в абстрактной модели, но с соблюдением основных правил (режимов, алгоритмов) функционирования оригинала [4]. С целью формализованного представления процесса движения робота, наиболее удобным является сетевой анализ и алфавит, выразительные средства которого наиболее близки к содержательным представлениям конечного пользователя.

В рамках указанного формализма работа мобильного диагностического робота может быть представлена в виде модели, отражающей следующую совокупность:

$$MDR =< FR, ST, VT, P, M > , \quad (1)$$

где FR – множество собственных физических параметров робота;

ST – множество физических параметров сечения трубопровода, учитывающих изменение диаметра трубопровода, вмятины, параметры гофр, внутренних подкладок, сварных швов;

VT – множество внешних параметров трубопровода, включающих углы наклона трубопровода от горизонтали, радиусы поворотов, параметры тройников и отводов;

P – множество параметров встречающихся в трубопроводе препятствий;

M – множество параметров маршрута робота, целевых направлений и точек.

Задача расчета программы функционирования мобильного робота на основе имитационного моделирования может быть формализована путем нагрузки описанной выше модели потоками характеристик, связей и отношений.

Каждое множество может быть представлено в виде набора элементов, характеристик, связей и совокупностей. Рассмотрим параметры каждого множества и основные ограничения имитационной модели:

1) Формализованное описание собственных физических параметров робота.

$$FR =< rzi, rpi, Fri, lri, vri, uri >, \quad (2)$$

где i – порядковый номер элемента; rzi – расстояние от оси робота до задних колесных модулей; rpi – расстояние от оси робота до передних колесных модулей; Fri – величина силы прижатия колесных модулей к поверхности трубопровода; lri – длина робота; vri – вес робота; uri – угловая ориентация робота (относительно системы координат, связанной с трубопроводом).

Ограничения:

$$rzmin \le rzi \le rzmax,$$
$$rpmin \le rpi \le rpmax,$$
$$0 \le Fri \le Fr\ max,$$
$$0 \le uri \le 180,$$

(Fri = 0, если участок трубопровода – горизонтальный).

2) Формализованное описание физических параметров сечения трубопровода.

$$ST =< dti, pdti, kti, rvi, lui >, \quad (3)$$

где dti – диаметр трубопровода; pdti – величина изменения диаметра трубопровода; kti – коэффициент трения колес о стенку трубы; rvi – размеры вмятин; lui – длина участка прямолинейного сечения.

Ограничения:

$$0 \le dti \le dtmax,$$
$$0 \le pdti \le pdtmax,$$
$$\le rvi \le rvmax.$$

3) Формализованное описание внешних параметров трубопровода.

$$VT =< tdi, rti, pti, doi, uti >, \quad (4)$$

где tdi – тип движения на участке трубопровода.

$$tdi = \begin{cases} 0, \text{если прямолинейное движение} \\ 1, \text{если поворот,} \\ 2, \text{если тройник (отвод);} \end{cases}$$

rti – радиус поворота трубопровода; pti – параметр прохождения тройника.

$$pti = \begin{cases} 0, \text{если необходимо пройти прямо,} \\ 1, \text{если необходимо повернуть;} \end{cases}$$

doi – диаметр отвода; uti – угол наклона трубопровода (от вертикали).

Ограничения:

$$rtmin \le rti \le rtmax,$$
$$0 < doi \le domax,$$
$$\le uti \le 180.$$

4) Формализованное описание параметров препятствий.

$$P =< rpi, upi >, \quad (5)$$

где rpi- – размеры препятствий.

$$rpi = \begin{cases} 0, \text{если препятствия отсутствуют,} \\ 1, \text{если препятствия малого размера (не нужно обходить),} \\ 2, \text{если препятствия среднего размера (можно обойти),} \\ 3, \text{если препятствия большого размера (нельзя обойти);} \end{cases}$$

upi – угол расположения центра препятствия (относительно системы координат, связанной с трубопроводом).

Ограничения:

$$0 \leq upi \leq 180.$$

5) Формализация процесса прохождения роботом целевых точек.

$$M =< nti, pti, oti >, \quad (6)$$

где nti – направление на ближайшую точку; pti – количество пройденных роботом целевых точек; oti – количество целевых точек, которых осталось пройти роботом.

Ограничения:

$$0 \leq nti \leq 180.$$

В заключение можно сказать, что в данной статье рассмотрено множество характеристик, связей и отношений, задающее имитационную модель, которая, в свою очередь, описывает функционирование робота. Формализованно описаны собственные физические параметры робота, физические и внешние параметры сечения трубопровода, параметры встречающихся в трубопроводе препятствий и маршрута робота. Рассмотрены основные ограничения значений имитационной модели.

Литература

1. Голубкин И.А., Кирилин С.А., Щербатов И.А. Принципы разработки мультимедийных прикладных роботизированных устройств. Журнал «Вестник Астраханского государственного технического университета». Серия: "Управление, вычислительная техника и информатика" №2/2010. - Астрахань, с.153-157.

2. Голубкин И.А. Использование мобильных роботов при дефектоскопии внутренней поверхности газопроводов // «Наука + молодежь = успех» – сборник статей молодых работников ООО «Газпром добыча Астрахань». Астрахань, 2012. С. 20-28.

3. I. Golubkin & I. Shcherbatov. Systems analysis of gas pipeline inspection by mobile robot // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. Titusville, FL, USA, L&L Publishing, 2013. Vol. 4 Technical Sciences, p. 95–96.

4. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Интеллектуальные информационные технологии: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 304 с.

5. Голубкин И.А., Щербатов И.А. Универсальная сенсорная подсистема мобильного колесного робота // Датчики и системы – 2010. - № 8. – С. 32-35.

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИИ MESH

Дергунов Н.В., *Бушмелева К.И., Плюснин И.И., Бушмелев П.Е.
*Сургут, ОАО «Сургутнефтегаз», *Сургут, Сургутский государственный университет*

Рассмотрена организационно-функциональная модель системы мониторинга объектов газотранспортной сети, сформулированы цель и задачи, решаемые системой, обоснован выбор топологии mesh для передачи информации посредством беспроводных модулей по телекоммуникационным линиям связи.

Model systems for monitoring gas transmission network topology-based MESH. Dergunov N, Bushmeleva K., Plyusnin I., Bushmelev P.

We consider the organizational and functional model of the gas pipeline network monitoring facilities, formulated goals and tasks of the system chosen are mesh topology to communicate through wireless modules for telecommunication links.

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.

Значение газовой промышленности очень велико для нашей страны. В отличие от нефти природный газ не требует большой предварительной переработки для использования. Газ - главный вид топлива там, где нет других энергетических ресурсов. Он используется в промышленности (80%) - электроэнергетика, химия, металлургия, строительство, полиграфия, а также в быту.

Трубопроводы - единственный способ для перекачки больших масс газа, в России их протяжённость составляет около 80 тыс. км., а в СНГ более 160 тыс. км. Основные системы магистральных газопроводов (МГ) проложены из Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, из Поволжья, с Урала (Оренбург - начальный пункт газопровода «Союз») и с Северного Кавказа. Они передают по трубопроводам природный газ в Центральную Россию, в государства Балтии, в Белоруссию, в Молдавию, на Украину и далее в страны Восточной и Западной Европы.

Магистральные газопроводы объединены в Единую систему газоснабжения (ЕСГ) России, которая является на сегодняшний день крупнейшей в мире системой транспортировки газа и представляет собой уникальный технологический комплекс, включающий в себя объекты добычи, переработки, транспортировки, хранения и распределения газа. ЕСГ обеспечивает непрерывный цикл поставки газа от скважины до конечного потребителя. Благодаря большой разветвленности и наличию параллельных маршрутов ЕСГ обладает существенным запасом надежности и способна обеспечивать бесперебойные поставки газа даже при пиковых сезонных нагрузках.

Система газоснабжения – это сложный механизм, поэтому сбой в незначительной его артерии способен мгновенно привести к серьезным проблемам. Основной проблемой ЕСГ является воздействия утечек газа на окружающую среду. Возможные выбросы и утечки сложно обнаружить моментально, но даже в случае обнаружения факта утечки процесс поиска и локализации очага занимает продолжительное время, тем самым увеличивая объем выброса газовой смеси в окружающую среду. Очевидно, что выбросы приводят как к экономическим убыткам газотранспортного предприятия, в виде серьезных штрафов, так и к необратимым вредным воздействиям и нарушениям экологической целостности природного ландшафта, которые в свою очередь приводят к быстро или медленно проявляющимся отрицательным последствиям в отношении человека, и различных популяций флоры и фауны [1].

Следует также отметить, что средний возраст газотранспортной сети (ГТС) России составляет 30 лет, что существенно увеличивает вероятность возникновения аварийных ситуаций. Статистический анализ отказов, происходящих на строящихся и действующих МГ, показал следующее: из всей совокупности отказов на газопроводах при испытаниях и в эксплуатации произошло около 10 % отказов со значительным экологическим ущербом. Среднегодовые потери продукта, обусловившие загрязнение окружающей среды по газопроводам составили 43,2 млн.м^3.

Непрерывный мониторинг состояния объектов ГТС позволит вовремя обнаружить аварийную ситуацию, своевременно довести полученную информацию до ответственных специалистов, как для осуществления контроля, так и для проведения необходимых действий и мероприятий, направленных на минимизацию последствий.

Совокупность аппаратных и программных средств, предназначенных для автоматизированного получения данных о состоянии линий МГ, передачи, обработки и централизованного накопления этих сведений называется системой мониторинга ГТС.

Основной целью создания системы является: мониторинг состояния объектов ГТС, который заключается в контроле информации, получаемой с датчиков системы, установленных на линии ГТС, т.е. это отображение текущих состояний модулей; сигнализация нештатных состояний, при отклонении значений, получаемых с датчиков, система мгновенно должна оповещать оперативный персонал; хранение статистики отказов. Всю информацию об отказах, необходимо хранить для изучения статистики отказов, закономерностей их появления, а так же выявления причин их возникновения.

Система мониторинга ГТС позволяет решать следующие функциональные задачи: опрос модулей системы; отображение активных модулей; сбор информации с модулей; контроль значений полученных с модулей; накопление и хранение информации с модулей; контроль автономного существования модулей системы.

Под модулем следует понимать контроллер с подключенными датчиками, беспроводным передатчиком, источником питания и средствами для автономного существования. Модули, находящиеся в радиусе действия своих передатчиков, передают друг другу информацию с датчиков, формируя пакеты, которые пересылают на шлюз. Шлюз в свою очередь передает пакеты серверу, где происходит контроль полученных данных. В случае выхода из заданного диапазона происходит сигнализация о нештатной ситуации [2,3].

Газотранспортные артерии пронизывают всю территорию нашей страны, независимо от ландшафта. Газопроводы прокладывают по степям, лесам, болотам, они пересекают реки и озера. В связи с тем, что основные линии системы газоснабжения строили десятилетия назад, очень сложно попасть на определенные участки МГ.

Очевидно, что для построения системы мониторинга необходимы телекоммуникационные линии связи, обеспечивающие передачу значений с датчиков в место централизованного хранения данных (сервер). Но зачастую процесс получения разрешения на возведение коммуникационных линий связи (ЛС), необходимых для реализации системы мониторинга, очень сложен, и результат не всегда положителен. Помимо этого, существуют чисто физические ограничения на построение кабельных телекоммуникационных ЛС. Материалы, используемые для построения ЛС, требуют значительных временных (проектирование, разработка, монтаж) и материальных ресурсов, но в связи с низкой надежностью не оправдывают себя, поэтому в данной работе рассматриваются только методы беспроводной передачи данных.

Mesh - сетевая топология, в которой устройства объединяются многочисленными соединениями, вводимыми по стратегическим соображениям. В первую очередь понятие Mesh определяет принцип построения сети, отличительной особенностью которой является самоорганизующаяся архитектура, реализующая следующие возможности:

- создание зон сплошного информационного покрытия большой площади;
- масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации;
- использование беспроводных транспортных каналов (backhaul) для связи точек доступа в режиме «каждый с каждым»;
- устойчивость сети к потере отдельных элементов.

Топология Mesh основана на децентрализованной схеме организации сети, в отличие от типовых сетей 802.1 1a/b/g, которые создаются по централизованному принципу. Точки доступа, работающие в Mesh-сетях, не только предоставляют услуги абонентского доступа, но и выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других точек доступа той же сети. Благодаря этому появляется возможность создания

самоустанавливающегося и самовосстанавливающегося сегмента широкополосной сети.

Mesh-сети строятся как совокупность кластеров. Территория покрытия разделяется на кластерные зоны, число которых теоретически не ограничено. В одном кластере размещается от 8 до 16 точек доступа. Одна из таких точек является узловой (gateway) и подключается к магистральному информационному каналу с помощью кабеля (оптического либо электрического) или по радиоканалу (с использованием систем широкополосного доступа). Узловые точки доступа, так же как и остальные точки доступа (nodes) в кластере, соединяются между собой (с ближайшими соседями) по транспортному радиоканалу. В зависимости от конкретного решения точки доступа могут выполнять функции ретранслятора (транспортный канал) либо функции ретранслятора и абонентской точки доступа. Особенностью Mesh является использование специальных протоколов, позволяющих каждой точке доступа создавать таблицы абонентов сети с контролем состояния транспортного канала и поддержкой динамической маршрутизации трафика по оптимальному маршруту между соседними точками. При отказе какой-либо из них происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку за минимальное время [4].

Процедура расширения сети в пределах кластера ограничивается установкой новых точек доступа, интеграция которых в существующую сеть происходит автоматически.

Рассмотрим процесс функционирования системы мониторинга ГТС на примере организационно-функциональной модели разработанной средствами BPwin (рис. 1).

Информация, полученная с датчиков, установленных на газопроводе, является входной. После того, как эта информация поступила в систему, она преобразовывается на основе математического аппарата для обработки данных, сравнивается с эталонными значениями (хранящимися в справочнике состояний), и на основании правил формирования отказов поступает на выход в виде информации:

- о текущих состояниях модулей (модуль включен, выключен, не заряжается и т.д.);
- сигнализация нештатных состояний (звуковое оповещение в режиме реального времени о возникающих событиях, графическое отображение состояния системы);
- подробности отказов (если отказ имеет место, возможно получение координат места происшествия, наименования сработавшего датчика, текущее значение датчика, и т.д.);
- об истории отказов (выборка за необходимый период времени).

Работоспособностью системы мониторинга управляет системный администратор, на основе своей должностной инструкции. А оперативный персонал отслеживает показания датчиков, возникающие на выходе из системы.

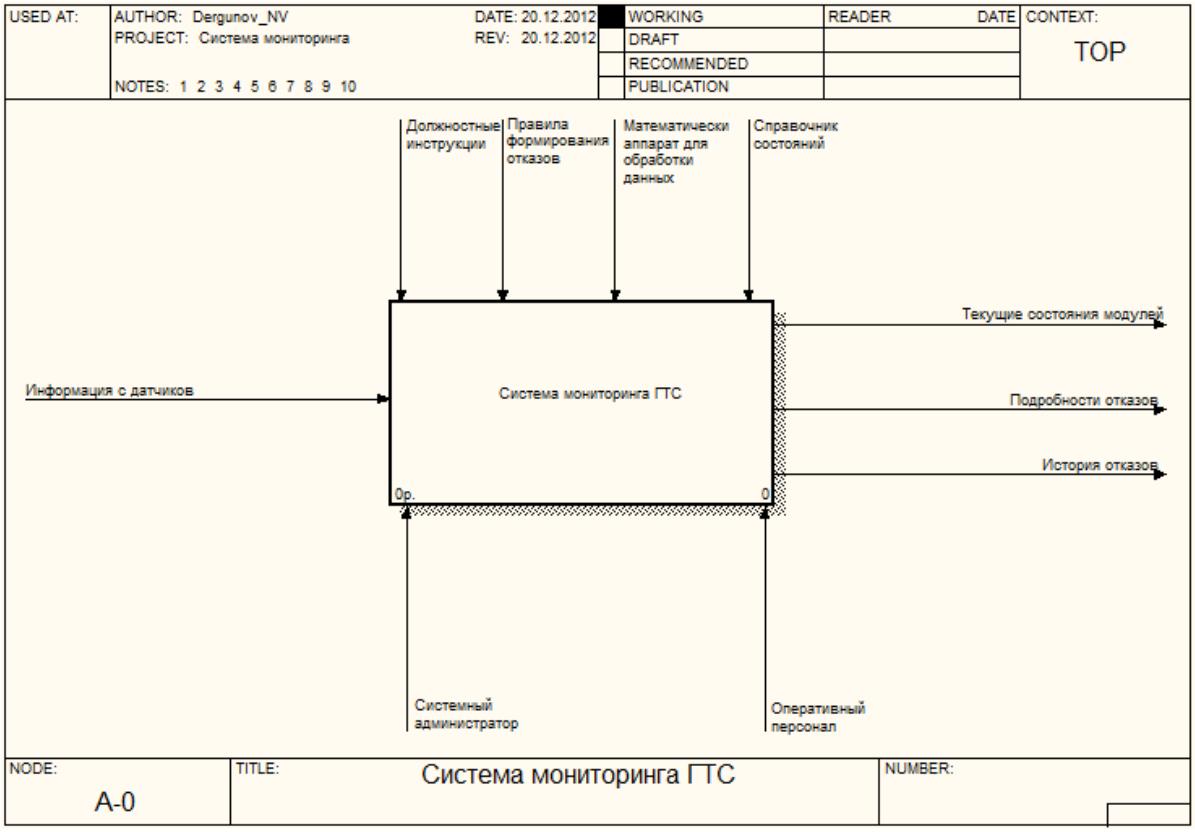


Рис. 1. Организационно - функциональная модель «Системы мониторинга ГТС»

Для более детального изучения необходимо произвести декомпозицию системы на отдельные функциональные блоки: опрос модулей; передача информации; обработка информации; накопление информации (рис. 2).

Опишем взаимосвязь между данными модулями.

1. Информация с датчиков поступает в блок «опрос модулей». Этот блок содержит правила опроса системы, и контролирует своевременное выполнение данного процесса. Управляющим воздействием являются методы опроса, которые определенны в математическом аппарате обработки данных. Контроль нормального функционирования обеспечивает системный администратор. Результатом функционирования являются «значения».

Значения – это систематизированная и обработанная информация, полученная из блока «опрос модулей». Значения являются входными данными для блока «передача информации». Блок «передача информации» осуществляет доставку значений от модулей системы к модулям, более близким к шлюзу, либо к самому шлюзу. Далее значения пересылаются на сервер. Результатом работы модуля являются сформированные пакеты, являющиеся снимком системы на конкретный момент времени.

2. Пакеты, сформированные на предыдущем этапе, поступают в блок «обработка информации», где происходит их сравнение с эталонными значениями, и проверка правилами формирования отказов. Выходной информацией данного блока является информация о текущем состоянии модулей, а так же данные по отказам, и их подробности, если таковые выявлены.

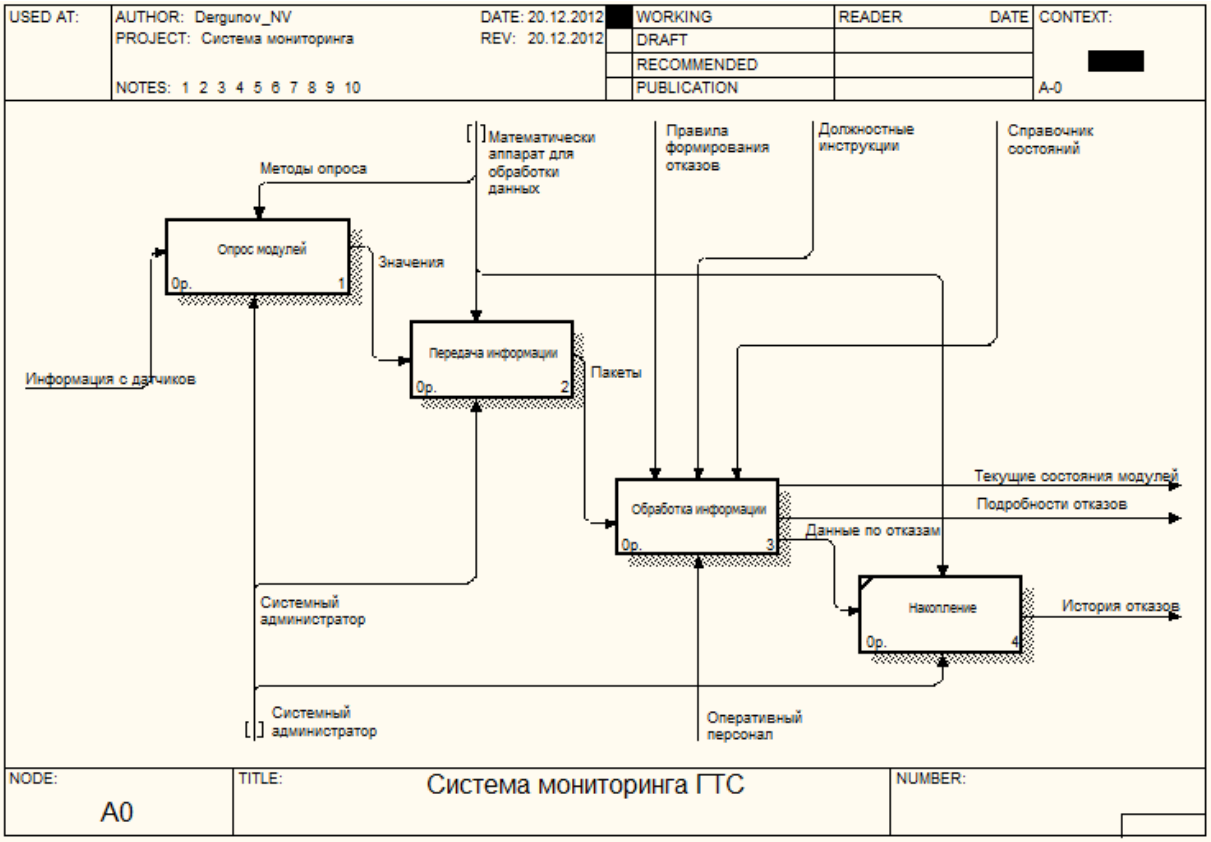


Рис. 2. Декомпозиция организационно-функциональной модели «Система мониторинга ГТС»

3. Входной информацией для блока «Накопление» является данные по отказам. В данном блоке происходит сохранение информации в базу данных. Результат работы модуля – история отказов, т.е. возможность произвести выборку по параметрам.

Разрабатываемая система мониторинга ГТС предполагает повышение оперативности поиска утечек газа, что в значительной мере позволит экономить ресурсы предприятия, а также предотвратить серьезные экологические последствия от локальных утечек газа.

Литература

1. Анализ методов и средств диагностирования магистральных газопроводов / К.И. Бушмелева, И.И. Плюснин, С.У. Увайсов // Контроль. Диагностика. – 2010. - №7. – С. 29 – 37.

2. Бушмелев, П.Е. Беспроводная система мониторинга магистральных газопроводов / П.Е. Бушмелев // Новые информационные технологии: тезисы докладов XVIII международной студенческой конференции – школы-семинара. – М.: МИЭМ, 2010. – С. 181 – 182.

3. Информационно-телекоммуникационная система мониторинга газотранспортных объектов / К.И. Бушмелева, С.У. Увайсов, П.Е. Бушмелев, И.И. Плюснин // Надежность и качество: труды международного симпозиума. – Пенза: Изд-во Пенз. ГУ, 2012. – Т.2. – С. 91 – 92.

4. Осипов, И.Е. Mesh сети: технологии, приложения, оборудование / И.Е. Осипов // Технологии и средства связи. – 2006. - № 4. – С. 38 – 45.

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К СРАВНЕНИЮ РАЗНОВРЕМЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Домрачева А.Б., Медведева А.Л.
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассмотрены различные подходы к сравнению разновременных изображений объектов. Критерии соответствия двух изображений обсуждаются. Даны рекомендации по сравнению данных дистанционного зондирования Земли.

The analysis of approaches to comparison of images received as a result of remote sounding of the Earth occurring at different times. Domracheva A., Medvedeva A.

Various approaches to comparison of images occurring at different times are analyzed. Criteria of adequacy of images are discussed. Recommendations about comparison of the data of remote sounding of the Earth are made.

Проблема сравнения результатов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), полученных в разное время, остается актуальной, в том числе в рамках технологий «машинного зрения» [1]. Эталонное изображение (в том числе, фрагменты цифровых карт местности) и сравниваемое с ним текущее изображение, как правило, значительно отличаются. Отличия заключаются не только в формате данных (растр, векторные данные), масштабе, ориентации изображения в системах координат, наличии искажений, связанных с условиями съемки и последующего трансформирования снимка. В первую очередь сложность распознавания объектов связана с присутствием/отсутствием ряда объектов в кадре (степенью актуальности космо-, аэросъемки, результатов лазерного сканирования поверхности Земли). Частным случаем таких отличий является появление растительности, изменение теней, положение движущихся объектов и другие.

Очевидно, что критерии соответствия (адекватности, релевантности) двух изображений могут формулироваться в соответствии с целью исследования.

В связи с чем, будем дифференцировать уровни исследований данных ДЗЗ в соответствии со сведениями, приведенными в таблице 1. То есть для анализа разновременных снимков необходимо выбрать уровень исследований, а также соответствующие ему масштабы цифровых карт, максимальную площадь исследуемой территории, периоды наблюдений.

Следует отметить, что сравнение эталонного и текущего изображения, соответсвующего локальному и фациальному уровням, осложняется активным перемещением объектов в период наблюдения (управления, наведения).

Таблица 1. Уровни исследований данных ДЗЗ

Уровень исследования	Охваты-ваемая территория	Масштаб карт	Масштаб аэроснимков	Масштаб космоснимков
Глобальный	10^8	1:60 000 000 – 1:10 000 000	–	1:100 000 000 – 1:20 000 000
Континентальный /океанический	10^7	1:15 000 000 – 1:1 000 000	–	1:50 000 000 – 1:5 000 000
Региональный	10^5 - 10^6	1: 2 500 000 –	1: 100 000 –	1:10 000 000 –

		1:200 000	1:20 000	1:1 000 000
Субрегиональный	$10^3 – 10^4$	1: 500 000 – 1:50 000	1: 50 000 – 1:5 000	1:2 000 000 и крупнее
Локальный	10^2	1: 100 000 – 1:5 000	1: 10 000 – 1:1 000	–
Фациальный	$10 – 10^{-2}$	1: 10 000 – 1:500	1: 5000 – 1:500	–

Решение перечисленных задач осуществляется на основе современных технологий навигации. Но применение навигаторов достаточно дорогостоящее решение, в том числе, требующее размещения в системе дополнительного оборудования. Альтернативой использованию навигаторов являются технологии «машинного зрения», основанные на применении так называемых интеллектуальных камер. Интеллектуальная камера включает одну или несколько камер (аналоговый или цифровых), цифровой сигнальный процессор или многопроцессорный компьютер, программное обеспечение для трансформирования и обработки изображений, распознавания образов, а также оборудование ввода/вывода, передачи данных, каналы связи.

В этом случае методика пред- и постобработки разновременных данных дистанционного зондирования Земли заключается в следующем:

1) Оцифровка изображений (для аналоговых камер);

2) Предварительная обработка изображений (предобработка), обеспечивающая более высокое качество исходных изображений, заключающаяся в

– нормализации гистограммы изображения [2];

– фильтрации (гауссовской фильтрации) [3];

3) Фотограмметрическая обработка изображений для построения текущего изображения (ортофотоплана анализируемой территории) [4];

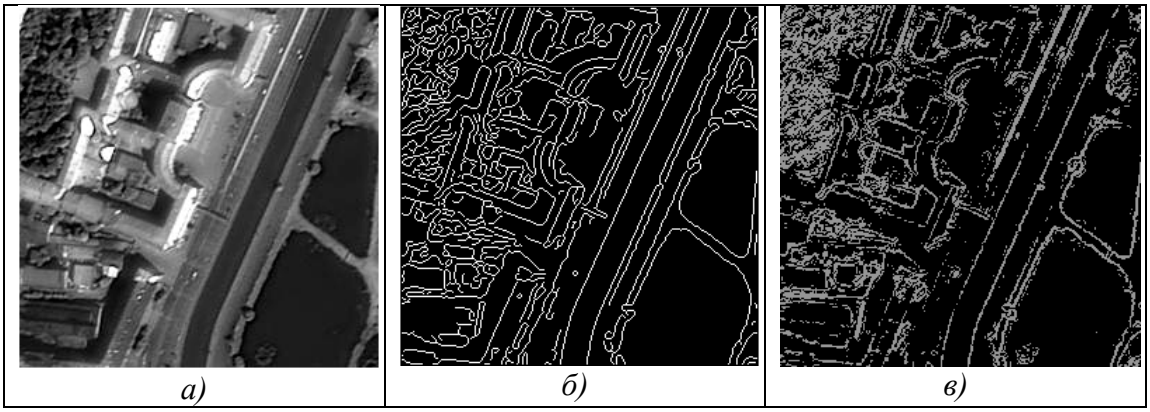
4) Постобработка изображений, обеспечивающая выделение контуров на текущем изображении, заключающаяся в реализации алгоритмов

– выделения контуров (алгоритм Кэнни [2]);

– контурного анализа [5];

5) Распознавание изображений, а также сопоставление текущего и эталонного изображения (цифровой карты анализируемой территории с атрибутивной информацией, описывающей объекты на карте) [1].

На рис. 1 представлены результаты выделения контуров на основе алгоритма Кэнни (рис. 1 б) и в рамках контурного анализа (рис. 1 в) исходного изображения (рис. 1 а).



а) *б)* *в)*

Рисунок 1 – Результаты выделения контуров

Исходное изображение (а). Контуры, полученные на основе алгоритма Кэнни (б). Контуры, полученные в рамках контурного анализа (в).

Приведенные изображения демонстрируют преимущества контурного анализа перед другими подходами к постобработке изображений.

Степень соответствия (адекватности, релевантности) контуров одного и того же объекта на двух изображениях, полученных в разное время и в разных условиях, может оцениваться с разных позиций. Так исследователями обсуждаются алгоритмы удаления паразитных контуров (теней, бликов, растительности), качество распознавания которых не влияет на решение поставленной задачи. Кроме того, алгоритмы распознавания образов оказываются чувствительными к разрывам контуров, что достаточно часто имеет место при анализе данных ДЗЗ, а также к разрешению цифрового изображения (особенно актуально в случае перемещающихся объектов).

В целом методы контурного анализа позволяют с высокой степенью достоверности идентифицировать объект на изображении [1]. Можно в соответствии с целью исследования рекомендовать для неподвижных объектов выделять группы не менее чем из трех объектов, а также не менее трех классификационных контуров, определяющих перемещающийся объект, что повысит достоверность результата.

Литература

1. Красильщиков М.Н., Серебряков Г.Г. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий. М: Физматлит, 2005. – 280 с.

2. Алгоритмические основы растровой машинной графики: учебное пособие/ Д.В. Иванов, А.С. Карпов, Е.П. Кузьмин, В.С. Лемпицкий, А.А. Хропов. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 283 с.

3. Р. Гонсалес. Цифровая обработка изображений / Р. Вудс. – Москва.: Техносфера, 2006. – 1072 с.

4. Лобанов А.Н. Фотограмметрия: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1984. – 552 с.

5. Фурман Я.А. , Кревецкий А.В., Передреев А.К., Роженцов А.А., Хафизов Р.Г. Введение в контурный анализ; приложение к обработке изображений и сигналов. 2-е издание, исправленное. М.: Физматлит, 2003. – 592 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРОВ ДЕКОНВОЛЮЦИИ В ЗАДАЧАХ «МАШИННОГО ЗРЕНИЯ»

Домрачева А.Б.
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Проведен анализ фильтров деконволюции, используемых для повышения резкости изображений – данных дистанционного зондирования Земли. Даны рекомендации по применению различных алгоритмов.

The comparative Analysis of deconvolution filters in tasks of «machine sight». Domracheva A.

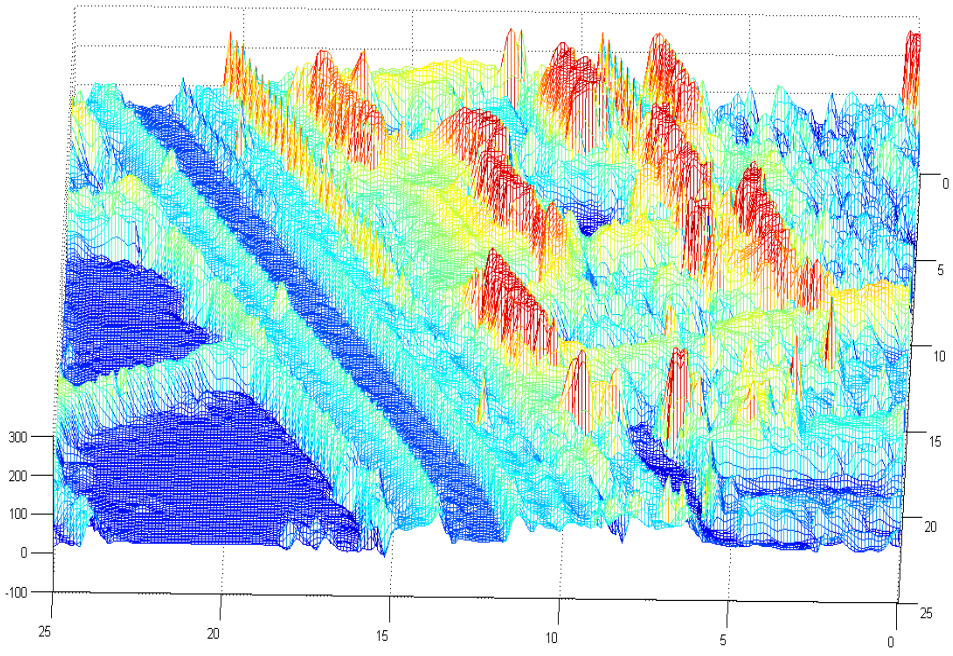
The analysis of deconvolution filters used for increase of sharpness of images – data of remote data of remote sounding of the Earth – are discussed. Recommendations about application of various algorithms are made.

Основной альтернативной GLONASS/GPS технологиям в настоящее время является «машинное зрение», основанное на применении так называемых интеллектуальных камер. Такие камеры позволяют не только регистрировать изображение, но и обрабатывать его для получения заданного качества, в том числе, реализуя операцию деконволюции для увеличения резкости космо- и аэроснимков.

Деконволюция изображения [1] рассматривается как операция, обратная конволюции – свертке изображений. Конволюция основана на представлении изображения в виде функции двух переменных $z=f(x,y)$ (рис.1) с последующим ее описанием, например, посредством дискретного прямого и обратного преобразования Фурье.



а)



б)

Рисунок 1 – Исходное изображение (а). Представление изображения в виде поверхности (а).

Дискретное прямое и обратное преобразование Фурье допускает непосредственное обобщение на двумерный случай. То есть, основная идея повышения резкости изображений заключается в следующем: исходное изображение подвергается, например, дискретному преобразованию Фурье, далее фильтруется с целью подавления шумов (гауссовская, винеровская фильтрация [2] и прочие алгоритмы), и в результате обратного дискретного преобразования Фурье преобразуется в восстановленное изображение.

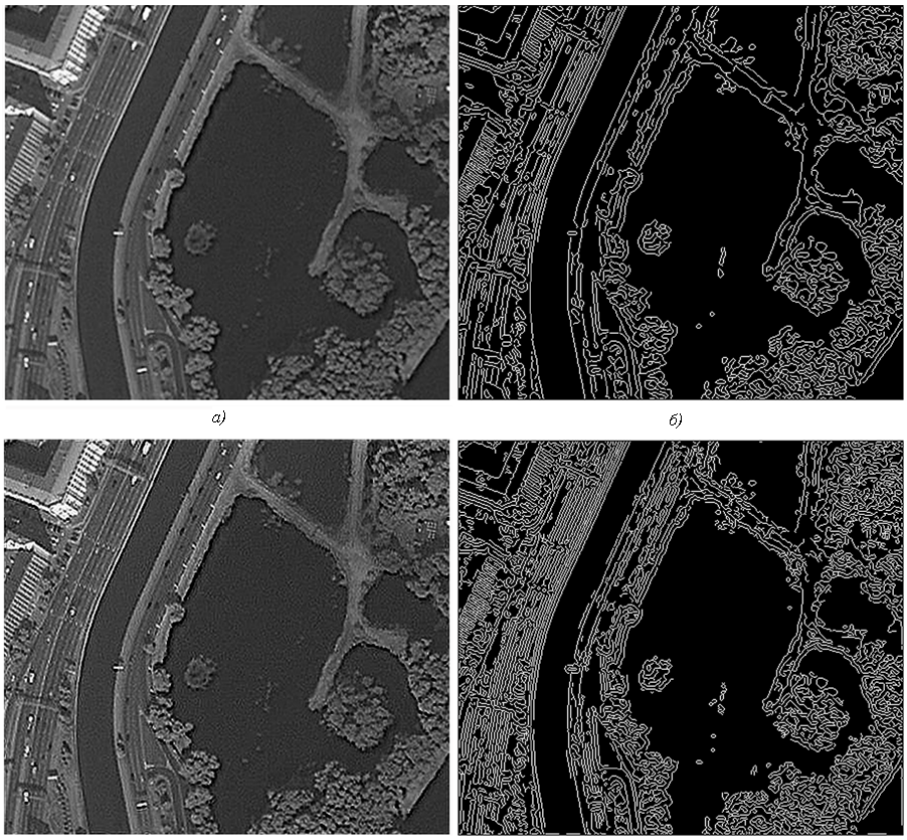
Задача восстановления состоит в построении некоторого приближения *f(x,y)* исходного изображения по заданному (искаженному) изображению *g(x,y)*, при наличии некоторой информации относительно искажающего оператора аддитивного шума. Восстановленное изображение получается обратным преобразованием Фурье для функции, полученной применением дискретного преобразования Фурье к искаженному изображению *g(x,y).*

В [3] приводятся примеры построения фильтров деконволюции с заданными свойствами и указывается, что для точного выполнения деконволюции необходимо располагать бесконечно длинным обратным оператором фильтра. Алгоритм деконволюции применим, если обратный оператор ограничен и достаточно быстро затухает. В то же время на практике используются усеченные обратные операторы фильтра, что приводит к погрешности деконволюции.

Очевидно, что задачей исследователя является минимизация погрешности деконволюции. Гауссовский фильтр в этой ситуации не рекомендован к применению, так как приводит одновременно с подавлением шума к размытию границ на изображении, что препятствует выделению контуров.

Альтернативой оказывается двусторонний (билатеральный) фильтр. Ядро двустороннего фильтра зависит не только от расстояния текущего пиксела до центрального, но и от перепада яркостей текущего и центрального пикселей. Это позволяет сохранить границы объектов на изображении. Кроме того, винеровская фильтрация позволяет учитывать априорное знание о статистических свойствах искажений исходного изображения, что дает возможность повысить качество исходного изображения. Общее количество выделенных на основе алгоритма Кэнни [1] контуров увеличивается. Результаты применения частотной обработки изображения с винеровской фильтрацией – на рис.2.

Отметим, что в результате применения деконволюции возможна как предварительная подготовка исходного изображения (изменения контраста, яркости, подавление шумов и.т.п.), так и постобработка восстановленного изображения (изменения контраста, яркости, выделение контуров и т.п.). Здесь следует отметить тот факт, что для изменения контраста изображения проводят нормализацию гистограммы изображения [1], которая в свою очередь, требует как раз гауссовской фильтрации. Это приводит к заведомой потере информации о границах объекта. В этом случае можно предложить перенести операцию изменения контраста, например, в блок постобработки изображения, а в ряде случаев отказаться от нее.



а) *б)*

в) *г)*

Рисунок 2 - Результат частотной обработки изображения.
Оригинальное изображение (а). Контуры объектов с оригинального изображения (б).
Восстановленное изображение (в).
Контуры объектов с восстановленного изображения (г).

Литература

1. Р. Гонсалес. Цифровая обработка изображений / Р. Вудс. – Москва.: Техносфера, 2006. – 1072 с.

2. Шахтарин Б.И. Фильтры Винера и Калмана. – М.: Гелиос АРВ, 2008. – 408 с.

3. Сайт профессора Давыдова А.В. Электронный ресурс: [http//prodav.exponenta.ru]

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ВЫХОДНЫМ СИНУСОИДАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Дягилев В.И., Коковин В.А., *Увайсов С.У.
*г. Протвино, Филиал «Протвино» университета «Дубна»,*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ*

Исследована схема силового преобразователя с выходным синусоидальным напряжением, посредством моделирования на ЭВМ его схемы замещения для возобновляемых источников энергии. Получены расчетные кривые и показаны особенности реализации таких преобразователей при неравномерно вырабатываемой энергии возобновляемых источников энергии.

Study power inverter circuits with sine wave voltage for the RES. Diagilev V.I., Kokovin V.A., Uvaysov S.U.

An investigation of the power converter circuit with a sinusoidal voltage output through computer simulation to the equivalent circuit for renewable energy sources. Calculated curves and shows the features of the implementation of such converters for renewable energy produced uneven.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) являются очень важным, а иногда и единственным компонентом системы обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей. Во многих регионах России имеется ветро- гидро- и солнечная энергия, но отсутствует централизованное электроснабжение. ВИЭ вместе с дизельными генераторами может обеспечить бесперебойное электроснабжение многих потребителей [1]. На рис.1 показана схема резервного электроснабжения на основе нескольких разнородных ВИЭ. Известно, что генерируемая ВИЭ механическая энергия может меняться во времени в значительных пределах. Соответственно меняются напряжение и частота электродвигателя (ветротурбины и т.д.).

Для связи с промышленной сетью такого электрогенератора предлагается большое число вариантов промежуточных устройств – силовых преобразователей. Один из них рассматривается в этой статье. Его блок-схема приведена на рис.1.

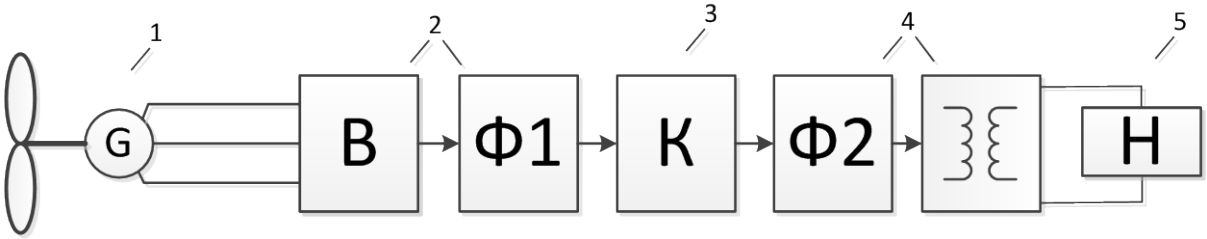


Рис.1 Блок-схема силового преобразователя: 1- ветрогенератор, 2 - тиристорный выпрямитель с фильтром, 3 – конвертор (силовой преобразователь), 4 – резонансный фильтр и согласующий трансформатор, 5 – нагрузка.

Электрогенератор выдает на вход выпрямителя различное (как уже говорилось) по величине напряжение. На его выходе благодаря изменению угла отпирания тиристоров с помощью системы импульсно-фазового управления (СИФУ) получаем стабильное постоянное напряжение, сглаженное LC-фильтром Ф1.

Для получения переменного напряжения обычно используют мостовую транзисторную схему. На одну диагональ моста подают постоянное напряжение, в другой диагонали включена нагрузка. При попарно-перекрестной коммутации транзистором моста через нагрузку протекает переменный ток прямоугольной формы. Для получения синусоидального по форме напряжения можно применить индуктивно-емкостной фильтр [2].

Эту систему – «генератор – выпрямитель - мостовой конвертор –фильтр - нагрузка» необходимо исследовать на предмет получения оптимальных по величине токов и напряжений в ее элементах при заданных и стабильных значениях выходного напряжения и мощности в нагрузке, при изменении ее сопротивления.

С этой целью составлена схема замещения для математической модели. На основании этой схемы составлена электрическая схема модели, представленная на рис.2, а в таб.1 – параметры компонентов этой схемы и их вариации.

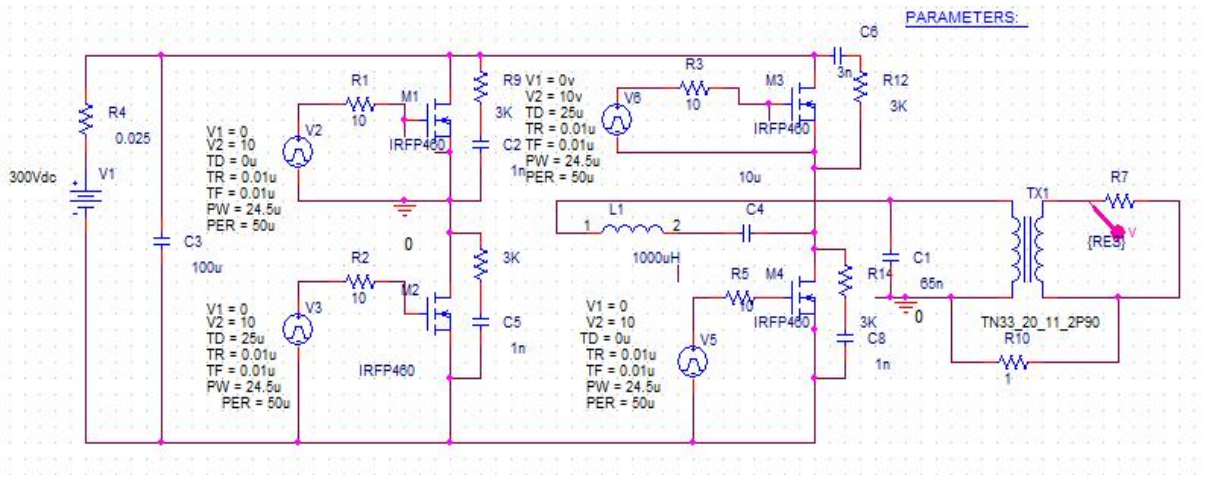


Рис.2 Схема замещения силового преобразователя для математического моделирования

Таблица 1 Параметры компонентов схемы модели

№ п.п.	Компоненты и параметры схемы	Обозначение в тексте (модели)	Значение параметра	Примечание
1	Источник питания	E(V1), В	30 , 300	Фильтровый конд. $C_ф$=100uF
		Вн.сопр.(R4), Ом	0,05, 0,2	
2	Колебательный контур фильтра	L_1, uH	1000, 250,100,50	
		C_2, nF	65,125, 250, 500	
3	Длительность импульсов управления	tи (PW), uS	14,5 24,8	tи = T/2 – 0,5uS
4	Период следования импульсов	T (PER), uS	30 uS, 50	
5	Сопротивление нагрузки	Rн (R7), Ом	10 – 800	Активное
6	Волновое сопротивление	$Z_в$, Ом	10, 20, 40	
7	Коэффициент нагрузки	$K_н$ (ед.)	1 - 10	
8	Силовые транзисторы	(M1 –M4)		JRFP-460, 500 В, 20А

В рамках математического моделирования предлагаемого силового преобразователя решаются следующие задачи:

1. Анализ работы конвертора с фильтром первой гармоники на активную нагрузку.
2. Определение оптимальных режимов работы этой системы с точки зрения надежности функционирования ее элементов (транзисторы, диоды, конденсаторы).
3. Анализ полученных данных с целью разработки методики расчета силового транзисторного преобразователя с фильтром.

Необходимо отметить особенности расчета схемы и рабочих процессов в ней. Без учета реальных свойств трансформатора TV1 можно было бы считать схему

нагрузочного контура (фильтр и активная нагрузка) состоящей из двух демпфированных колебательных контуров. Но, если назначение последовательного конденсатора C_1 заключается только в предотвращение протекания чрезмерно большого тока через транзисторы при замыкании нагрузки Rн, то величина его должна быть на один-два порядка больше чем емкость C_2. Напряжение на конденсаторе C_1 в стационарном режиме (при протекании синусоидального тока) будет значительно меньше, чем напряжение на C_2, при условии $C_1 >> C_2$. Когда происходит короткое замыкание нагрузки, к конденсатору C_1 прикладывается постоянное напряжение источника питания (через дроссель L_1 и два транзистора моста). При этом длительность протекания тока $I_{кз}$ равна $2\text{-}3\tau_{c1}$, где τ_{c1} – постоянная времени заряда конденсатора C_1.

$\tau_{c1} = \sum R_i * C_1$,

где $\sum R_i$ – суммарное активное сопротивление контура тока короткого замыкания. В этом случае, для стационарного режима работы процессы в схеме моста с фильтром будут определяться таким же образом, как и для колебательного резонансного контура при его питания двуполярным прямоугольным напряжением.

В этом случае процессы будут определяться тремя основными факторами [3]:

- Частотой колебаний

$$\omega_0 = 1/\sqrt{(L_1 C_1)} \quad (1);$$

- Величиной волнового сопротивления контура

$$Z_в = \sqrt{(L_1/C_2)} \quad (2);$$

- Величина нагрузочного коэффициента

$$K_н = R_н / Z_{в1} \quad (3).$$

Из этих выражений следует, что задавшись величинами сопротивления нагрузки $R_н$ и частотой колебаний напряжения на ней $F_н = \omega/2\pi$ мы не сможем иметь однозначную связь между индуктивностью L_1 и емкостью C_1 колебательного контура. Представляется удобным приравнять значение волнового сопротивления к сопротивлению одной их этих реактивностей, например к величине C_2.

Примем

$$R_н = x_c = 1/2\pi FC, \quad (4)$$

тогда

$$K_н = R_н/ Z_в = R/2\pi FC = 1 \quad (5)$$

Значение величины индуктивности определяется из (1) и (2).

$$L = 1/ 4\pi^2 C = t_и R_н/\pi \text{ , а} \quad (6)$$

$$C = 1/2\pi F R_н = t_и /\pi R_н , \quad (7)$$

где

- $t_и = T/2 = 1/2F$ – длительность импульса тока;
- T – период следования импульсов тока;
- $F = \omega/2\pi$ – циклическая частота;
- ω - круговая частота.

Из принципа работы схемы (рис.2) следует, что ток от источника питания проходит в нагрузку через транзисторы и дроссель два раза за период следования выходного напряжения. Все эти элементы цепи нелинейны (в различной степени). К тому же по мере увеличения тока нагрузки, при изменения ее сопротивления, увеличивается падение напряжения на транзисторах. Как правило, это тоже нелинейная зависимость $U_{эк}(I_к)$. Этот факт подтвердился при анализе идеального колебательного контура, демпфированного переменным резистором. Когда резистор в последовательной сети очень мал, кривая зависимости $U_н(R_н)$ практически линейна.

Для представления временных диаграмм токов, напряжений и мощностей f(t) и параметрические зависимости этих величин от сопротивления нагрузки $f(R_н)$ в модели

схемы замещения (рис.2) были заданы различные значения $R_н$ (в диапазоне от 10 до 1250 Ом). В таком большом интервале изменения нагрузки происходят различные по величине и характеру изменения токов, напряжений и мощностей в элементах схемы.

На рис.3 представлены зависимости $U_н(t)$, $U_{м1}(t)$ и $I_{м1}(t)$ для одного значения нагрузочного сопротивления. При напряжении питания U_{v1} = 300в напряжение на транзисторе не превышает напряжение питания и имеет прямоугольную форму, на нагрузке напряжение имеет синусоидальную форму. Ток транзистора, благодаря наличию встречно включенного диода, имеет двух полярную форму. Через этот диод происходит процесс рекуперации энергии колебательного контура в источник питания. На этом же рисунке (верхняя часть) показана серия управляющих импульсов транзистором М1.

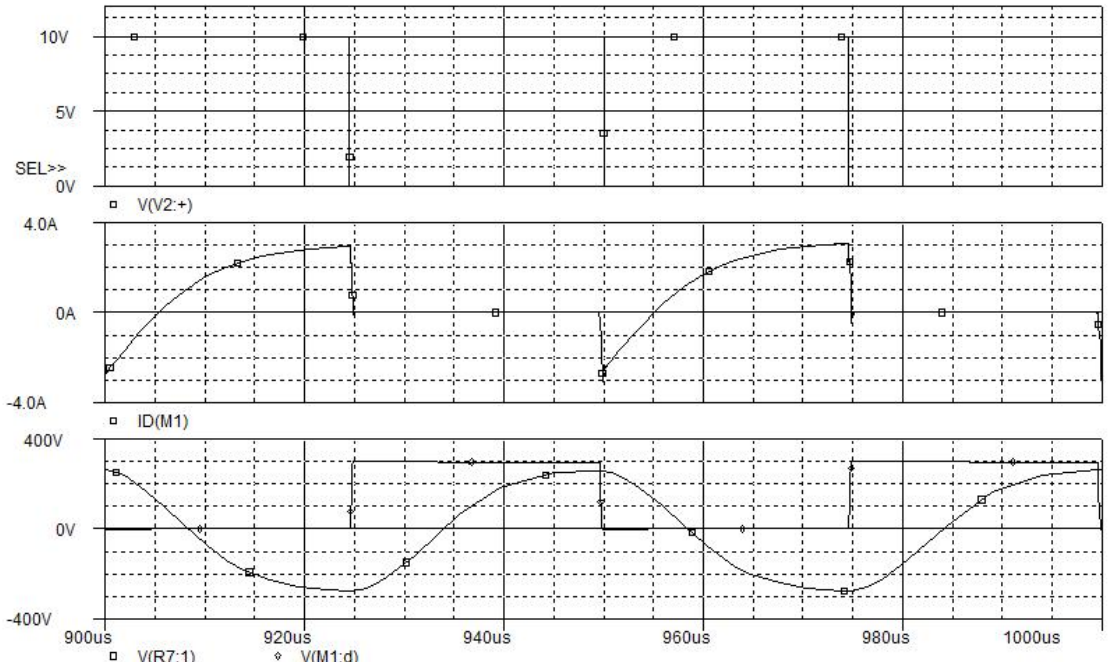


Рис.3 Функции $U_н(t)$, $U_{м1}(t)$ и $I_{м1}(t)$ для одного значения нагрузочного сопротивления

На рис.4 представлены те же зависимости (что и на рис.3) при вариации величины нагрузочного сопротивления от 125 до 1250 Ом. Кроме того, на этом рисунке представлены параметрические кривые: напряжение на нагрузке $U_н(R_н)$ и на одном из транзисторов $U_{м1}(R_н)$ от сопротивления нагрузки. Из временных диаграмм видно, что напряжение на нагрузке достигает значения 600в, при этом ток транзистора не превышает 5,6А (при $R_н$ = 1250 Ом). Вместе с тем напряжение на транзисторе по-прежнему равно $U_{м1}$ =300 в.

При выборе параметров любого источника питания, в том числе и генераторов, прежде всего необходимо знать величину выходного напряжения $U_{вых}$ и мощность в нагрузке $P_н$, которые определяются техническим заданием. В нашем случае, когда схема генератора достаточно сложна и явно нелинейна, необходимо иметь зависимости, связывающие между собой заданные величины $U_{вых}$, $P_н$ и $R_н$. Можно воспользоваться параметрическими зависимостями $U_н(R_н)$, $P_н(R_н)$ –, полученными в результате моделирования.

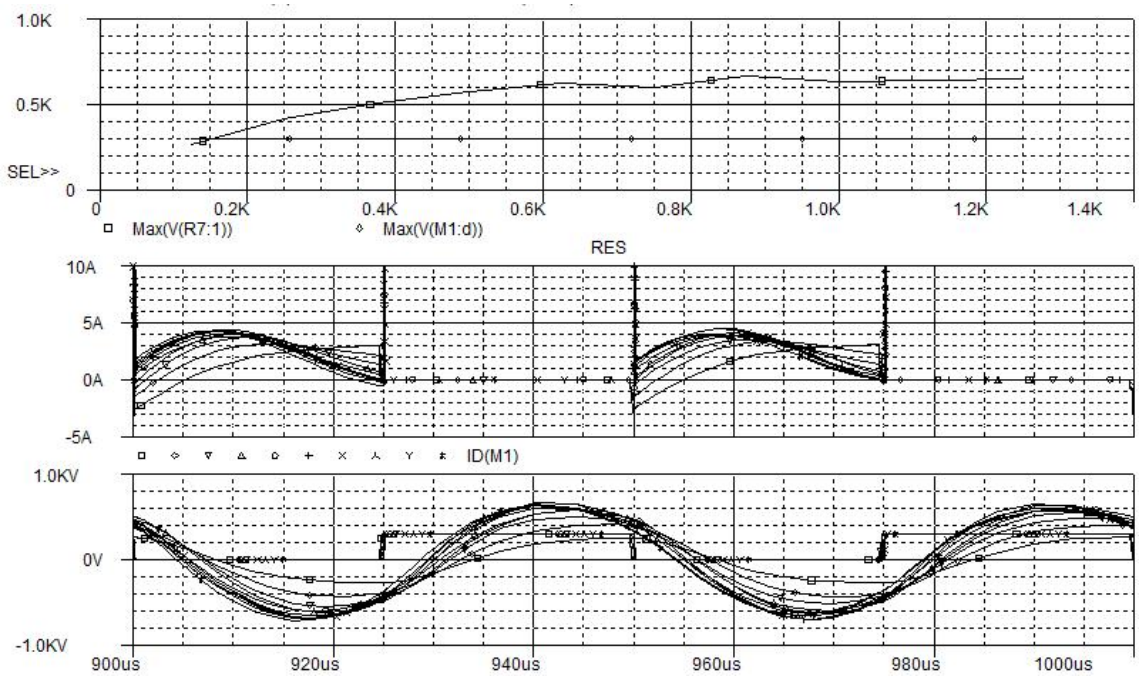


Рис.4 Функции $U_н(t)$, $U_{м1}(t)$ и $I_{м1}(t)$(для разных значений нагрузочного сопротивления), параметрические зависимости $U_н(R_н)$ и $U_{м1}(R_н)$.

На рис.5 представлены временные диаграммы мощности в нагрузке $P_н(t)$, при заданном значении величины индуктивности и емкости колебательного контура. На этом же рисунке изображена зависимость максимального значения мощности в нагрузке $P_{нм}(R_н)$ и напряжения на нагрузке $U_н(R_н)$. Следует отметить, что обе кривые имеют нелинейный характер.

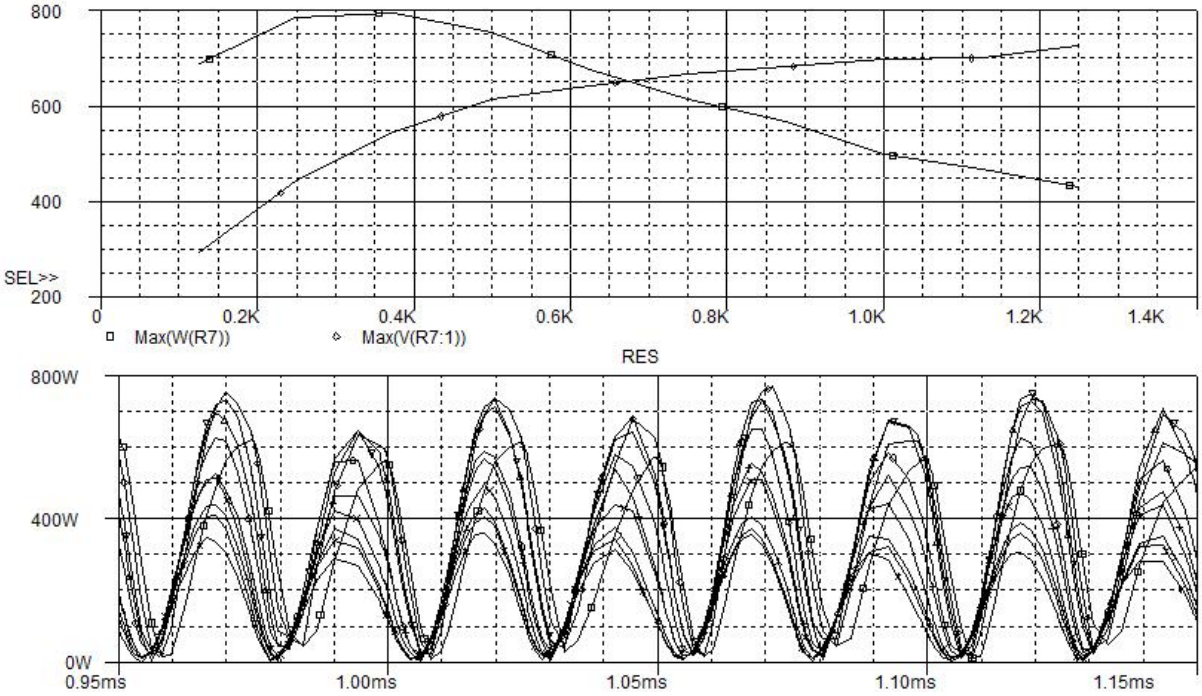


Рис.5 Параметрические кривые $P_{нм}(R_н)$, $U_н(R_н)$ и кривая мощности $P_н(t)$

Это означает, что для каждого задания исходных параметров генератора ($U_н$, $P_н$) необходимо либо пользоваться такого рода кривыми, либо составлять свою схему замещения для генератора с заданными параметрами (что предпочтительнее). Получены также кривые зависимостей средних значений мощности в нагрузке $P_{нср}(t)$ и $P_{v1ср}(t)$ – мощность, потребляемая от источника питания, представленных на рис.6

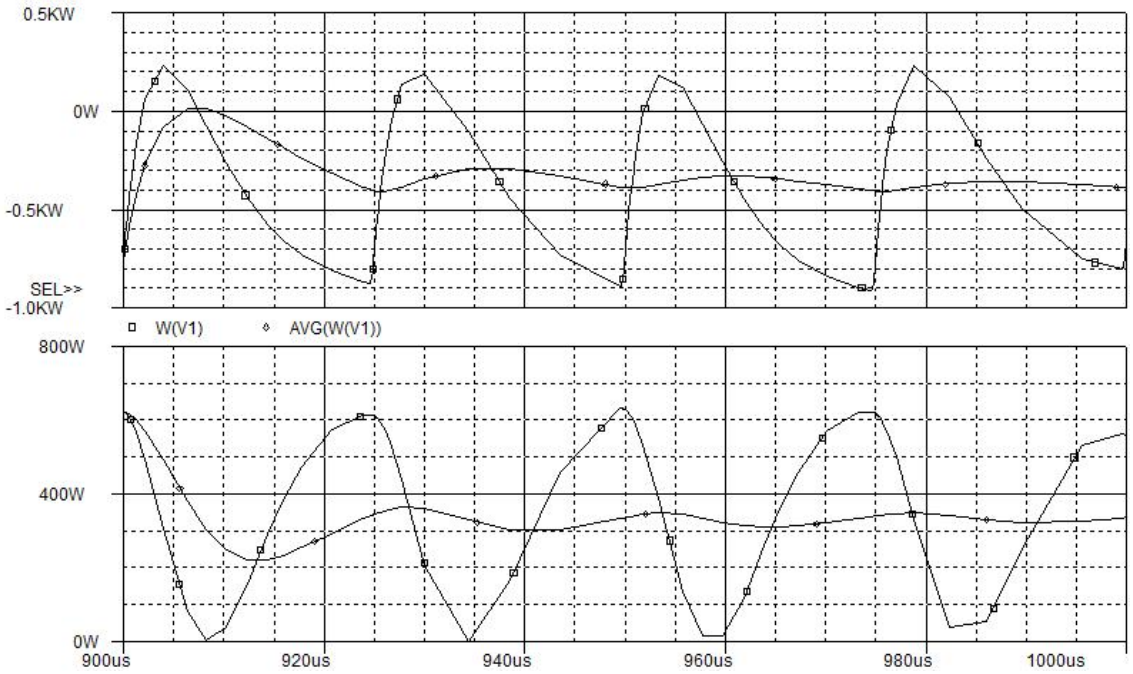


Рис.6 Временные диаграммы мощностей $P_н(t)$, $P_{v1}(t)$ и их средних значений.

В процессе моделирования были получены значения этих мощностей (см. табл.2). В этой же таблице приведены значения к.п.д., определяемые формулой $\eta = P_{н.ср.} / P_{потр..ср}$.

Таблица 2 Мощность и к.п.д. генератора

$Z_в$, ом	20	20	20	40	40	40
$R_н$, ом	$P_{нср}$, вт	$P_{dcpη}$, вт	η	$P_{нср}$, вт	$P_{dcpη}$, вт	η
10	1865	1958	0,950	1700	1800	0,960
100	8000	9800	0,810	9200	9750	0,940
200	9550	12000	0,795	9700	11500	0,843
400	9900	12650	0,780			

Как видно из таблицы, при больших мощностях к.п.д. снижается, поэтому следует отметить такие обстоятельства.

1. При больших мощностях очень велики токи, т.к. напряжения весьма невелики - всего 300в. К тому же наличие реактивностей тоже приводит к увеличению токов.
2. Потери мощности в транзисторах велики, поскольку MOSFET – транзисторы имеют повышенное падение напряжения, при значениях токов близких к предельным.
3. Для решения обозначенных проблем необходимо использовать сильноточные IGBT – модули, а на высоких частотах применять параллельное соединение MOSFET – транзисторов.

Анализ полученных результатов моделирования позволяет предложить последовательность выбора параметров источника синусоидального напряжения. Предварительно следует отметить, что для генератора прямоугольного напряжения расчет схемы весьма прост. Выходное напряжение почти равно входному питающему, ток в нагрузке равен по амплитуде потребляемому току, при этом необходимо учитывать омические потери в компонентах схемы – в транзисторах и сопротивление конструктивных элементов.

В результате проведенных исследований можно предложить следующий ход расчета параметров источника синусоидального напряжения.

Зададим в качестве исходных параметров мощность в нагрузке силового преобразователя $P_н$, напряжение $U_н$ и частоту $F_н$ на нагрузке, а также напряжение источника питания (в качестве которого применяется стабилизированный тиристорный выпрямитель, питаемый генератором ВИЭ).

Ход расчета:

- Определим $R_н = (U_н)^2/P_н$.
- По формулам (1), (2), (3), (4), (5) определяем величины L, C, $Z_в$, $K_н$.
- На основании рассчитанных параметров схемы, необходимо создать схему замещения для математической модели, исследовать ее на ЭВМ и построить зависимости $U_н(R_н)$, $P_н(R_н)$.
- Для приведения в соответствие величин, заданных и полученных с помощью параметрических кривых при необходимости можно использовать согласующий трансформатор.

Предложенная схема силового преобразователя дает возможность получить стабильное синусоидальное напряжение на выходе при изменении как входного напряжения от ветрогенератора, так и сопротивления нагрузки. Получены расчетные зависимости для определения параметров силового преобразователя.

Литература

1. Исследование и разработка систем энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Объединенный институт высоких температур РАН. М., 2007.

2. Розанов Ю. К. Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.

3. Основы радиоэлектроники: Учеб. пособие/Ю. И. Волощенко и др.; под ред. Г. Д. Петрухина. – М.: Изд-во МАИ, 1993

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Алейников А.А., Скакунов В.Н., Чумаченко И.В.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассматриваются особенности структуры супервизорной системы управления мобильным роботом, дополненной стереозрением и сенсорами. Разработаны программы для задания маршрутов движения робота и положения манипулятора по данным от видеокамер и сенсорной системы.

Remote control system for mobile robot*. Aleynikov A.A., Skakunov V.N., Chumachenko I.V.

The features of the structure of supervisory control system for mobile robot equipped with a stereo vision and sensors. Developed programs to set routes and position of the robot arm on the data from video cameras and sensor system.

Автономный режим работы роботов обеспечивается развитой системой очувствления, включающей лазерные и оптические дальномеры, гироскопы, магнитометры и, прежде всего, эффективной подсистемой технического зрения (СТЗ) [1]. В тоже время известно, что достоверность распознавания объектов и препятствий системой технического зрения сильно зависит от большого набора факторов: освещенности, загороженности сцены рабочего пространства и т.п. Во многих практических случаях поддержка автономного режима становится проблематичной.

В настоящей работе рассматриваются вопросы создания дистанционного (супервизорного) управления мобильным роботом, как системы дублирующей автономный режим работы. В качестве прототипа шагающего робота [2] выбрана модель, построенная на колесной платформе с более простой системой управления приводом на двигателях постоянного тока. В транспортный модуль входят полноприводное шести колёсное шасси Dagu Wild Thumper 6WD и манипулятор, построенный на четырех линейных двигателях (актуаторы L16 компании Firgelli Tech.) по кинематической схеме трипода [2] и установленный на поворотной платформе. Структурная схема системы управления приведена на рис.1.

Устройство управления роботом включает две отладочные платы iMX233 и плату STM32F3Discovery. Одна из плат iMX233 управляет всеми движителями платформы (актуаторы, сервомашинки, двигатели постоянного тока привода), а вторая обеспечивает работу стереокамер. Плата STM32F3Discovery является основой сенсорной системы робота. На плате размещены 3-осевые гироскоп, акселерометр и цифровой геомагнитный сенсор, к ней же подключены внешние лазерные и оптические дальномеры.

Связь ЭВМ для передачи команд управления реализована с помощью радиочастотного модуля YS1100 USB, подключенного к порту USB 2.0 платы iMX-233, в основе которой микроконтроллер ARM926EJ-S с рабочей частотой 454МГц, дополненный схемами стандартных интерфейсов, динамического ОЗУ на 64Мб, Flash-памяти объемом 256Мб и с предустановленной операционной системой Linux 2.6.31.

Вторая аналогичная плата iMX-233 служит для приема потока видеоизображений от камер, в качестве которых используются веб-камеры типа Logitech C270. В управляющую ЭВМ данные от камер передаются через WiFi-модуль ASUS USB-N10, который поддерживается операционной системой Linux и обеспечивает передачу со скоростью до 150 Мбит/с на расстояние до 150м. К плате приемопередатчик и веб-камеры подключаются с помощью внешнего USB-концентратора.

Для шифрования передаваемых данных применяется стандарт WPA2, а для его поддержки в систему устанавливается пакет wpa_supplicant, и запускается одноименный процесс в режиме службы. Разработаны формат команд от управляющей ЭВМ и программы, реализующие предложенные ранее алгоритмы [1] обработки изображения для управления роботом. Проведенные экспериментальные исследования макета робота показали эффективность предлагаемых схемных решений и алгоритмов, допускающих дистанционное управление роботом в недетерминированной окружающей среде.

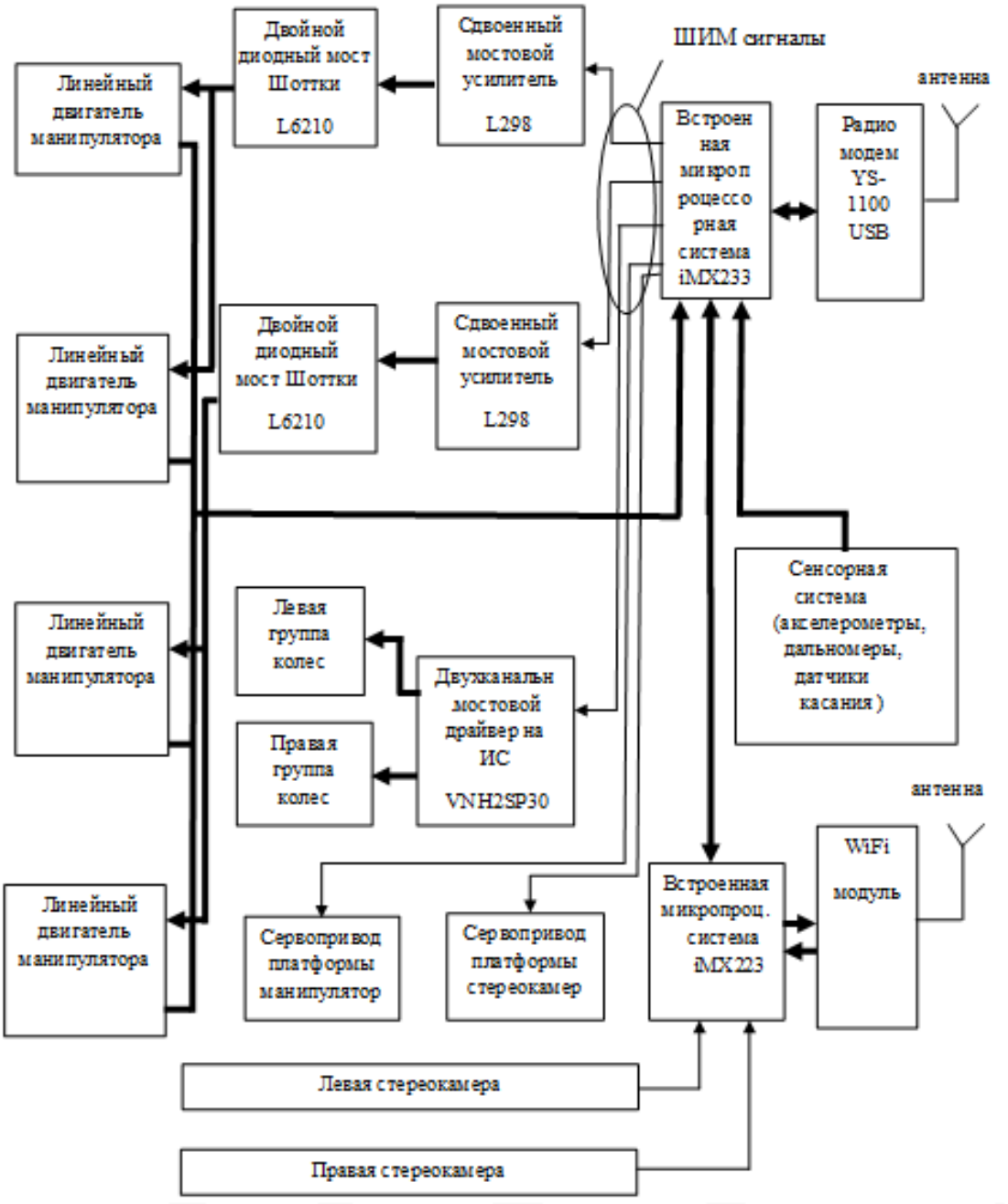


Рисунок 1 – Структурная схема системы управления

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-08-00301-а)

Литература

1. Адаптация алгоритмов технического зрения для систем управления шагающими машинами / С.А. Быков, А.В. Еременко, Ан.Е. Гаврилов, В.Н. Скакунов // Изв. ВолгГТУ. Серия "Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах". Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2011. - № 3. - С. 52-56.

2. Аварийно-спасательный робот высокой профильной проходимости / В.В. Жога, В.Н. Скакунов, А.В. Еременко, П.В. Федченков, В.М. Герасун, И.А. Несмиянов, В.В. Дяшкин-Титов, В.Е. Павловский // Экстремальная робототехника: труды. межд. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург: Изд-во «Политехника-сервис», 2011.- С. 138-141.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 20 С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Бондарев А.А., Крайнев Д.В., Ингеманссон А.Р., Полянчиков Ю.Н., Козачухненко И.Н.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассматривается математическая модель, описывающая закономерности формирования шероховатости при точении с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности. В качестве представителя класса конструкционных углеродистых сталей выбрана Сталь 20.

Mathematical model of process of formation of the roughness when turning constructional carbonaceous steel 20 with advancing plastic deformation. Bondarev A.A., Krainev D.V., Ingmansson A.R., Polyancikov Y.N., Kozachuhnenko I.N.

The mathematical model describing regularities of formation of a roughness at turning with the advancing plastic deformation (APD) on a processed surface is considered. Steel 20 is chosen as the representative of a class constructional carbonaceous steels.

Конструкционные углеродистые стали широко применяются в машиностроении для изготовления деталей машин, к которым предъявляются требования высокой поверхностной твердости и износостойкости при невысокой прочности сердцевины. Повышение эффективности обработки точением конструкционных углеродистых сталей является актуальной задачей.

Резание с опережающим пластическим деформированием (ОПД), совмещающее стадии предварительного поверхностного пластического деформирования и последующего съема припуска на обработку режущим инструментом, является комбинированным методом обработки, позволяющим получить комплексный результат повышения эффективности процесса резания. Изменение физико-механических свойств обрабатываемого материала после стадии ОПД обусловливает формирование таких условий протекания физических процессов в зоне резания, которые способствуют снижению работы стружкообразования, нагрузок на режущий клин, улучшению условий контактного взаимодействия и формирования новой поверхности [1].

Исследованиями установлено, что точение конструкционных легированных сталей с ОПД по обрабатываемой поверхности позволяет значительно улучшить микропрофиль получаемой поверхности и повысить производительность процесса резания. Так, при точении с ОПД конструкционной углеродистой Стали 20 происходило снижение значения среднего арифметического отклонения профиля *Ra* до 2,5 раз по сравнению с традиционной обработкой. Одинаковые значения *Ra* получались при традиционном точении на одних подачах и при резании на больших подачах предварительно продеформированного металла.

Для расширения возможностей практического применения способа резания с

ОПД в свете представленных его преимуществ необходимо построить математическую модель влияния основных параметров обработки на качество получаемой поверхности.

Исследования выполнялись для чистового точения (глубина резания t=0,5 *мм*) конструкционной углеродистой Стали 20 (сортовой прокат, состояние поставки, $\sigma_{0,2}$=296 *МПа*). Инструмент был представлен сменными многогранными твердосплавными пластинами формы W (α=0^o (ISO 1832-1991)); радиус сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок r=0,8 *мм*. Обработка выполнялась без смазочно-охлаждающих технологических сред. В качестве факторов, определяющих значение функции отклика (*Ra*), были выбраны: скорость резания, теплопроводность инструментального материала, подача и коэффициент ОПД.

$$K_{ОПД} = \frac{h_{нак}}{t}, \quad (1)$$

где $h_{нак}$ – глубина наклепанного поверхностного слоя, *мм*;

t – глубина резания, *мм*.

Для исследований приняты, как наиболее часто рассматриваемые, математические модели следующих спецификаций: аддитивная (линейная) и мультипликативные (степенная и показательная).

Задача использования математических методов планирования экспериментов состоит в том, чтобы после реализации опытов получить математическое описание функции отклика в виде математической модели, связывающей эту функцию с варьируемыми факторами. Минимальный и достаточный объем статистической выборки, на основании которой выполняется моделирование, определяется в зависимости от спецификации модели и количества рассматриваемых факторов (в данном исследовании 4) и равен:

– для аддитивной модели: $k_{\min} = 2^n = 2^4 = 16$; (2)

– для мультипликативных моделей $k_{\min} = 3^n = 3^4 = 81$, (3)

где k_{min} – количество независимых опытов при полном факторном эксперименте;

n – число факторов.

Корректная оценка степени влияния факторов на характер и величину функции отклика возможна только при условии сопоставимости значений всех факторов и собственно целевой функции. Поскольку рассматриваемые факторы имеют различный масштаб, было выполнено нормирование исходных данных по правилам соответствующим регрессионным моделям различных спецификаций.

Средняя относительная погрешность (расхождение значений *Ra*, рассчитанных по модели и полученных опытным путем) линейной модели ниже аналогичных параметров степенной и показательной (8,78 % – линейная;18,15 % – степенная; 18,44 % – показательная), что является преимуществом. Степень влияния на шероховатость поверхности случайных факторов, выражаемая соответствующим коэффициентом регрессии, у линейной модели равна по абсолютной величине 0,01, т. е. незначительна. У степенной и показательной моделей влияние случайных факторов характеризуется абсолютной величиной 0,28, что весьма существенно на фоне принятых в исследовании факторов. Таким образом, линейная модель облегчает дальнейший прогноз качества поверхности после токарной обработки с ОПД.

Регрессионная математическая модель влияния основных параметров обработки резанием с ОПД на показатель среднего арифметического отклонения профиля Ra обработанной поверхности при точении конструкционной углеродистой Стали 20 реализуется в виде следующей зависимости:

$$Ra = 2{,}52 - 0{,}005 \times V + 0{,}008 \times \lambda + 3{,}09 \times S_O - 0{,}39 \times K_{ОПД}, \quad (4)$$

где V – скорость резания, *м/мин*;
λ – теплопроводность инструментального материала, *Вт/м·К*;
S_o – подача, *мм/об*;
$K_{ОПД}$ – коэффициент ОПД.

Эта формула позволяет рассчитать значение шероховатости при традиционном точении и с ОПД, т. е. спрогнозировать повышение эффективности процесса резания при изучаемом способе и учесть это в технологическом маршруте обработки. Диапазоны варьирования факторов (например, скорости резания 90-180 *м/мин*) и условия обработки для практического применения зависимости описаны выше.

Таким образом, создана математическая модель, описывающая закономерности формирования шероховатости при точении конструкционных углеродистых сталей с ОПД по обрабатываемой поверхности. Регрессионный анализ позволил выявить характер зависимости функции отклика и величину влияния каждого из факторов на нее. Предложена формула для расчета среднего арифметического отклонения профиля *Ra*, расширяющая возможности применения способа резания с ОПД в практике механической обработки.

Литература

1. Полянчиков Ю.Н. Совершенствование получистового и чистового точения нержавеющих и жаропрочных сталей путем использования опеежающего пластического дефомирования / Ю.Н. Полянчиков, Д.В. Крайнев, П.А. Норченко, А.Р. Ингеманссон; Науч. ред. А.П. Бабичев; ВолгГТУ – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 155 с.

ВОЗМОЖНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ САПР НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Дятлов М.Н., Тодорев А.Н.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Перечислены основные требования, предъявляемые к машиностроительным системам проектирования. Выполнен обзор типичных систем CAD/CAM/CAE проектирования.

Possibilities machine-building CAD system at the design stage

Dyatlov M.N., Todorev A.N.

The basic requirements shown to machine-building systems of designing are listed. The review of typical systems CAD/CAM/CAE of designing is executed.

В настоящее время на российских промышленных предприятиях довольно интенсивно идет процесс внедрения систем автоматизированного проектирования конструкций и технологий. В современных условиях, когда необходимо резко сократить сроки разработки и изготовления новых изделий, повысить их качество, использование систем САПР представляется едва ли не единственной возможностью решения этих задач. К сожалению, финансовое положение большинства предприятий таково, что о массовом применении САПР приходится только мечтать. Однако факты говорят, по крайней мере, об огромном интересе к данной проблеме со стороны потенциальных пользователей, число которых на российском рынке поистине огромно [1].

Перечислим основные требования, предъявляемые к машиностроительным системам проектирования:

1) Система должна быть максимально простой в освоении и эксплуатации. Именно эта особенность системы в состоянии обеспечить массовое внедрение системы в реальном производстве и обеспечить достижение желаемых результатов. Разумеется, простота использования ни в коей мере не должна означать ограниченные возможности системы.

2) Обладать достаточно низкой стоимостью.

3) Система обязана общаться с пользователем на его родном языке, причем русскоязычный интерфейс должен быть полным и естественным, чего часто явно не хватает локализованным для России версиям зарубежных систем.

4)Система должна обеспечивать полную поддержку ЕСКД. Эта поддержка должна быть встроена в само ядро системы, а не быть выполнена в виде неких дополнительных модулей. На оформление готового чертежа (простановка размеров, шероховатостей, допусков формы и расположения поверхностей и т.д.) уходит подчас не меньше времени, чем на собственно графическую часть [2].

5) Система должна быть модульной. Пользователь должен иметь свободу выбора при комплектации системы для снижения стартовых расходов на приобретение за счет закупки только тех модулей, которые действительно необходимы на данном этапе. Модульный характер архитектуры системы обеспечивает возможность наращивания ее возможностей за счет приобретения дополнительных модулей по мере необходимости.

6) Система должна иметь собственные средства для создания пользовательских приложений, что позволит разрабатывать собственные прикладные автоматизированные системы, которые будут полностью совместимы с базовой графической системой.

7) Система должна быть открытой для связи с другим программным обеспечением, должна обеспечивать доступ к хранящейся в ее графических документах информации из других приложений и давать возможность генерировать графические документы по данным, поступающим извне.

Система автоматизированного проектирования (САПР) или CAD (англ. Computer-Aided Design) — программный пакет, предназначенный для создания чертежей, конструкторской и/или технологической документации и/или 3D моделей.

Современные системы автоматизированного проектирования (CAD) обычно используются совместно с системами автоматизации инженерных расчетов и анализа CAE(Computer Aided Engineering). Данные из CAD-систем передаются в CAM (Computer Aided Manufacturing) (система автоматизированной разработки программ обработки деталей для станков с ЧПУ).

Системы автоматизированного проектирования в машиностроении можно классифицировать, условно, по уровню цен и возможностей, предоставляемых системой, на САПР тяжелого, среднего и легкого классов (Таблица 1).

К тяжелому классу можно отнести системы комплексного трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического моделирования с широким набором специализированных модулей, библиотеками, средствами анализа, управления проектом, разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, возможностью оформления чертежей, обмен данными, и т.д. – CAD/CAM/CAE/PDM. Основные представители на рынке: CATIA(Dassault Systemes), NX(Siemens PLM Software), Pro/ENGINEER (Parametric Technology Corp.) Системы тяжелого класса закрывают собой практически все области проектирования: от разработки изделий и оснастки до проведения инженерных расчетов и изготовления. Несмотря на то что системы имеют

высокую стоимость, затраты на их приобретение окупаются, когда речь идет о сложном производстве, например, производство турбин, авиационная и аэрокосмическая промышленность.

Таблица 1. Типичные системы CAD/CAM/CAE

Область применения	Программы	Интегрированные системы
CAD: двумерные чертежи	AutoCAD LT, AutoCAD Mechanical, КОМПАС-ГРАФИК, nanoCAD Механика, T-FLEX CAD 2D	CATIA, NX, Pro/ENGINEER
CAD: твердотельное моделирование	SolidWorks, SolidEdge, Inventor, КОМПАС-3D, T-FLEX CAD 3D	
CAM	ADEM, T-FLEX ЧПУ, Mastercam, SolidCAM, EdgeCAM	
CAE	Ansys, Nastran, APM WinMachine	

Существует целый ряд систем, обладающих развитыми функциональными возможностями при доступной (для предприятий среднего и малого бизнеса), стоимостью. Такого рода системы являются системами так называемого среднего класса. К ним, условно, можно отнести следующие программные продукты: Autodesk Inventor (Autodesk), SolidWorks (Dassault Systemes), SolidEdge (Siemens PLM Software), КОМПАС-3D (АСКОН) и другие. В настоящее время системы среднего класса очень популярны и поэтому быстро развиваются, приближаясь по своим возможностям к САПР тяжелого класса [3].

Те предприятия, которые в основном работают с двумерными чертежами, подойдут системы легкого класса, которые являются наиболее доступными по цене (КОМПАС-ГРАФИК, AutoCAD LT) и другие [4].

Прежде всего, стоит определить, нужно ли вообще переходить от 2D к 3D. Ведь инвестиции имеют смысл только тогда, когда полученная выгода оправдает затраты. Если, допустим, продукция предприятия не часто подвергается изменениям, может быть полностью отражена с помощью двух-трех чертежей, не требует инженерных расчетов или создания программ для станков с ЧПУ, то, возможно, 3D-система вообще не требуется . По мнению специалистов, не стоит переходить на 3D только ради упрощения подготовки чертежей, так как это вряд ли принесет экономическую выгоду [5].

При выборе системы твердотельного параметрического моделирования, на наш взгляд, стоит обратить внимание на SolidWorks. В этом пакете программ можно не только создавать твердотельные модели различной сложности, но и выполнять инженерные расчеты с помощью ряда приложений. К ним относятся: COSMOSWorks- прочностной расчет деталей, COSMOSMotion- расчет кинематики и динамики механизма, COSMOS FloWorks- расчет течений газа или жидкости и другие.

Литература

1. Использование твердотельного моделирования при графической подготовке студентов ВолгГТУ/ Г.В. Ханов, Н.В. Федотова, А.Н. Тодорев, М.Н. Дятлов //Изв. ВолгГТУ. Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе». Вып. 9: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ.- Волгоград, 2012.-№11 (98). – С. 160-162.

2. Ханов Г.В. Твердотельное геометрическое моделирование в ходе подготовки магистров/ Г.В. Ханов, Е.Н. Асеева, М.Н. Дятлов //Изв. ВолгГТУ. Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе». Вып. 7: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ.- Волгоград, 2010.-№8.-С.199-203.

3. Ханов Г.В. Основные возможности машиностроительных САПР среднего уровня в процессе проектирования/ Г.В. Ханов, М.Н. Дятлов // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: сб. ст. II Междунар. научно-техн. конф., июнь 2006 г./ Приволжский Дом знаний и др.- Пенза, 2006.-С. 106-108.

4. Ханов Г.В. Анализ машиностроительных САПР низшего уровня / Г.В. Ханов, М.Н. Дятлов, Н.В. Свяжин // Волжский технологический вестник. – 2006.- №4.-С.44-45.

5. Ханов Г.В. Анализ программ моделирования изделий из листового материала / Г.В. Ханов, Н.В. Свяжин, М.Н. Дятлов // Волжский технологический вестник. – 2006.- №4.-С.46-47.

СОВРЕМЕННЫЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕГКОГО КЛАССА

Дятлов М.Н., Тодорев А.Н.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрены основные машиностроительные системы проектирования легкого класса. Указаны общие функциональные возможности, присущие типичным системам.

Modern machine-building systems designing of the easy class. Dyatlov M.N., Todorev A.N.

The basic machine-building systems of designing of an easy class are considered. The general functionality inherent in typical systems is specified.

На сегодняшний день большое распространение в инженерных кругах получили чертежные программы для компьютеров. Еще их называют системы автоматизированного проектирования (САПР). Они помогают достаточно быстро подготовить чертежи и вывести их при помощи плоттера на лист ватмана. Если провести сравнение между двумя инженерами, один из которых чертит при помощи линейки карандаша и кульмана, а у второго компьютер и чертежные программы, то последний получит готовый чертеж в разы быстрее [1]. Сегодня на многих предприятиях инженеры изготавливают чертежи, используя чертежные программы. Системы автоматизированного проектирования (САПР, CAD – Computer Aided Design) являются незаменимым инструментом конструктора, инженера, дизайнера при разработке нового или модификации уже выпускаемого изделия [2]. Тем предприятиям, кто в основном работает с двумерными чертежами, подойдет система легкого класса, которая является наиболее доступной по цене. Такая система может быть 2D-модулем более мощной системы проектирования. К ним относятся системы, двухмерного машиностроительного проектирования и оформления чертежей, в основном облегчающие процедуру создания конструкторской документации [3].

К системам легкого класса, условно, можно отнести такие программные продукты, как: AutoCAD LT, AutoCAD Mechanical (Autodesk), КОМПАС – ГРАФИК (АСКОН), и другие. (Таблица 1)

Такие системы могут располагать некоторыми трехмерными возможностями, библиотеками, средствами визуализации проекта. Но у них нет тех мощных инструментов и возможностей, которыми обладают системы среднего и тяжелого классов. Эти продукты проще в использовании и дешевле своих более мощных собратьев [4].

Самая популярная инженерная программа в России – это AutoCAD.

Таблица 1. Основные системы легкого класса

Фирма, страна производитель	Программный продукт	Стоимость коммерческой версии, руб.
Autodesk, США	AutoCAD LT 2013	35000
Autodesk, США	AutoCAD Mechanical 2013	140000
АСКОН, Россия	КОМПАС-ГРАФИК	55000+стоимость библиотек стандартных элементов
Нанософт, Россия	nanoCAD Механика 3.x	23100
Топ Системы, Россия	T-FLEX CAD 2D	44850

Она немного сложна для освоения, но имеет ряд возможностей для автоматизации черчения в деятельности проектировщика, что делает его нужным. Чтобы качественно освоить такую чертежную программу, вам необходимо найти методическое пособие и последовательно изучить и опробовать все разделы. AutoCAD LT – это САПР для создания и детализированной обработки чертежей. Расширенный набор команд двумерного черчения позволяет создавать чертежи, изменять их и выпускать рабочую документацию к проектам. . AutoCAD LT 2013 позволяет включать в чертежи внешнюю информацию, полученную от коллег и заказчиков, например DWG-файлы, изображения в форматах JPEG и TIF, таблицы Microsoft Excel и подложки в форматах DWF™ и PDF. AutoCAD Mechanical 2013 - это AutoCAD для машиностроителей. Он содержит полный набор функций AutoCAD, к которым добавлены специализированные возможности для машиностроительного проектирования. AutoCAD Mechanical автоматизирует многие стандартные проектные задачи, такие как создание компонентов механизмов, нанесение размеров или формирование спецификаций. Программа поддерживает общепринятые стандарты оформления чертежей, а также включает библиотеку, содержащую более 700 тысяч стандартных деталей [5]. КОМПАС-ГРАФИК предоставляет широкие возможности автоматизации проектных работ разного профиля. Система эффективно решает задачи 2D-проектирования и выпуска документации. Встроенная спецификация позволяет формировать разнообразные спецификации, ведомости и прочие табличные документы при проектировании. [6]

NanoCAD Механика предоставляет широкие возможности в области автоматизации проектно-конструкторских работ в различных отраслях промышленности. Система обладает всеми необходимыми средствами для проектирования машиностроительных объектов. В распоряжении пользователей – детали машин, механизмов и систем по стандарту ГОСТ и унифицированные компоненты, а также возможность выполнять инженерные расчеты с отображением результатов на модели, оформлять чертежи по ЕСКД и многое другое [7].

Процесс 2D-проектирования в программе T-FLEX CAD 2D отличается от черчения тем, что конструктор создает чертеж не в виде набора линий, а в виде

математической модели с параметрами, при изменении которых происходят изменения конфигурации детали, взаимные перемещения деталей в сборке, выполняются различные расчеты, может изменяться состав изделия (моделируются варианты исполнений). В процессе 2D-проектирования конструктор моделирует функционирование изделий, а инструменты параметризации позволяют избежать ошибок, повышая эффективность работы [8].

Перед специалистами конструкторских и технологических подразделений, которые переходят или планируют перейти на автоматизированную разработку конструкторской документации, встает вопрос, какую именно систему выбрать из тех, что предлагает рынок. Сейчас пользователь имеет возможность выбора из нескольких зарубежных и отечественных систем разного класса и разной стоимости. Выбор базовой системы имеет принципиальный характер и оказывает огромное влияние как на сроки реализации программ автоматизации, так и на скорость достижения реальных результатов, ради которых, собственно, и затеваются мероприятия по автоматизации.

Решение серьезной проблемы требует столь же серьезного подхода. Ошибка на данном этапе может привести к получению отрицательных результатов, что приводит к потере средств и времени, а также оказывает негативное влияние на саму идею автоматизации. Последующий переход на другую систему хотя и возможен, но носит довольно болезненный характер. Выбирать программу для каждого придется лично. Все зависит от того что вы хотите от нее получить. Если вы планируете чертить 2D чертежи, то вам следует, на наш взгляд, выбирать между отечественными производителями. В них обеспечивается полная поддержка ЕСКД, русскоязычный интерфейс, обилие библиотечных элементов и достаточно низкая стоимость.

Литература

1. Использование твердотельного моделирования при графической подготовке студентов ВолгГТУ/ Г.В. Ханов, Н.В. Федотова, А.Н. Тодорев, М.Н. Дятлов //Изв. ВолгГТУ. Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе». Вып. 9: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ.- Волгоград, 2012.-№11 (98). – С. 160-162.

2. Ханов Г.В. Твердотельное геометрическое моделирование в ходе подготовки магистров/ Г.В. Ханов, Е.Н. Асеева, М.Н. Дятлов //Изв. ВолгГТУ. Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе». Вып. 7: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ.- Волгоград, 2010.-№8.-С.199-203.

3. Ханов Г.В. Основные возможности машиностроительных САПР среднего уровня в процессе проектирования/ Г.В. Ханов, М.Н. Дятлов // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: сб. ст. II Междунар. научно-техн. конф., июнь 2006 г./ Приволжский Дом знаний и др.- Пенза, 2006.-С. 106-108.

4. Ханов Г.В. Анализ машиностроительных САПР низшего уровня / Г.В. Ханов, М.Н. Дятлов, Н.В. Свяжин // Волжский технологический вестник. – 2006.- №4.- С.44-45.

5. Официальный сайт компании Autodesk (autodesk.ru).

6. Официальный сайт компании АСКОН (ascon.ru).

7. Официальный сайт компании Нанософт (nanocad.ru).

8. Официальный сайт компании Топ Системы (tflex.ru).

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕГКОГО КЛАССА

Дятлов М.Н., Тодорев А.Н.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрен общий алгоритм операций при выполнении графических работ в наиболее популярных машиностроительных системах проектирования легкого класса.

Improvement of quality of the design documentation at use of machine-building systems designing of the easy class. Dyatlov M.N., Todorev A.N.

The general algorithm of operations is considered at performance of graphic works in the most popular machine-building systems of designing of an easy class.

В настоящее время проектирование на основе той или иной CAD-системы является стандартом при проведении комплекса проектно-конструкторских работ [1]. Столь широкое применение компьютерного конструирования предполагает и соответствующее предложение на рынке CAD. В общем случае, на рынке программного обеспечения для конструкторов предлагаются программные продукты, специализированные и адаптированные для проектирования практически в любой отрасли промышленности, науки и техники [2].

AutoCAD – самая популярная в мире система автоматизированного проектирования и выпуска рабочей конструкторской и проектной документации. С его помощью создаются двумерные и трехмерные проекты различной степени сложности в области архитектуры и строительства, машиностроения и т.д. [3]. Формат хранения данных AutoCAD де-факто признан международным стандартом хранения и передачи проектной документации.

AutoCAD LT – это САПР для создания и детализированной обработки чертежей. Расширенный набор команд двумерного черчения позволяет создавать чертежи, изменять их и выпускать рабочую документацию к проектам [4]. Содержит функции для выпуска 2D-документации и совместной работы с высокой производительностью. Продукт поддерживает платформы Windows и Mac. Основные функциональные возможности рассмотрим в виде схемы на рис.1

AutoCAD Mechanical 2013 - это AutoCAD для машиностроителей.
Он содержит полный набор функций AutoCAD, к которым добавлены

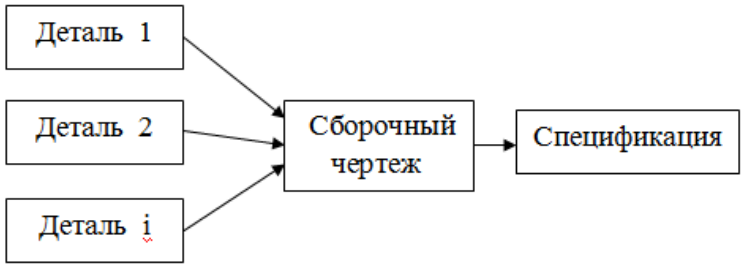


Рис.1 Общий алгоритм операций при выполнении графических работ в AutoCAD LT

специализированные возможности для машиностроительного проектирования. AutoCAD Mechanical автоматизирует многие стандартные проектные задачи, а также

включает библиотеку, содержащую более 700 тысяч стандартных деталей [5]. Основные функциональные возможности рассмотрим в виде схемы на рис.2

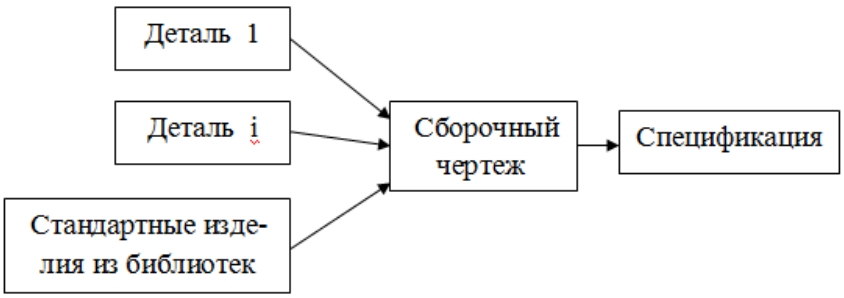


Рис.2 Общий алгоритм операций при выполнении графических работ в AutoCAD Mechanical

КОМПАС-ГРАФИК предоставляет широкие возможности автоматизации проектных работ разного профиля. Система эффективно решает задачи 2D-проектирования и выпуска документации [6]. Спецификации можно как размещать в чертежах (несколько на одном листе), так и выпускать самостоятельным документом. В Строительной конфигурации КОМПАС создано более 50 стилей по ГОСТ, кроме того, предусмотрен простой способ создавать пользовательские формы спецификаций. Существует несколько режимов формирования спецификации: автоматический (при использовании библиотечных элементов данные в спецификацию заносятся автоматически; элементы «знают», в какие формы спецификаций они должны передать информацию); полуавтоматический (занесение данных в спецификацию путем последовательного описания графических элементов на чертеже как объектов спецификации); ручной режим (ручное заполнение данных в формы спецификаций). Необходимо отдельно отметить встроенный инженерный текстовый редактор, который позволит избежать затрат на офисные текстовые редакторы. Средства импорта/экспорта графических документов (КОМПАС-ГРАФИК поддерживает форматы DXF, DWG и ряд других) позволяют организовать обмен данными со смежниками и заказчиками, использующими другие чертежно-графические системы. Основные функциональные возможности рассмотрим в виде схемы на рис.3

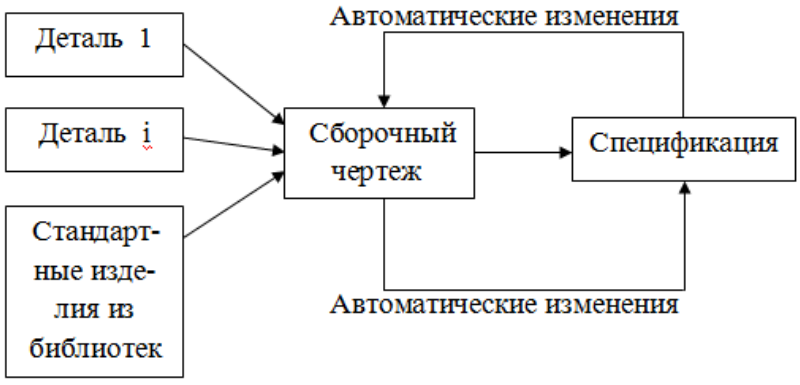


Рис.3 Общий алгоритм операций при выполнении графических работ в КОМПАС-ГРАФИК

На сегодняшний день разработано достаточное количество подобного рода программ. Однако они, в основном, ориентированы на выполнение определенного рода

задач. Нами были отобраны наиболее популярные программы, отвечающие предъявляемым требованиям, учитывающие специфику машиностроительного производства.

В КОМПАС уже есть все необходимые инструменты. Кроме того, программу можно укомплектовать только необходимыми для вас библиотеками, таким образом, получив оптимальный по функциональности и цене инструмент. У КОМПАС богатая библиотека, готовые форматы чертежей, спецификаций. Отечественным разработчикам удалось за последние годы принципиально изменить ситуацию. Теперь у потребителя есть реальная возможность получить в свое распоряжение систему, которая является полностью функциональным и готовым к немедленному использованию инструментом.

Литература

1. Использование твердотельного моделирования при графической подготовке студентов ВолгГТУ/ Г.В. Ханов, Н.В. Федотова, А.Н. Тодорев, М.Н. Дятлов //Изв. ВолгГТУ. Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе». Вып. 9: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ.- Волгоград, 2012.-№11 (98). – С. 160-162.

2. Ханов Г.В. Твердотельное геометрическое моделирование в ходе подготовки магистров/ Г.В. Ханов, Е.Н. Асеева, М.Н. Дятлов //Изв. ВолгГТУ. Серия «Новые образовательные системы и технологии обучения в вузе». Вып. 7: межвуз. сб. науч. ст./ ВолгГТУ.- Волгоград, 2010.-№8.-С.199-203.

3. Ханов Г.В. Основные возможности машиностроительных САПР среднего уровня в процессе проектирования/ Г.В. Ханов, М.Н. Дятлов // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: сб. ст. II Междунар. научно-техн. конф., июнь 2006 г./ Приволжский Дом знаний и др.- Пенза, 2006.-С. 106-108.

4. Ханов Г.В. Анализ машиностроительных САПР низшего уровня / Г.В. Ханов, М.Н. Дятлов, Н.В. Свяжин // Волжский технологический вестник. – 2006.- №4.- С.44-45.

5. Официальный сайт компании Autodesk (autodesk.ru).

6. Официальный сайт компании АСКОН (ascon.ru).

ПРИМЕНЕНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ КЛАССА D ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИСТОЧНИКОВ НАПРЯЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Гудков Ю.И., Жаднов В.В., Тув А.Л.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассмотрены вопросы применения усилителей класса D в источниках питания. Показано, что в применение таких усилителей позволяет существенно повысит КПД и надежность источников. Приведена структурная схема источника напряжения синусоидальной формы с усилителем класса D.

The use of class-D amplifiers with the development of sources of voltage sine. Y.I. Gudkov, V.V. Zhadnov, A.L. Tuv.

Considered are the issues of application of class-D amplifiers in the sources of power. It is shown that the application of such amplifiers allows you to significantly improve the efficiency and reliability of the sources. A block diagram of the voltage source sinusoidal form of the class-D amplifier.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Одним из бурно развивающихся направлений техники является разработка новых видов источников видимого света. Существуют химические составы, которые под воздействием приложенного высоковольтного напряжения (порядка 100-130 В) синусоидальной формы частотой 400-700 Гц начинают светиться с высокой интенсивностью и равномерностью излучения. Потребляемая таким источником света мощность зависит от геометрических размеров источника и может колебаться в диапазоне от 3 до 100 ВА. Вопросам разработки источников питания для такого класса задач посвящена данная статья.

Типовая схема линейных преобразователей такого типа хорошо известна и приведена на рис. 1.

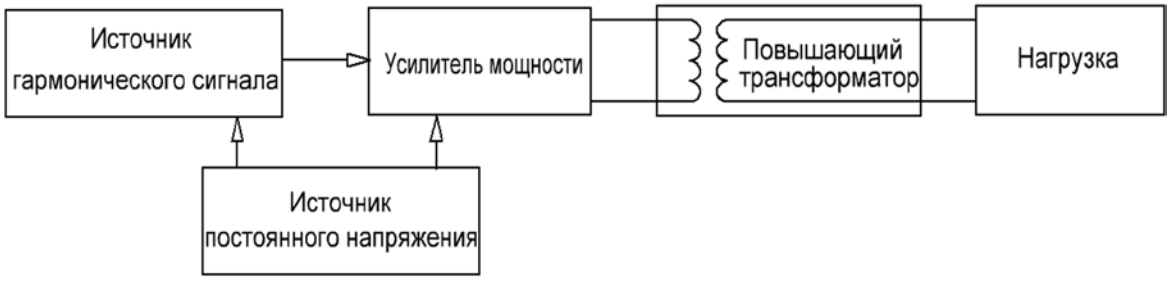


Рисунок 1. Типовая схема источника синусоидального напряжения

Весьма часто амплитуду и частоту колебаний необходимо изменять в ходе работы в зависимости от условий функционирования, поэтому в состав источника гармонического сигнала вводят микроконтроллер в качестве программируемого регулятора. Наличие в составе микроконтроллера встроенного ЦАП невысокой, как правило, разрядности позволяет относительно просто получать на выходе контроллера непосредственно аналоговый сигнал, при этом легко регулировать выходную частоту и амплитуду сигнала. В качестве примера на рис. 2 приведена структурная схема модуля ЦАП микроконтроллера PIC 18f 14k50 производства компании MicroChip [1].

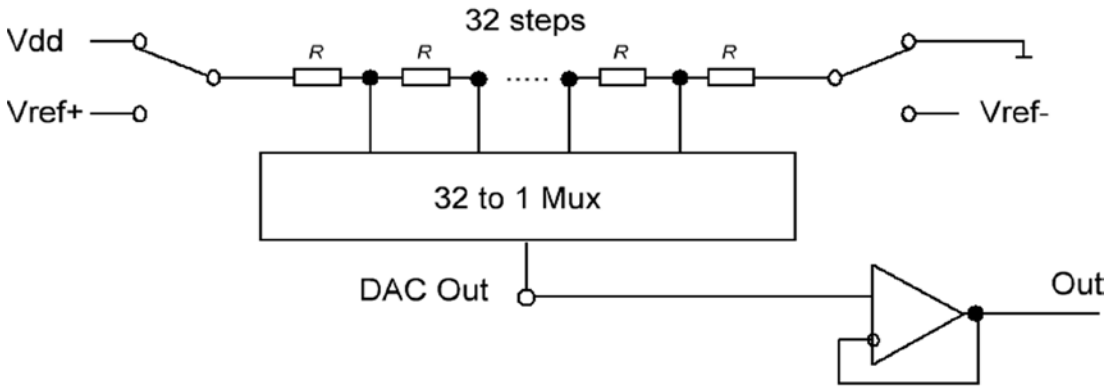


Рисунок 2. Структурная схема модуля ЦАП микроконтроллера PIC 18f14k50

Как видно из схемы, микроконтроллер содержит в своем составе резистивный делитель напряжения, к которому подключен программируемый мультиплексор. Напряжение, прикладываемое к делителю с обеих сторон можно программировать (либо положительное напряжение питания Vdd, либо внешнее опорное напряжение Vref+, а с другой стороны делителя либо отрицательное напряжение питания, либо

внешнее опорное напряжение Vref-). Для согласования импедансов необходимо использовать внешний повторитель на ОУ. Одним из способов управления амплитудой выходного сигнала является управление величиной Vref. Управлять частотой сигнала можно изменяя период выдачи очередных значений переключений мультиплексора в ЦАП.

Усилитель мощности, как правило, представляет собой один или несколько усилительных каскадов, работающих в режиме А или АВ. Чаще всего используется балансная схема включения транзисторов. Как известно, основным недостатком преобразователей такого типа является потери в усилителе мощности, причем рассеянная в усилителе мощность прямо пропорциональна мощности нагрузки. Для надежной работы такие усилители снабжаются громоздкими радиаторами, а также схемами защиты от тепловых и токовых перегрузок [2]. В результате спроектированное устройство отличается большими габаритами, высокой стоимостью и низким КПД. Как известно, повышение КПД и стабильности таких преобразователей возможно при переходе от линейных преобразователей к импульсным [3].

Известны работы, посвященные проектированию импульсных преобразователей переменного тока, у которых форма и частота выходного напряжения совпадает с входной [4].

С проблемами эффективного расходования мощности источника питания сталкиваются разработчики усилителей звуковой частоты, так как все более интенсивно применяемое батарейное питание устройств требует существенно более высоких КПД. Найденное ими решение получило название усилителей класса D [5, 6], КПД которых может достигать 80-90%. Структурная схема типового усилителя класса D приведена на рис. 3.

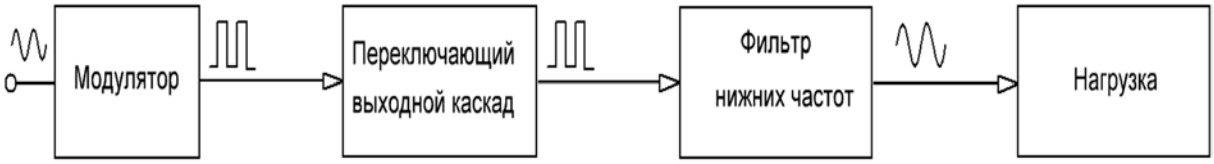


Рисунок 3. Структурная схема усилителя D-класса

Модулятор по специальному алгоритму преобразовывает синусоидальный сигнал в последовательность прямоугольных импульсов. Чаще всего используется ШИМ-модуляция, либо модуляция плотности импульсов.

Роль переключающего выходного каскада - умощнение сигнала, при этом рассеивание мощности не происходит, так как ключи усилителя либо полностью закрыты, либо полностью открыты.

ФНЧ используется, чтобы вернуть исходную синусоидальную форму усиленному сигналу. Для предотвращения активных потерь фильтр строят из реактивных элементов. Для уменьшения габаритов и стоимости большинство применяемых LC-фильтров представляют собой ФНЧ второго порядка.

При построении выходного каскада, в основном, используют мостовую схему (см. рис. 4), обеспечивающую максимальный размах сигнала, подводимого к нагрузке.

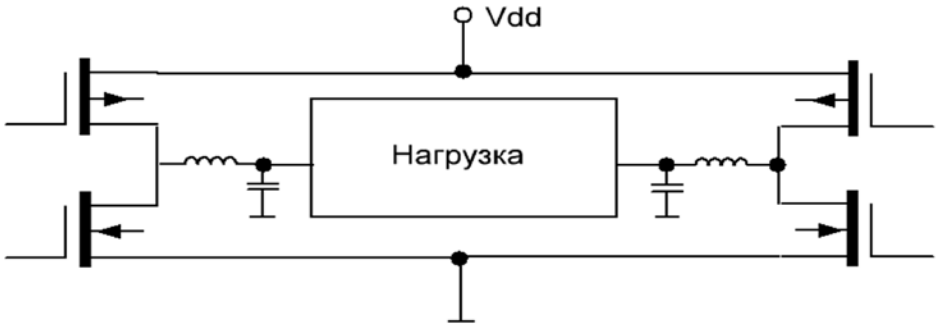


Рисунок 4. Мостовая схема выходного каскада

Данная схема как нельзя лучше согласуется с внутренней организацией самого микроконтроллера.

Большинство микроконтроллеров имеют в своем составе один или несколько модулей ШИМ, которые предназначены для непосредственного управления затворами ключевых транзисторов выходного каскада усилителя. Как правило, встроенные ШИМ-модули позволяют программировать так называемое мертвое время («dead-time»), в течение которого оба транзистора стойки закрыты (для предотвращения сквозных токов через стойку). Возможная структурная схема источника питания, содержащая в своем составе микроконтроллер, усилитель D-класса и повышающий трансформатор представлена на рис. 5.

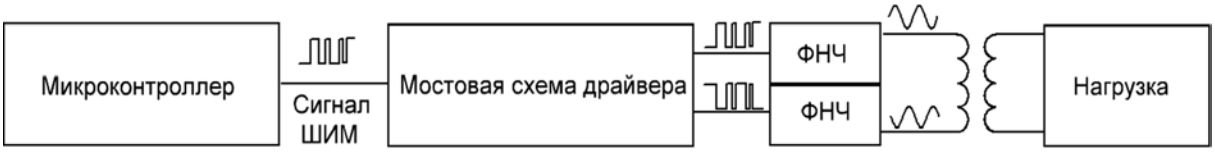


Рисунок 5. Структурная схема предлагаемого решения

Алгоритм работы микроконтроллера заключается в загрузке через равные промежутки времени ШИМ-модулятора значением, соответствующим определенной точке синусоиды, например из таблицы, в которой каждому значению счетчика (абсцисса) соответствует свой период ШИМ (ордината) графика синусоиды. Меняя период загрузки ШИМ-модуля можно управлять частотой, а изменяя максимальные и минимальные значения периода ШИМ - управлять амплитудой прикладываемого к трансформатору напряжения. Применение контроллера позволяет программировать требуемую частоту и размах выходного напряжения, и менять их по ходу работы устройства. Кроме того существенно облегчается задача контроля выходных параметров устройства. С точки зрения получаемого спектра возможно предпочтительнее использование дельта-сигма-модуляции, так как в этом случае отсутствуют гармоники, кратные несущей частоте ШИМа.

Литература

1. MicroChip PIC 18F/LF1XK50 DataSheet 2010 Microchip Technology Inc.
2. Жаднов, В.В. Автоматизация исследований безотказности источников вторичного электропитания. / В.В. Жаднов. // Надёжность и качество: Труды международного симпозиума в 2-х т. / Под ред. Н. К. Юркова. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2012 - 1 т. - с. 173-176.
3. Розанов, Ю.К. Оценка стабильности функциональных характеристик преобразовательных устройств. / Ю.К. Розанов, Ю.Н. Кофанов, В.В. Жаднов. // Электронная промышленность. Сер. «Преобразовательная техника». - 1982. - Вып. 6.

4. Коршунов, А. Импульсные преобразователи напряжения переменного тока. / А. Коршунов. // Силовая электроника. - 2006. - №4.

5. Гаалас, Э. Казакевич А. Звуковые усилители класса D: Что, зачем и как? / Э. Гаалас, А. Казакевич. // Компоненты и технологии. - 2006.- № 11.

6. Савельев Е. Усилитель класса D для сабвуфера. / Е. Савельев. // Радио. – 2003. - № 5.

МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Жаднов В.В.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассмотрены вопросы расчетной оценки надежности электронной аппаратуры со вспомогательными элементами. Показано, что в качестве вспомогательного элемента может выступать жидкостная система охлаждения. Приведена классификация параметров модели интенсивности отказов механических элементов для класса «Фильтры» и даны рекомендации по формированию базы данных.

Reliability prediction models filters for liquid cooling systems electronic equipment. V.V. Zhadnov

The problems of estimation of reliability of electronic equipment with accessories. It is shown that as a support element can be a liquid cooling system. A classification of the model parameters of failure rate of mechanical elements for the class «Filters» is given and offers advice on the formation of a database.

Исследование осуществлено в рамках «Программы фундаментальных исследований» НИУ ВШЭ в 2013 году. Надежность электронной аппаратуры (ЭА) в значительной степени зависит от тепловых режимов электрорадиоизделий (ЭРИ). Для обеспечения тепловых режимов ЭРИ используются разнообразные конструкторские решения, в т.ч. и системы охлаждения (СО) [1]. Очевидно, что отказ СО непосредственно влияет на безотказность БА, причем отказ СО может как привести к немедленному отказу ЭА, так и к снижению характеристик ее безотказности. А из этого следует, что при расчетах надежности ЭА необходимо учитывать и надежность «вспомогательных элементов» (ВЭ), к которым относится СО.

Например, если критерием отказа аппаратуры является отказ любого ЭРИ или ВЭ, то вероятность безотказной работы P(t) равна:

$$P(t)=\left(\prod_{n=1}^{N} e^{-\lambda_n \cdot t}\right)\cdot P_{ВЭ}(t),$$

где: t - время; λ_n - интенсивность отказов ЭРИ; N - число ЭРИ в ЭА; $P_{ВЭ}(t)$ - безотказной работы СО.

Расчетные соотношения для P(t), учитывающие изменения λ_n при отказах ВЭ, можно найти, например, в [2]. При расчетах P(t) с использованием этих соотношений необходимо задать значение интенсивности отказов ВЭ. Поскольку СО состоит из механических элементов (МЭ), то расчеты можно провести по методике, изложенной в [3].

Однако в [3] приведены модели не для всех классов МЭ, которые входят в состав жидкостных СО (например, нет класса «Фильтры»), а формулы настолько

упрощены, что не позволяют учитывать влияние особенностей конструктивно-технологического исполнения МЭ и режима его применения в СО на эксплуатационную интенсивность отказов [4].

Поэтому для оценки надежности МЭ большой интерес представляют модели интенсивности отказов, регламентированные американским стандартом NSWC-2011/LE10 [5], разработанным специалистами Кардерокской дивизии ВМФ США. Ряд вопросов, связанных с возможностью применения моделей этого стандарта для расчетов надежности механических и электромеханических элементов электронных средств были рассмотрены в [6]. В развитие этого направления исследований, рассмотрим особенности применения данного стандарта для оценки характеристик надежности элементов жидкостных СО на примере класса «Фильтры», который (как уже отмечалось выше) отсутствует в отечественном документе [3].

Математическая модель интенсивности отказов (λ_F) для класса «Фильтры» имеет следующий вид:

$$\lambda_F = \lambda_{F,B} \cdot C_{DP} \cdot C_{CF} \cdot C_V \cdot C_{CS}, \quad (1)$$

где: $\lambda_{F,B}$ - базовая интенсивность отказов фильтра (фильтрующего элемента); C_{DP} - коэффициент, учитывающий влияние перепада давления жидкости на входе и выходе фильтра; C_{CF} - коэффициент, учитывающий влияние частоты пульсаций потока жидкости из-за работы насоса; C_V - коэффициент, учитывающий влияние внешних вибрационных воздействий; C_{CS} - коэффициент, учитывающий влияние температуры жидкости в момент включения насоса.

Значение $\lambda_{F,B}$ в формуле (1) принимается постоянной для всех типономиналов фильтров.

Значение коэффициента C_{DP} рассчитывается по модели:

$$C_{DP} = \frac{P_i^{'} \cdot a^2 - P_O^{'} \cdot b^2 + \frac{a^2 \cdot b^2 \left(P_O^{'} - P_i^{'}\right)}{r^2}}{P_i \cdot a^2 - P_O \cdot b^2 + \frac{a^2 \cdot b^2 \left(P_O - P_i\right)}{r^2}}, \quad (2)$$

где: P'_i - давление на внутреннюю поверхность в режиме применения; P'_O - давление на внешнюю поверхность в режиме применения; P_i - давление на внутреннюю поверхность в номинальном рабочем режиме по ТУ; P_O - давление на внешнюю поверхность в номинальном рабочем режиме по ТУ; a - внутренний радиус фильтра; b - внешний радиус фильтра; r - радиус, соответствующий поверхности с максимальной нагрузкой.

Значение r зависит от конструктивного исполнения фильтра. Если конструкция фильтра такова, что поток жидкости в фильтре направлен от внешней поверхности к внутренней, то r = b, в противном случае r = a.

Значение коэффициента C_{CF} рассчитывается по модели:

$$C_{CF} = \frac{1{,}7 \cdot a^2 \cdot \left(2 \cdot P_{i\max}^{'} - 0{,}3 \cdot P_{i\min}^{'}\right) - 0{,}7 \cdot P_{O\max}^{'} \cdot \left(a^2 + b^2\right) - 0{,}3 \cdot P_{O\min}^{'} \cdot \left(a^2 + b^2\right)}{1{,}4 \cdot T_S \cdot \left(b^2 - a^2\right)}, \quad (3)$$

где: P'_{imin} - минимальное давление на внутреннюю поверхность в режиме применения; P'_{imax} - максимальное давление на внутреннюю поверхность в режиме применения; P'_{Omin} - минимальное давление на внешнюю поверхность в режиме применения; P'_{Omax} - максимальное давление на внешнюю поверхность в режиме применения; T_S - предел прочности материала фильтра.

Значение коэффициента C_V зависит от характеристик вибрационного воздействия на фильтр на объекте установки и определяется по данным стандарта NSWC-06/LE10 [5].

Значение коэффициента C_{CS} рассчитывается по модели:

$$C_{CS} = \left(\frac{\nu_{coldstart}}{\nu_{normal}} \right)^{x}, \quad (4)$$

где: $\nu_{coldstart}$ - вязкость жидкости в момент включения насоса; ν_{normal} - вязкость жидкости при температуре нормального рабочего режима; x - коэффициент, зависящий от типа жидкости.

Значение коэффициента x так же определяется по данным стандарта NSWC-06/LE10 [5].

Исходные данные, необходимые для расчета λ_F фильтра по формулам (1)-(4) сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Исходные данные для расчета λ_F фильтра

№ п/п	Обозначение	Наименование	Ед. измерения	Примечание
1	2	3	4	5
1	$\lambda_{F,B}$	Базовая интенсивность отказов	failures/million hours	NSWC-06/LE10
2	a	Внутренний радиус фильтра	in	ТУ на фильтр
3	b	Внешний радиус фильтра	in	ТУ на фильтр
4	r	Радиус, соответствующий поверхности с максимальной нагрузкой	in	ТУ на фильтр
5	P_i	Давление на внутреннюю поверхность в номинальном рабочем режиме	psi	ТУ на фильтр
6	P'_i	Давление на внутреннюю поверхность в режиме применения	psi	ТЗ на объект
7	P_O	Давление на внешнюю поверхность в номинальном рабочем режиме	psi	ТУ на фильтр
8	P'_O	Давление на внешнюю поверхность в режиме применения	psi	ТЗ на объект
9	P'_{imax}	Максимальное давление на внутреннюю поверхность в режиме применения	psi	ТЗ на объект
10	P'_{Omax}	Максимальное давление на внешнюю поверхность в режиме применения	psi	ТЗ на объект
11	P'_{imin}	Минимальное давление на внутреннюю поверхность в режиме применения	psi	ТЗ на объект
12	P'_{Omin}	Минимальное давление на внешнюю поверхность в режиме применения	psi	ТЗ на объект
13	T_S	Предел прочности материала фильтров	lbs/in^2	ТУ на материал
14	C_V	Эмпирический коэффициент, зависящий от характеристик	-	ТЗ на объект, NSWC-06/LE10

		вибрационного воздействия		
15	$\nu(T_{normal})$	Вязкость жидкости при температуре режима применения	Centistokes	ТЗ на объект, ТУ на жидкость
16	$\nu(T_{coldstart})$	Вязкость жидкости в момент включения насоса	Centistokes	ТЗ на объект, ТУ на жидкость
17	x	Эмпирический коэффициент, зависящий от типа жидкости	-.	ТЗ на объект, NSWC-06/LE10

Как следует из таблицы 1, для расчета λ_F необходимо задать 17 параметров, из которых только 3 ($\lambda_{F,B}$, C_V и x - см. столбец 5 таблицы 1) в явном виде представлены в стандарте NSWC-06/LE10 [5]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что основная проблема расчета λ_F состоит в определении численных значений ее параметров. Поэтому в этом стандарте для ряда параметров приведены рекомендации по оценке их численных значений. Так, значения $\nu(T_{normal})$ и $\nu(T_{coldstart})$ можно определить по таблице вязкостей жидкостей (см. рисунок 1).

Liquid	Viscosity in Centistokes, ν								X
	0 C	20 C	40 C	60 C	80 C	100 C	125 C	150 C	
Water	1.8	1.0	0.75	0.56	0.35	0.28			0.2
Sea water	1.9	1.1	0.87						0.2
Gasoline, 0.68 s.g.	0.51	0.42	0.35	0.30					0.3
Kerosene, 0.81 s.g.	3.7	2.3	1.6	1.2	0.96				0.2
Light lubricating oil, 0.91 s.g.	390	96	34	16	8.7	5.4			0.2
Heavy lubricating oil, 0.91 s.g.	3492	500	123	43	20	10			0.7
SAE 10 oil	555	122	41	14	8.7	5.4	3.3	2.2	0.5
SAE 20 oil	1141	213	65	22	11	6.8	4.4	2.8	0.6
SAE 30 oil	2282	358	101	33	15	9.4	5.5	3.6	0.7
SAE 40 oil	4640	624	137	51	26	13	7.8	5.0	0.8
SAE 50 oil	8368	1179	251	76	32	17	9.5	6.4	0.9
SAE 60 oil	15215	2206	380	107	38	20	11	7.5	1.0
SAE 70 oil	23203	2853	456	137	49	25	14	8.5	1.1

Рисунок 1. Зависимости вязкости жидкостей от температуры

Как видно из рисунка 1, в таблице содержаться значения вязкостей только для различных видов жидкостей, а не для конкретных их марок (Data Sheet). Очевидно, что при прогнозировании надежности фильтра на этапе его проектировании это не столь важно, т.к. на этом этапе ТУ просто нет, а вся автоматизация расчетов сводится к простой автоматизации вычислений по формулам (1)-(4). Другое дело расчет λ_F промышленных фильтров для конкретного режима применения, т.к. в этом случае можно сформировать базу данных (БД) на основе соответствующих ТУ.

Для формирования такой базы данных, исходя из вышеизложенного и источников получения исходных данных (см. столбец 5 таблицы 1), можно выделить следующие классификационные признаки:

- конструктивно-технологические параметры (данные ТУ на фильтры, ТУ на материалы, ТУ на жидкости)
- параметры режима применения (данные ТЗ на объект установки)
- эмпирические коэффициенты (данные стандарта NSWC-06/LE10)

Результаты проведенной классификации приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Параметры и коэффициенты модели эксплуатационной интенсивности отказов

Обозначение	Наименование	Значение	Ед. измерения	Примечание
1	2	3	4	5
Параметры ТУ				
	Типономинал (ТУ) фильтра	Из БД	-	ТУ на фильтр
a	Внутренний радиус фильтра	Из БД	in	ТУ на фильтр
b	Внешний радиус фильтра	Из БД	in	ТУ на фильтр
P_i	Давление на внутреннюю поверхность в номинальном рабочем режиме	Из БД	psi	ТУ на фильтр
P_O	Давление на внешнюю поверхность в номинальном рабочем режиме	Из БД	psi	ТУ на фильтр
T_{normal}	Температура жидкости в номинальном рабочем режиме	Из БД	^{0}C	ТУ на фильтр
	Марка материала фильтра	Из БД	-	ТУ на фильтр
	Марки (ТУ) материалов фильтров	Из БД	-	ТУ на материалы
T_S	Пределы прочности материалов фильтров	Из БД	lbs/in^2	ТУ на материалы
	Типы (ТУ) жидкостей	Из БД	-	ТУ на фильтр
	Типы (ТУ) жидкостей	Из БД	-	ТУ на жидкости
ν(T)	Зависимости вязкости жидкости от температуры	Из БД	Centistokes	ТУ на жидкости
Параметры режима применения				
	Типономинал (ТУ) фильтра	Список из БД	-	ТЗ на объект
P'_i	Давление на внутреннюю поверхность в режиме применения	-	psi	ТЗ на объект
$\Delta P'_i$	Допуск на давление на	-	psi	ТЗ на объект

	внутреннюю поверхность в режиме применения			
P'_O	Давление на внешнюю поверхность в режиме применения	-	psi	ТЗ на объект
$\Delta P'_O$	Допуск на давление на внешнюю поверхность в режиме применения	-	psi	ТЗ на объект
	Тип (ТУ) рабочей жидкости	Список из БД	-	ТЗ на объект
$T_{coldstart}$	Температура жидкости в момент включения насоса	-	^0C	ТЗ на объект
	Вид объекта установки	Список из БД	-	ТЗ на объект
Эмпирические коэффициенты				
$\lambda_{F,B}$	Базовая интенсивность отказов	Из БД	failures/million hours	NSWC-06/LE10
x	Коэффициент, зависящий от типа жидкости	Из БД	-	NSWC-06/LE10
C_V	Авиационные и др. мобильные объекты установки	Из БД	-.	NSWC-06/LE10
	Прочие объекты установки	Из БД		

При формировании раздела «Параметры ТУ» учитывалось, что величина параметра r определяется конструкцией фильтра и может принимать одно из двух значений: a или b Кроме того, в этом случае, формулу (2) можно представить в следующем виде:

$$C_{DP} = \begin{cases} \dfrac{P'_O}{P_O}, npur = b \\ \dfrac{P'_i}{P_i}, npur = a \end{cases}.$$

При формировании раздела «Параметры режима применения» учитывалось, что значения давлений на одной и той же поверхности в режиме применения связаны соотношениями:

$$P'_i = \frac{P'_{i\max} + P'_{i\min}}{2}; P'_O = \frac{P'_{O\max} + P'_{O\min}}{2},$$

т.е., можно записать, что:

$$P'_{i\max} = P'_i + \Delta P'_i; P'_{i\min} = P'_i - \Delta P'_i; P'_{O\max} = P'_O + \Delta P'_O; P'_{O\min} = P'_O - \Delta P'_O,$$

где $\Delta P'_i$ - допуск на давление на внутреннюю поверхность в режиме применения; $\Delta P'_O$ - допуск на давление на внешнюю поверхность в режиме применения.

Таким образом, при использовании БД по конструктивно-технологическим параметрам фильтров (фильтрующих элементов), при автоматизированном расчете λ_F необходимо задать не 17, а только 8 параметров (параметры режима применения), причем численные значения задаются только для пяти из них (P'_i, $\Delta P'_i$, P'_O, $\Delta P'_O$ и $T_{coldstart}$), а оставшиеся («Типономинал (ТУ) фильтра», «Тип (ТУ) рабочей жидкости» и «Вид объекта установки») будут выбираться из списков, содержащихся в БД (см. таблицу 2).

Литература

1. Жаднов, В.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств: учебное пособие. / В.В. Жаднов, А.В. Сарафанов - М.: Солон-ПРЕСС, 2012. - 464 с. - Сер. «Библиотека инженера».
2. Полесский, С. Обеспечение надежности НКРТС. / С. Полесский, В. Жаднов. - LAP Lambert Academic Publishing, 2011. - 280 с.
3. Шавыкин, Н.А. Методика оценки показателей безотказности технических средств. / Н.А. Шавыкин, Б.П. Петрухин, Е.М. Жидомирова. - М.: ИПУ РАН, 1998. - 79 с.
4. Zhadnov, V. Methods and means of the estimation of indicators of reliability of mechanical and electromechanical elements of devices and systems. [Электронный ресурс]. / V. Zhadnov. // Reliability: Theory & Applications: e-journal. 2011. - Vol. 2, No 4, p. 94-102. - Режим доступа: http://www.gnedenko-forum.org/Journal/2011/042011/RTA_4_2011-07.pdf.
5. NSWC-06/LE10. Handbook of Reliability prediction Procedures for Mechanical Equipment.
6. Маркин, А.В. Методы оценки надежности элементов механики и электромеханики электронных средств на ранних этапах проектирования. / А.В. Маркин, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. // Надежность. - 2010. - № 6 (33). - с. 63-70.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ РЭС ВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ

Затылкин А.В., Голушко Д.А. Рындин Д.А.
г. Пенза ФБГОУ ВПО «ПГУ»

Предложен волновой метод исследования динамических характеристик упругих конструкций РЭС при внешних механических воздействиях. Показана актуальность и теоретические основы метода. Приведены аналитические расчеты стержневых элементов конструкций РЭС, а также результаты экспериментов проведенных предложенным методом.

Study of dynamic characteristics of the core elements of the recs wave method. Zatylkin A.V., Golushko D.A., Ryndin D.A.

Proposed wave method of research of dynamic characteristics of elastic structures of the RECs in external mechanical impacts. The urgency of this and theoretical foundations of the method. The analytical calculations of the core elements of the RECs, as well as the results of experiments conducted by the proposed method.

Силовыми элементами конструкций радиоэлектронных средств (РЭС) могут быть стержни, рамы, стержневые каркасы. При эксплуатации на подвижных носителях в указанных конструкциях могут возникать вибрации. Возникновение резонансных колебаний в этих конструкциях и их элементах оказывает существенное влияние на функционирование электронного средства в целом.

Поэтому, по-прежнему остаётся актуальной задача исследования и анализа работы конструкций и их элементов в условиях динамических внешних воздействий. При этом сочетание экспериментальных и теоретических методов исследования даёт хорошие результаты при решении различных практических задач.

Классическая теория колебаний упругих систем исходит из элементарных опытных данных: закона Гука, колебаний материальной точки (пружинный маятник), а также колебаний дискретных систем, состоящих из отдельных масс [1]. Считается, что нормальные колебания сплошной системы идентичны нормальным колебаниям дискретной системы. Таким образом, классическая теория склонна расчленять сложные явления на элементы, чтобы выводить законы поведения целого из законов поведения элементов.

Однако опыт квантовой механики показывает, что в случае сложных систем целесообразнее делать непосредственные переходы от поведения одного целого к поведению другого целого, минуя элементарный уровень [2].

В этом случае анализ поведения сложной системы должен строиться на интегральном опытном материале, то есть на некоторых данных о поведении системы как целого.

Для получения фундаментального опытного материала нужен метод, позволяющий получить данные − полные в смысле их обусловленности только исследуемой системой и приспособленности для систематического модельного экспериментирования.

В статье рассматривается применение динамического волнового метода для исследования поведения упругих конструкций (стержневых, пластинчатых) при нестационарном нагружении.

По предлагаемому методу исследуются спектральные колебательные характеристики виброизолированного объекта 4, который закрепляется на эластичных виброизолирующих опорах или подвесах 3 (рис. 1).

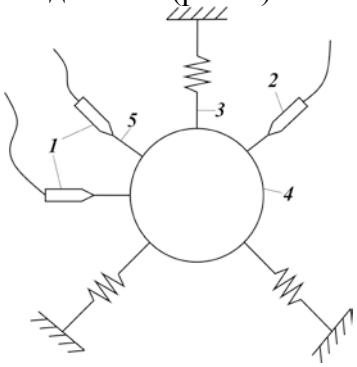


Рисунок 1 – Схема виброизолированного объекта

На поверхности объекта выбираются несколько точек, в которых осуществляется воздействие переменными силами, действующими в выбранных постоянных направлениях, а также выбирается точка и соответствующее направление приёма компоненты виброскорости. Источники силового воздействия 1 и приёма сигналов 2 закрепляются внешне по отношению к исследуемой системе и входят в точечный контакт с системой посредством игл 5 (см. рис. 1).

Источники вибросил 1 и виброприёмники 2 представляют собой электромеханические преобразователи магнитоэлектрического типа. Их устройство показано на рисунке 2.

В их состав входит магнитная система 1 с кольцевым воздушным зазором 2, в котором имеется радиально направленное магнитное поле. Применение электромагнита вызвано стремлением получить в зазоре величину магнитной индукции порядка 0,5-0,7 Тл при относительно большой ширине зазора (1-1,5 мм), но остаётся возможным применение постоянных магнитов.

В кольцевой зазор магнита входит подвижная катушка 3 из тонкого медного провода, намотанного на цилиндрический бумажный каркас. В верхней части каркас имеет донышко, посредством которого катушка приклеивается к игле 5 (рис. 2). Игла вместе с подвижной катушкой образует лёгкую (20-30 мг) подвижную систему, подвешенную на эластичных полосковых пружинах 4.

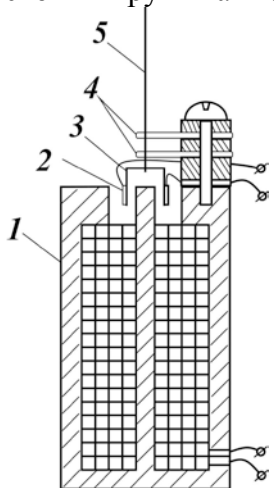


Рисунок 2 – Конструкция электромеханического вибропреобразователя

Жёсткость подвеса определяется формулой

$$F = ma/S,$$

где F − сила упругости на единицу перемещения иглы; а − максимальная величина виброускорений в исследуемой системе; m − масса подвижной системы; S − допустимый ход подвижной катушки (±2 мм).

При имеющихся на практике виброускорениях и при указанной массе подвижной системы жёсткость получается достаточно малой, для того чтобы обеспечить виброразомкнутость устройства.

Также устройство источника силового воздействия на практике даёт возможность воздействовать на упругий элемент именно сосредоточенной внешней силой, изменяющейся по какому-либо закону.

Справедливость этого утверждения в физике колебаний [1] показана на примере полубесконечного стержня, на один край которого (сечение B) через упругую связь C (рис. 3) действует рычаг (сечение A) с силой, изменяющейся по гармоническому закону. Показано, что если жёсткость связи C гораздо меньше жёсткости стержня, то можно считать, что движется только конец A связи C (в нашем случае это подвижная катушка), а конец B практически покоится, так как всегда можно настолько уменьшить жёсткость связи C, чтобы смещением точки B можно было пренебречь по сравнению со смещением точки A. Тогда практически сила со стороны связи C на конец стержня B не зависит от движения этого конца стержня B.

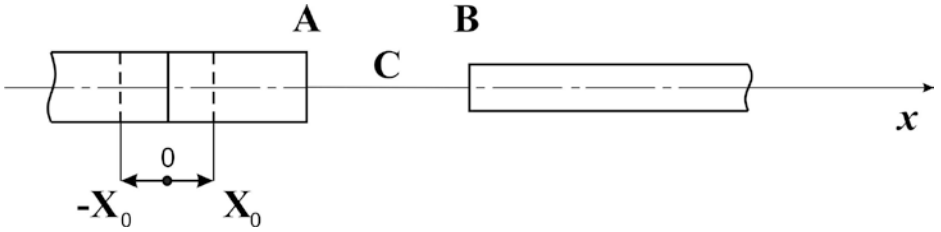


Рисунок 3 – Способ задания внешней силы в полубесконечный стержень

В этом случае малая жёсткость связи *C* достигается введением упругого промежуточного звена (консольные пружины, на которых крепится игла с подвижной катушкой) с малой жёсткостью, почти полностью отражающего колебания сечения *B* стрежня.

В теории упругости [3] доказано, что если на границе полубесконечной среды (рис. 4) действует сосредоточенная сила (задача Лемба), то непосредственно от действия этой силы в полупространстве распространяются две волны: волна расширения занимающая области I, II, III и волна сдвига - область I. При распространении этих волн возникает дополнительное возмущение в виде волн, отражённых от свободной поверхности.

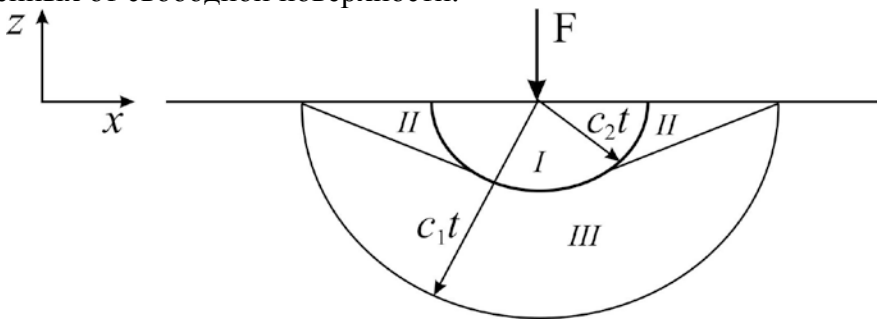


Рисунок 4 – Фронты волн в задаче Лемба

Волна расширения порождает отражённые волны расширения (области I, II, III) и сдвига (области I, II). Волна сдвига также порождает две отражённые волны, причём отражённая волна расширения по-прежнему занимает все три области, а отражённая волна сдвига - область I. Фронты указанных волн представляют собой дуги окружностей и отрезки прямых (см. рис. 4).

Сдвиговая волна порождает незатухающие поверхностные волны, распространяющиеся с релеевской скоростью (волны Релея) по поверхности полупространства (то есть при Z = 0). Когда скорость нагрузки (переменной внешней силы) совпадает одновременно с фазовой и групповой скоростями распространяющихся в среде волн, возникают резонансные волны [3]. Для конкретных конструктивных элементов (стержни, пластины) это положение формулируется так [1]: когда частота гармонической внешней силы совпадает с одной из нормальных частот колебательной системы, в последней возникает явление резонанса, при котором амплитуда волны начинает значительно возрастать.

Эти волны фиксирует виброприёмник 2 (см. рис.1) в подвижной катушке которого возникает электродвижущая сила, пропорциональная принимаемой виброскорости. Приведённый анализ показывает, что предлагаемое устройство (источник вибросил и виброприёмник) позволяет получить в упругой системе резонансную волну, зависящую только от исследуемой системы (рис. 5).

Возбуждая в колебательной системе различные резонансные волны путём установления соответствующей резонансной частоты воздействия, можно определить дискретный спектр собственных частот исследуемой конструкции, получить собственную форму колебаний для отдельных собственных частот, а также исследовать пространство собственных в случаях, близких к вырождению собственных чисел. Всё это и составит спектральные колебательные характеристики виброизолированного упругого пространственного объекта, которые можно использовать в практической

деятельности, например, для анализа работоспособности конструкций РЭС, работающих в условиях сложных внешних динамических воздействий.

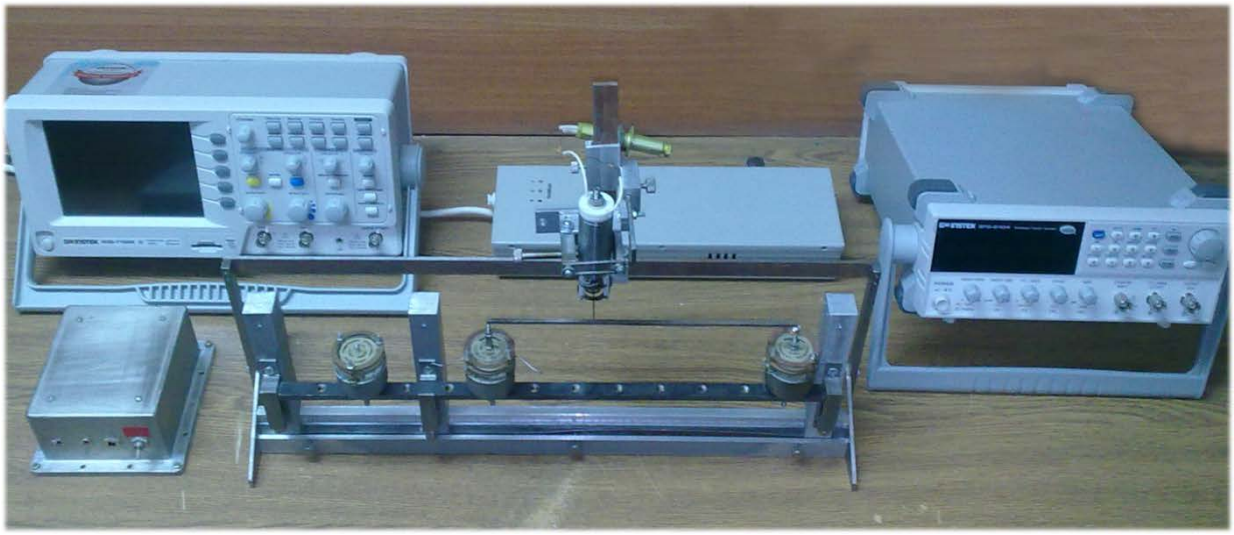


Рисунок 5 – Прототип виброиспытательной установки

При помощи предложенного метода и соответствующего программно-аппаратного обеспечения были проведены исследования динамических характеристик стального стержня длиной ***l*** = 180 мм. Сечение стержня - квадрат со стороной ***b*** = 3 мм. Модуль упругости материала стержня $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ Н/м^2, плотность материала $\rho = 7800$ к*г*/м^3

При помощи формулы для расчёта собственной частоты изгибных колебаний шарнирно закреплённого стержня [4]:

$$\omega_n = \frac{n^2\pi^2}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{I_y E}{\rho S}};$$

где I_y- момент инерции сечения, для данной задачи равный $6{,}75 \cdot 10^{-12}$ м^4;

S - площадь поперечного сечения, равная $9 \cdot 10^{-6}$ м^2, определены три первые резонансные частоты.

Первая резонансная частота:

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = 217 \text{ (Гц)};$$

Вторая резонансная частота:

$$f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = 871 \text{ (Гц)};$$

Третья резонансная частота:

$$f_3 = \frac{\omega_3}{2\pi} = 1959 \text{ (Гц)};$$

На втором этапе проведено исследование колебаний стержня на представленной установке.

В ходе первого эксперимента были определены первые три резонансные частоты исследуемого стержня. На рисунке 6 представлена амплитудно-частотная характеристика исследуемого стержня. Всплескам на характеристике соответствуют резонансные частоты, первая из которой равна 270 Гц, вторая – 740 Гц и третья резонансная частота соответственно 1500 Гц.

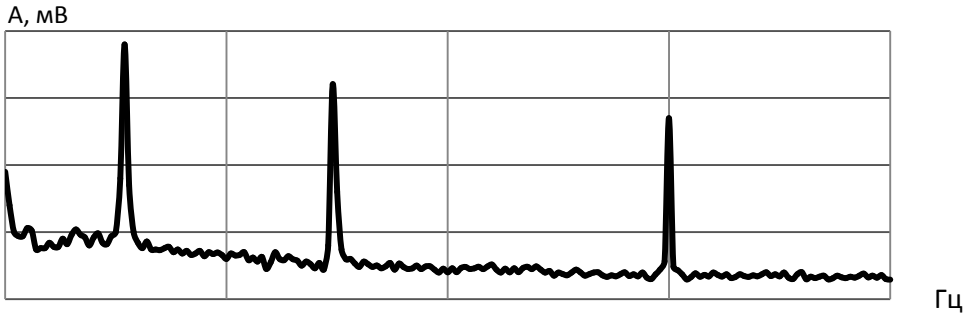


Рисунок 6 − Амплитудно-частотный спектр исследуемого стержня

Во втором эксперименте были построены формы колебаний стержня на полученных резонансных частотах. На рисунках 7-9 изображены формы колебаний стержня на первой, второй и третьей резонансных частотах. Полученные формы с определённой погрешностью соответствуют теоретическим представлениям о колебаниях систем такого рода [1].

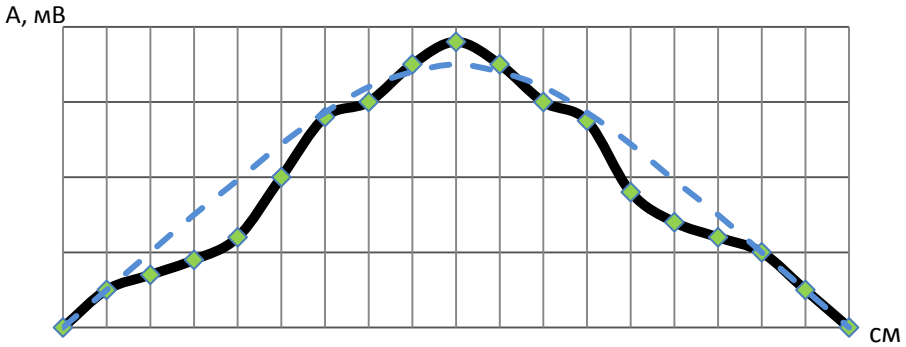


Рисунок 9 − Форма колебаний стержня на первой резонансной частоте

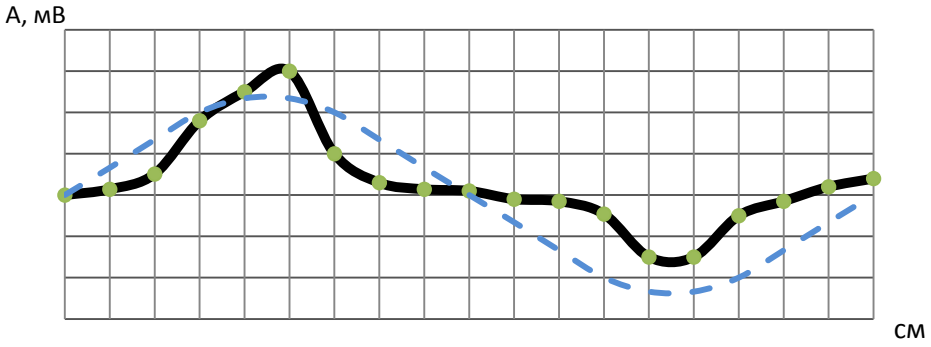


Рисунок 7 − Форма колебаний стержня на второй резонансной частоте

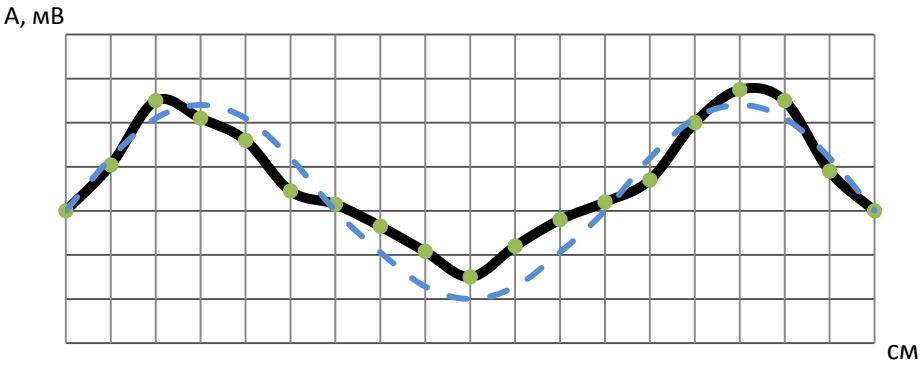


Рисунок 8 − Форма колебаний стержня на третьей резонансной частоте

Таким образом, если брать за основу частоты аналитического решения, то погрешность эксперимента по определению резонансных частот составляет от 15 до 23 %, что является удовлетворительным, с практической точки зрения, результатом.

Литература

1. Хайкин С.Э. Физические основы механики. - М.: Физматлит, 1963. - 772 с.
2. Горшков А.А. Метод экспериментального исследования колебаний упругих систем. - М.: ВИНИТИ, №1136 - 75 Деп. 1975. - 16 с.
3. Слепян Л.И. Нестационарные упругие волны. - Л.: Судостроение, 1972. - 373 с.
4. Токарев М.Ф. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие / М.Ф. Токарев и др./ Под ред. В.А. Фролова. - М.: Радио и связь, 1984. - 224 с.
5. 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.
6. Леонов, А.Г. Управление исследованиями моделей радиотехнических устройств на этапе проектирования / А. Г. Леонов, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии: научно-технический журнал - Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2012. – № 1(17). – С. 138-142.
7. 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.
8. Затылкин, А.В. Моделирование изгибных колебаний в стержневых конструкциях РЭС / А.В. Затылкин, Г.В. Таньков, // Надежность и качество: Труды международного симпозиума / Под ред. Н.К. Юркова – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2006, с. 320-323.

ИНДУКЦИОННЫЙ ВИБРОМЕТР С ДАТЧИКОМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ТИПА

Затылкин А.В., Таньков Г.В., Рындин Д.А.
г. Пенза ФБГОУ ВПО «ПГУ»

Предложена конструкция датчика сейсмического типа, отличающаяся от известных тем, что не вносит излишнюю массу в исследуемую систему, позволяя

повысить достоверность измеряемой величины (виброускорение). Разработана схема электрическая принципиальная виброметра, работоспособность которой была отлажена в среде имитационного моделирования ISIS Professional 7. В основе схемы лежит современный микроконтроллер ATmega8. Разработана конструкция устройства. Предложенное решение было доведено до практической реализации.

Induction vibrometer with seismic type sensors. Zatylkin A.V., Tankov G.V., Ryndin D.A.

Proposed design of the sensor of seismic type that is different from the well-known fact that does not make excessive weight to the system, allowing to increase reliability of measured values (acceleration). The scheme of electrical principle, OFV, the efficiency of which has been established in the environment simulation ISIS Professional 7. In the basis of the scheme is a modern ATmega8 microcontroller. There is developed the design of the device. The proposed solution was given to the practical implementation.

Конструкции современных радиоэлектронных средств (РЭС), устанавливаемых на подвижных носителях, работают в условиях сложных внешних воздействий. По статистике из-за механических воздействий происходит до половины всех отказов в бортовых РЭС. Таким образом, тема предлагаемой на конкурс работы является актуальной.

Наряду с теоретическими методами актуальным является разработка технических средств, позволяющих повысить эффективность диагностики РЭС на устойчивость к воздействию вибраций. Был проведен анализ современных виброметров. Большинство из них имеют большую массу измерительного элемента, что приводит к искажению исследований. Другие виброметры зарубежных производителей имеют высокую стоимость и тем самым малую распространенность. Поэтому была разработана модель индукционного виброметра, не вносящего излишнюю массу в исследуемую систему, что позволяет повысить эффективность диагностики РЭС.

Работа имеет практическую и теоретическую направленность. Она может быть полезна при оценке динамических характеристик (собственных форм и частот) элементов конструкций РЭС.

Изделия современной радиоэлектронной промышленности относятся к сложным наукоемким изделиям, к которым предъявляются высокие требования по физическим и эстетическим показателям, закладываемые на этапах жизненного цикла. Соблюдение этих показателей на протяжении этапа эксплуатации невозможно без всестороннего исследования моделей проектируемых изделий.

Научные проблемы, связанные с проведением анализа сложных технических систем, отражены в работах А.И.Дивеева, Ю. Н.Кофанова, Е.Н.Маквецова, И.П.Норенкова, Д.А.Поспелова, Н.А.Северцева, И.Такахары, С.У.Увайсова, П.Уинстона и других отечественных и зарубежных ученых.

Развитие современных средств исследования математических моделей радиоэлектронных средств (РЭС), технологий быстрого прототипирования физических моделей создало необходимые предпосылки для проведения анализа разрабатываемых устройств опытно-теоретическим методом, позволяющим внести уточнения в проектное решение за счет исследования как математических, так и физических моделей, которое осуществляется как программными, так и аппаратными средствами.

Зачастую производители ограничиваются контролем работоспособности (т.е. проверкой соответствия основных выходных характеристик) РЭС, при этом возможен пропуск в эксплуатацию заведомо неисправных, потенциально ненадежных устройств.

Это связано с тем, что возможны неисправности бортовых радиотехнических устройств из-за дефектов в виде выхода значений внутренних (например, электрических или конструктивных) параметров РЭС за допустимые границы. Подобного рода дефекты в начальный момент эксплуатации устройств могут не сказаться на его основных выходных характеристиках вследствие их взаимной компенсации, однако электрические, температурные и механические режимы работы элементов радиотехнических устройств будут нарушены, вследствие чего возрастет их интенсивность отказов. Такие отклонения внутренних параметров РЭС называют скрытыми дефектами и, как правило, требуют разработки специальных методов их диагностирования, так как традиционными методами не выявляются.

Таким образом, актуальной является задача разработки диагностических средств позволяющих выявить скрытые дефекты РЭС, на этапах их разработки, производства и эксплуатации.

Для получения информации о воздействии вибрации в процессе испытаний используют виброизмерительные преобразователи, размещаемые в двух или более специфических точках. Измерительная точка располагается на поверхности объекта испытания.

Вибрацию можно охарактеризовать перемещением, скоростью или ускорением в определённых точках колеблющейся конструкции. Существует три основных типа сейсмических датчиков: сейсмометр, датчик вибрационной скорости, акселерометр. Акселерометр часто является наиболее подходящим датчиком для измерений вибраций и ударов по ряду причин. Измерение ускорения всегда позволяет определить скорость и перемещение путем одно- или двухкратного интегрирования, тогда как обратная операция нежелательна из-за уменьшения отношения сигнал/шум, присущего дифференцирующим устройствам. Кроме того, датчики ускорения являются измерительными приборами, которые осуществляют абсолютные измерения и не требуют какой-либо точки отсчета. Напротив, датчики перемещения измеряют перемещение какого-либо подвижного элемента объекта относительно этого объекта, который может двигаться или быть неподвижным.

В предлагаемой работе применяются индукционные вибропреобразователи прямого действия, предназначенные для измерения скорости вибросилового воздействия линейных и угловых перемещений. Выходной сигнал вибропреобразователя может быть проинтегрирован или продифференцирован во времени с помощью электрических интегрирующих или дифференцирующих устройств. После этих преобразований сигнал становится пропорциональным соответственно перемещению или ускорению.

Конструкцию индукционного вибропреобразователя можно разделить на магнитную и подвижную системы. Магнитная система состоит из постоянного магнита и магнитопровода с воздушным зазором. Подвижная система состоит из катушки медного провода намотанной на бумажном каркасе, подвесов подвижной системы, стержневого толкателя для приёма виброскорости.

Отличительной особенностью данного вибродатчика является внешнее закрепление по отношению к объекту исследования (ОИ), способствующее снижению влияния массы и упругости подвижной системы на точность измерения. Вибродатчик входит в точечный контакт с объектом исследования посредством стержневых толкателей, осуществляющих необходимое нажатие на поверхность. Амплитуда сил вибровоздействия для систем с малыми потерями в несколько раз меньше инерционных сил, поэтому они в расчете необходимой силы прижатия толкателя не являются определяющими.

Таким образом, взаимодействие ОИ с внешней средой осуществляется лишь статическими силами и силами инфранизких частот, обеспечивающими пространственную стабилизацию положения системы. Для сил частот исследуемого диапазона система оказывается виброизолированной, что обеспечивается наличием во всех взаимодействующих с системой устройствах упругого промежуточного звена с малой жесткостью, практически полностью отражающего колебания.

Опытным путём установлено, что напряжение снимаемое с катушки вибродатчика при номинальных перемещениях не превышает 1 мВ. Для аналогово-цифрового преобразования необходим сигнал напряжением от 100мВ до 1В. Для усиления сигнала до необходимого уровня предназначен данный усилитель структурная схема которого изображенный на рисунке 1.

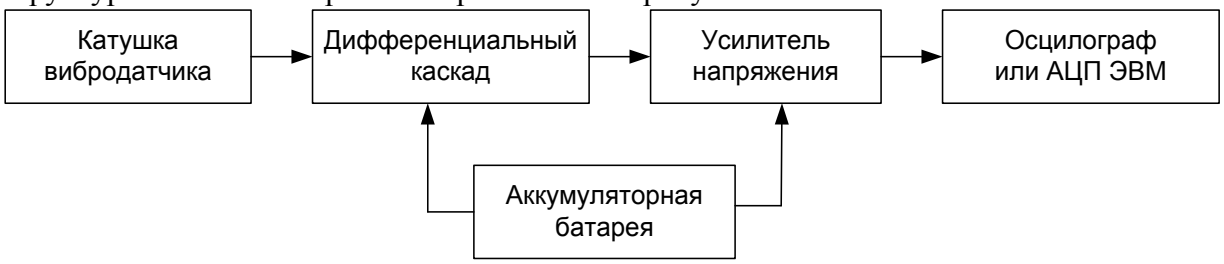


Рисунок 1 - Структурная схема устройства

Вибродатчик(рис. 2) состоит из неподвижной и подвижной системы соединенных с помощью крепежных элементов (12,13,14). Неподвижная система состоит из кожуха (10) с крышкой (11), в котором размещены один постоянный магнит (2) и магнитопровод (3) с воздушными зазорами. Подвижная система состоит из измерительной катушки (4) медного провода намотанной на бумажный каркас (5), мембран подвижной системы (6), чувствительного элемента (1) для приема вибрационного воздействия.

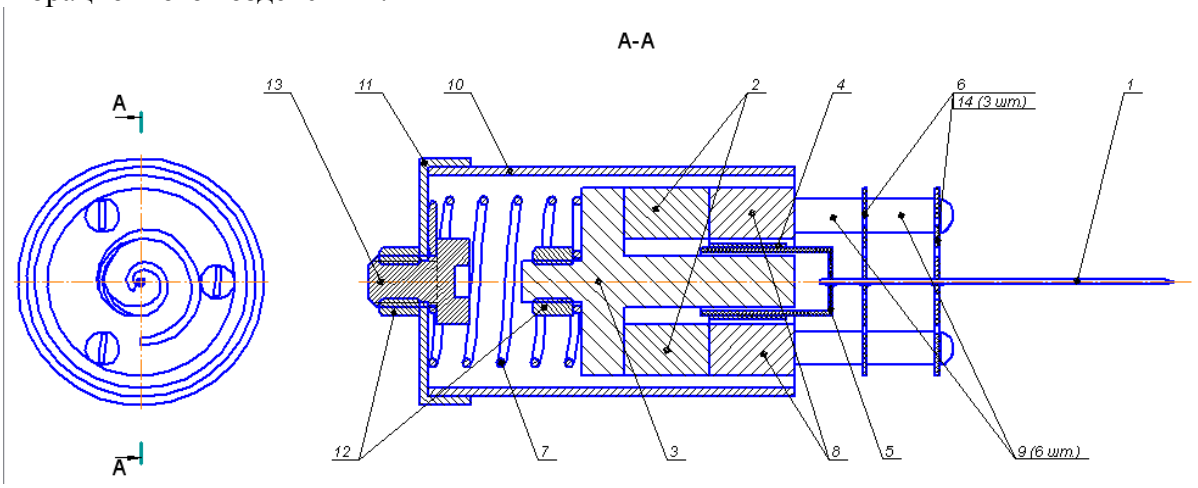


Рисунок 2 – Конструкция вибродатчика

1 – чувствительный элемент;
2 – магнит постоянный;
3 – магнитопровод;
4 – обмотка измерительная;
5 – каркас бумажный;
6 – мембрана;
7 – пружина;
8 – втулка;

9 – стойка;
10 – кожух;
11 – крышка;
12 – гайка;
13,14 – винт.

Вибродатчик внешне закреплен по отношению к объекту исследования, что способствует снижению влияния массы и упругости подвижной системы на точность измерения.

Применяемый вибродатчик предназначен для измерения скорости вибросилового воздействия линейных и угловых перемещений.

Схема электрическая принципиальная разработанного устройства показана на рисунке 3. Усилитель состоит из двух каскадов – дифференциального и неинвертирующего усилителя.

Дифференциальный усилитель необходим в случаях, когда информацию несёт не абсолютное значение напряжения в некоторой точке (относительно уровня заземления), а разность напряжений между двумя точками. Дифференциальный усилитель широко применяется для предварительного усиления слабого дифференциального сигнала в высокоточных системах, когда от усилителя требуются высокие параметры точности коэффициента усиления, и во многих случаях также большое входное сопротивление.

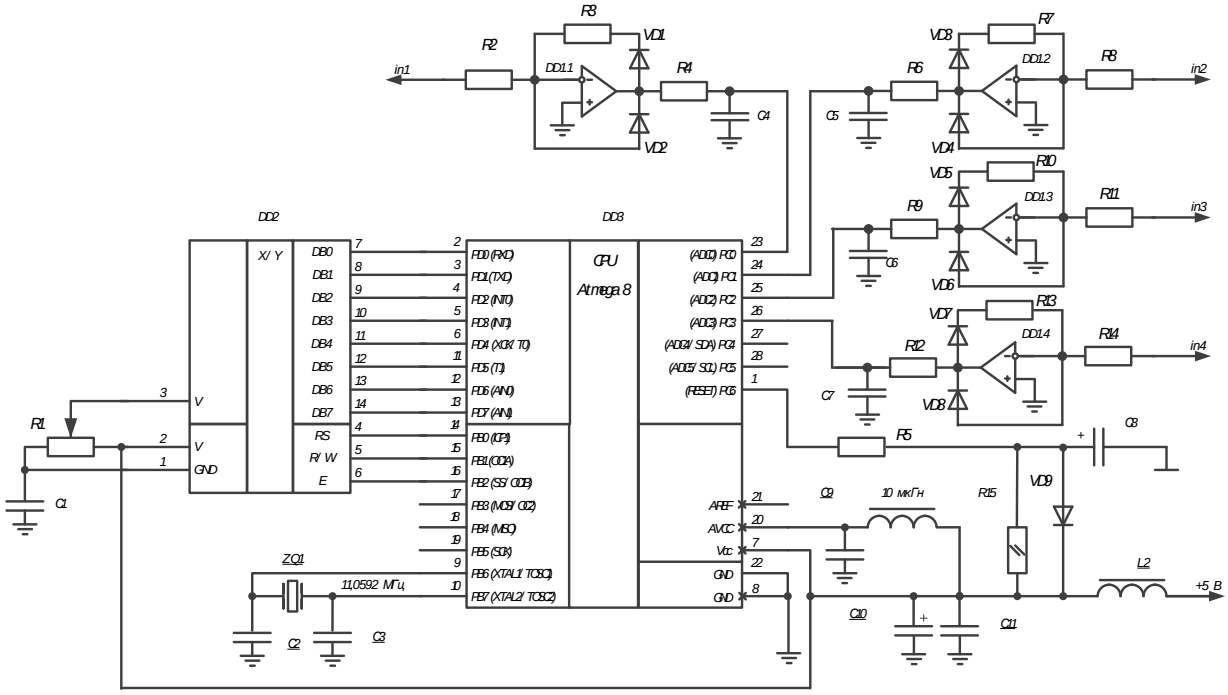


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная

Разработанная схема была отлажена в среде имитационного моделирования ISIS Professional 7.

Разработанное устройство построено на базе микроконтроллера ATmega8. ATmega8 – маломощный 8-разрядный КМОП микроконтроллер, основанный на расширенной AVR RISC-архитектуре. За счет выполнения большинства инструкций за один машинный цикл ATmega8 достигает производительности 1 млн. операций в

секунду/МГц, что позволяет проектировщикам систем оптимизировать соотношение энергопотребления и быстродействия.

Ядро AVR сочетает богатый набор инструкций с 32 универсальными рабочими регистрами. Все 32 регистра непосредственно подключены к арифметико-логическому устройству (АЛУ), который позволяет указать два различных регистра в одной инструкции и выполнить ее за один цикл. Данная архитектура обладает большей эффективностью кода за счет достижения производительности в 10 раз выше по сравнению с обычными CISC-микроконтроллерами.

Микроконтроллер производится по технологии высокоплотной энергонезависимой памяти компании Atmel. Встроенная внутрисистемно программируемая флэш-память позволяет перепрограммировать память программ непосредственно внутри системы через последовательный интерфейс SPI с помощью простого программатора или с помощью автономной программы в загрузочном секторе.

Загрузочная программа может использовать любой интерфейс для загрузки прикладной программы во флэш-память. Программа в загрузочном секторе продолжает работу в процессе обновления прикладной секции флэш-памяти, тем самым поддерживая двухоперационность: чтение во время записи. За счет сочетания 8-разрядного RISC ЦПУ с внутрисистемной самопрограммируемой флэш-памятью в одной микросхеме Atmega8 является мощным микроконтроллером, позволяющим достичь высокой степени гибкости и эффективной стоимости при проектировании большинства приложений встроенного управления.

К выводам порта D подключен буквенно-цифровой индикатор на две строки по 16 символов на базе контроллера HD44780. Контроллер HD44780 фирмы Hitachi фактически является промышленным стандартом и широко применяется при производстве алфавитно-цифровых ЖКИ-модулей. Аналоги этого контроллера или совместимые с ним по интерфейсу и командному языку микросхемы, выпускают множество фирм, среди которых: Epson, Toshiba, Sanyo, Samsung, Philips. Еще большее число фирм производят ЖКИ-модули на базе данных контроллеров. Эти модули можно встретить в самых разнообразных устройствах: измерительных приборах, медицинском оборудовании, промышленнном и технологическом оборудовании, офисной технике – принтерах, телефонах, факсимильных и копировальных аппаратах.

Алфавитно-цифровые ЖКИ-модули представляют собой недорогое и удобное решение, позволяющее сэкономить время и ресурсы при разработке новых изделий, при этом обеспечивают отображение большого объема информации при хорошей различимости и низком энергопотреблении. Возможность оснащения ЖКИ-модулей задней подсветкой позволяет эксплуатировать их в условиях с пониженной или нулевой освещенностью, а исполнение с расширенным диапазоном температур (-20°С…+70°С) в сложных эксплуатационных условиях, в том числе в переносной, полевой и даже, иногда, в бортовой аппаратуре.

Для соединения ЖКИ-модуля с управляющей системой используется параллельная синхронная шина, насчитывающая 8 линий данных DB0…DB7, линию выбора операции R/W, линию выбора регистра RS и линию стробирования/синхронизации E. Кроме линий управляющей шины имеются две линии для подачи напряжения питания 5 В – GND и Vcc.

Для снижения помех вместо классического линейного источника питания использованы 2 аккумуляторных батареи типа Крона напряжением 9В. Существуют аккумуляторы данного форм-фактора иностранного производства. Они имеют чуть меньшую толщину корпуса. При рабочем расчётном напряжении в 8,4 В, свежезаряженными они могут короткое время давать 11,5 В и выше, что обусловлено

особенностями составляющих их Ni-MH аккумуляторных элементов. Использование двуполярного источника питания с абсолютным отсутствием пульсаций позволили значительно расширить динамический диапазон за счет снижения помех удвоенной частоты сети.

Модель индукционного виброметра представляет собой блок конструкцию типа «коробка с крышкой», внутри которой установлена печатная плата с РЭ, а так же буквенно-цифровой индикатор, разъемы для соединения кабелем с измерительным элементом и элемент управления (рис. 4). Основным несущим элементом конструкции является корпус. Плата закреплена к основанию корпуса с помощью четырех винтов М3-6gх6.109.30ХГСА по ГОСТ 11644-75.

Блок представляет собой конструкцию типа «коробка с крышкой», внутри которой размещена печатная плата с ЭРИ, и разъемом.

Корпус блока имеет форму коробки, выполнен методом горячего прессования. На передней панели устройства расположены: гнездо питания 12В, гнездо выходного напряжения, кнопка включения прибора, штекер TRS 3.5 Jack, разъем для подключения к стенду. По бокам корпуса предусмотрены выступы для винтов, крепящих крышку к корпусу.

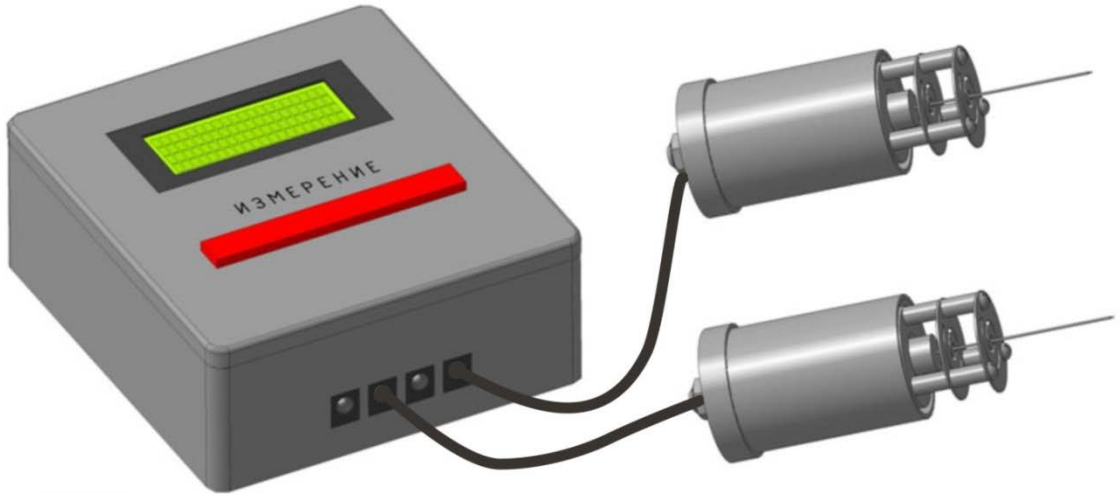


Рисунок 4 – Модель индукционного виброметра с измерительными элементами

Крышка представляет собой пластину, изготовленную из стали. Крышка крепится к корпусу 6 винтами.

Отвод тепла от радиоэлементов, производится с помощью радиатора, что является вполне достаточным для обеспечения номинального теплового режима.

Крышка и корпус изготавливаются из светло-серой стали 10КП.

Данная марка стали является легким, прочным и сравнительно недорогими материалом, что, в свою очередь, обеспечивает выполнение пунктов технического задания относительно массы, надежности и стоимости конструкции.

Целесообразность применения именно этих материалов диктуется техническими соображениями, сокращает капиталовложения.

Экономичность выражается в уменьшении себестоимости, затрат на материалы и трудоемкости.

Плата изготавливается из фольгированного стеклотекстолита СФ1-35Г-1,5 ГОСТ 10316-78, используется комбинированный позитивный метод. Комбинированный метод изготовления печатных плат является наиболее распространенным и представляет собой комбинацию технологических приемов травления фольгированного

диэлектрика с последующей металлизацией монтажных отверстий. Он имеет две разновидности: позитивный вариант, негативный вариант.

При позитивном методе экспонирование рисунка схемы производится сверление и металлизация отверстий. Затем рисунок схемы и металлический слой в отверстиях защищаются слоем гальванического серебра или другого металла, стойкого к травлению для меди, после чего производится травление незащищенной меди. Пайка осуществляется припоем ПОС-61 ГОСТ 21930-76. Электромонтаж внутри блока выполняется проводом МЛТП-0,24 ТУ16.505.185-71. , МС - 0,24 ТУ16.505.185-71.

Проводное соединение между катушкой вибродатчика и входным дифференциальным каскадом витой парой заключенной в экранирующую оплётку. Витая пара — вид кабеля связи, представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины), покрытых пластиковой оболочкой. Свивание проводников производится с целью повышения степени связи между собой проводников одной пары (электромагнитная помеха одинаково влияет на оба провода пары) и последующего уменьшения электромагнитных помех от внешних источников, а также взаимных наводок при передаче дифференциальных сигналов. Со стороны усилителя оплетка распаивается на общий контакт разъема типа Jack, соединенный с корпусом и средним выводом аккумуляторов. Со стороны вибродатчика оплётка распаивается на лепесток механически и электрически связанный с корпусом. Использование дифференциального каскада с таким соединением позволяет значительно снизить наводки на соединительный кабель.

Проводное соединение выходной цепи тоже выполнено на разъёме типа Jack, но не витой парой а обычным экранированным проводом.

Разработанное устройство применяется для исследования конструкций и элементов РЭС, так же для модального анализа и снятия амплитудно-частотных характеристик.

Литература

1 Конструкторско−технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др. Под общ.ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд−во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.

2 Юрков Н.К. Технология радиоэлектронных средств. Учебник / Юрков Н.К. − Пенза: Изд−во Пенз. гос. ун−та, 2010. – 717 с.

3 ГОСТ 30630.1.1−99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Определение динамических характеристик конструкции.

4 Яценков В. С. Микроконтроллеры Microchip с аппаратной поддержкой USB. / Яценков В. С. - М.: Горячая линия−Телеком, 2008. - 400 с.

5 Затылкин, А. В. Внешние механические воздействия как источник возникновения дефектов/ А. В. Затылкин, В. С. Юдин, Д. А. Голушко, // Испытания−2011 : сб. материалов науч.−техн. конф. в рамках Всерос. науч. школы «Методики, техника и аппаратура внешних испытаний» / под ред. проф. Т. И. Мурашкиной. – Пенза :Изд−во ПГУ, 2011. – С. 30−31.

6 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.

7 Леонов, А.Г. Управление исследованиями моделей радиотехнических устройств на этапе проектирования / А. Г. Леонов, А. В. Затылкин, Н. К. Юрков //

Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии: научно-технический журнал - Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2012. – № 1(17). – С. 138-142.

8 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.

9 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.

10 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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ Ku-ДИАПАЗОНА

Иванов А.В.
Москва, НИУ ВШЭ МИЭМ

Рассмотрены аналитические методы расчета параметров зеркальных антенн. Проведен сравнительный анализ результатов расчета, полученных методом Кассегрена с экспериментальным исследованием антенны. Хорошее соответствие результатов позволяет обобщить данный метод на другие виды зеркальных антенн.

The research of the electrodynamic parameters and characteristics of a parabolic antenna Ku-band. Ivanov A.

Consider the analytic methods for calculating the parameters of reflector antennas. An analysis of the calculation results obtained by the experimental study of the Cassegrain antenna was carried out. Good agreement of the results allows us to generalize the method to other types of reflector antennas.

В настоящее время спутниковые системы стали одним из основных видов дальней связи. В последние годы интенсивное развитие таких систем шло в направлениях, обеспечивающих увеличение их пропускной способности.

Антенна выступает в роли промежуточного звена между приемником или передатчиком – и окружающим пространством, являясь своего рода преобразователем электромагнитной энергии, её трансформатором.

Анализируемое антенное устройство является двухзеркальной приемо-передающей антенной, построенной по схеме Кассегрена. Такая антенна представляет собой систему, состоящую из двух отражающих поверхностей – софокусных параболоида и гиперболоида – и облучателя, установленного во втором фокусе гиперболоида. Все расстояния по ломанной линии от фокуса до раскрыва одинаковы, что обеспечивает синфазность поля в раскрыве. Двухзеркальная антенна является более компактной, чем однозеркальная, и обеспечивает более равномерное распределение возбуждения по раскрыву, а также является более помехозащищённой, даёт возможность укоротить тракт СВЧ, и разместить основную часть конструкции облучателя за зеркалом, что особенно удобно в моноимпульсных радиолокаторах. При

оптимизации размеров облучателя и малого зеркала удаётся получить коэффициент использования поверхности (КИП) равным 0,60÷0,65. Недостаток системы – затенение раскрыва её малым зеркалом, а также обратная реакция малого зеркала на облучатель.

Исходя из требований технического задания, коэффициент усиления в рабочем диапазоне частот определяется по формуле:

$$G[\text{дБ}] = 10\lg\{\mathrm{K}\left(\frac{\pi \mathrm{D}}{\lambda}\right)^2\}, \quad (1)$$

где K – коэффициент использования поверхности, D - диаметр основного зеркала, λ - длина волны нижней частоты рабочего диапазона (2.72см). Расчётное значение диаметра раскрыва большого зеркала составит D=4,5 м.

Используя соотношение, связывающее диаметр раскрыва большого зеркала D, угол раскрыва большого зеркала 2ψ0 и фокусное расстояние большого зеркала f, [1] найдём фокусное расстояние большого зеркала по формуле:

$$\mathrm{f} = \frac{\mathrm{D}}{4\mathrm{tg}\frac{\psi_0}{2}} = 16{,}07 \text{ мм}, \quad (2)$$

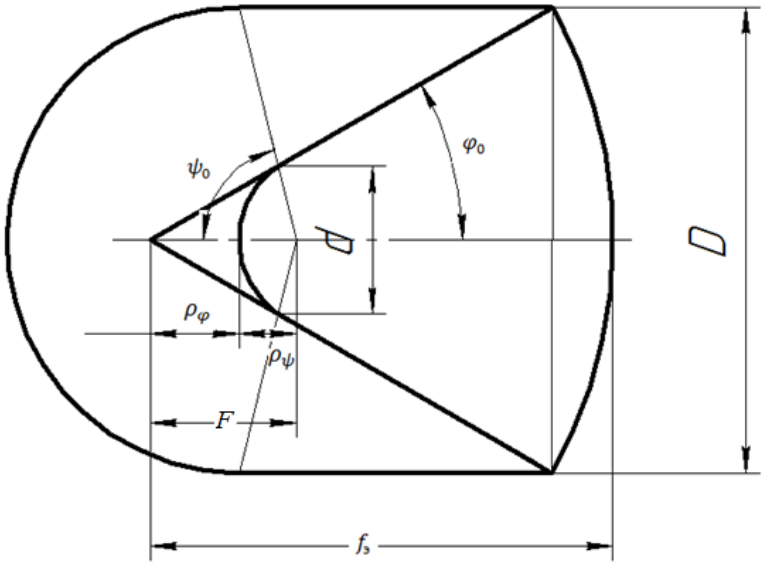


Рис. 1 Схема двухзеркальной антенны

Эксцентриситет гиперболического зеркала определяется соотношением:

$$\mathrm{e} = \frac{\sin\frac{\psi_0+\varphi_0}{2}}{\sin\frac{\psi_0-\varphi_0}{2}} \quad (3)$$

По формуле (3) эксцентриситет e =1,9269. Воспользовавшись соотношениями, рассчитаем $\mathrm{f_э}$ по формуле:

$$\mathrm{f_э} = \mathrm{f}\frac{\mathrm{e}+1}{\mathrm{e}-1} \quad (4)$$

Профиль параболы в декартовых координатах описывается выражением: [2]

$$\mathrm{Y}^2 = 4\mathrm{fx}, \quad (5)$$

а для малого зеркала из уравнения гиперболоида вращения:

$$\mathrm{X} = \mathrm{a}\{\sqrt{1 - \left(\mathrm{y}/\mathrm{b}\right)^2} - 1\}, \quad (6)$$

где $\mathrm{a} = \mathrm{f_m}/2\mathrm{e}$, $\mathrm{b} = \mathrm{a}\sqrt{\mathrm{e}^2 - 1}$

На рисунках 2, 3 приведены расчётные профили основного параболического и малого гиперболического зеркал.

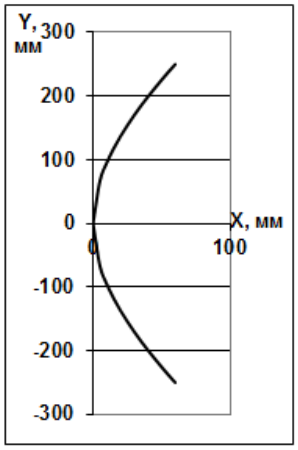


Рис.2 Малое параболическое зеркало

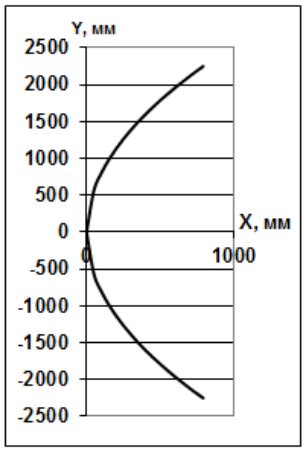


Рис.3 Большое параболическое зеркало

Облучатель антенны существенно влияет на характеристики антенной системы в целом. Выбор и проектирование облучателей зеркальных антенн в общем случае определяется следующими соображениями:

1. ДН облучателя должна обеспечивать соответствующее распределение поля по апертуре с необходимым уменьшением поля на краю зеркала и иметь небольшой уровень боковых лепестков.
2. Облучатель должен создавать минимальное затенение апертуры, так как затенение апертуры увеличивает уровень боковых лепестков и уменьшает КНД.
3. Облучатель должен иметь фазовый центр.
4. Облучатель должен иметь требуемую диапазонность.
5. Облучатель должен иметь минимальный вес, достаточную механическую прочность, обеспечивать необходимую надежность работы при ожидаемых метеоусловиях, возможность герметизации волноводного тракта.

В качестве облучателей двухзеркальных антенн в подавляющем большинстве случаев используются рупоры и их модификации. Широкое распространение рупорных облучателей объясняется простотой их конструкции, хорошими характеристиками по входному сопротивлению, поляризации и допустимой мощности, осесимметричная диаграмма направленности. Ему присущи и недостатки: отсутствие фазового центра.

Выбираем волновод из условия: $0{,}6\lambda \le a \le 0{,}9\lambda$, где $\lambda = 27{,}2мм$.

Получим выражение $16 \le a \le 24$. По таблице параметров стандартных прямоугольных волноводов.

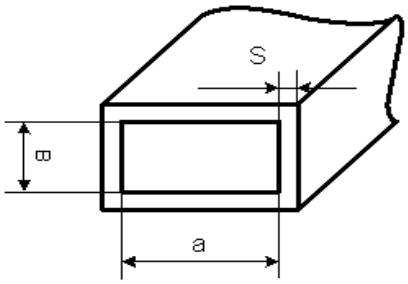


Рис.4 Прямоугольный волновод а=19мм, в=9,5 мм, s=2 мм

В прямоугольных волноводах распространяются волны типов H_{mn}и E_{mn} (m и n – число полуволн, соответственно, по широкой и узкой стенкам). Основной тип волны H_{10}. Условие распространения $\lambda/2 < a < \lambda, b < \lambda/2$. Материалом является медь, алюминий, латунь.

Внутри волновод заполнен воздухом, в тех случаях, когда требуется высокая стабильность параметров, они изнутри покрываются тонкой пленкой лака, для уменьшения потерь – серебрятся или золотятся. Их преимущества: простота и жесткость конструкции, высокая электрическая прочность и малые потери. Основными недостатками являются – узкополосность (в определенном диапазоне волн), большие масса и габариты для волн длиннее 20 см и трудности при изготовлении длиной менее 5 мм. Применяются в дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн

Расчет основных характеристик волновода:

1. Замедление фазовой скорости:

$$\gamma = \sqrt{1-(\frac{\lambda}{2a})^2}, \tag{7}$$

где λ – длина волны генератора (мм);

а – размер поперечного сечения волновода в плоскости Н (мм)

$$\gamma = \sqrt{1-(\frac{\lambda}{2a})^2} = \sqrt{1-(\frac{27.2}{2*19})^2} = \sqrt{1-0.72} = 0.7$$

2. Замедление групповой скорости:

$$\gamma_{гр} = \frac{1}{\gamma} \tag{8}$$

$$\gamma_{гр} = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{0.7} = 1.43$$

3. Коэффициент затухания:

$$\alpha = \frac{0.14\left[1+2\frac{b}{a}\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right]}{b\sqrt{\lambda}\sqrt{1-(\frac{\lambda}{2a})^2}}, \text{ дБ/м,} \tag{9}$$

где $a,b,\lambda -$ стенки волновода и длина волны соответственно, измеряются в сантиметрах.

$$\alpha = \frac{0.14\left[1+2\frac{b}{a}\left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2\right]}{b\sqrt{\lambda}\sqrt{1-(\frac{\lambda}{2a})^2}} = \frac{0.14\left[1+2\frac{9.5}{19}(\frac{27.2}{38})\right]}{9.5\sqrt{27.2}\sqrt{1-(\frac{27.2}{38})}} =$$

$$= \frac{0.14[1+0.5(0.72)]}{9.5*5.22*\sqrt{1-0.72}} = \frac{0.14(1+0.36)}{49.59*0.53} = \frac{0.14*1.36}{26.28} = \frac{0.19}{26.28} = 0.0072 дБ/м$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = 1.1*10^{10} = 11 ГГц$$

4. Частота сигнала

Волноводно-рупорные антенны (ВРА) являются простейшими антеннами сантиметрового диапазона волн.

Они могут формировать диаграммы направленности шириной от 100-140° до 10-20° в пирамидальных рупорах. Возможность сужения диаграммы рупора ограничивается необходимостью резкого увеличения его длины.

ВРА являются широкополосными устройствами и обеспечивают примерно полуторное перекрытие по диапазону. Коэффициент полезного действия (КПД) рупора высокий (около 100%). Рупорные антенны просты в изготовлении.

Недостатком рупорных антенн являются: громоздкость конструкции, трудности в регулировании амплитудно-фазового распределения поля в раскрыве, которые ограничивают снижения уровня боковых лепестков и создания диаграмм направленности специальной формы.

Рупорные излучатели могут применяться как самостоятельные антенны, так и в качестве излучателей антенн.

Рупорная антенна (Рис.5) состоит из рупора (1), волновода (2) и возбуждающего устройства (3).

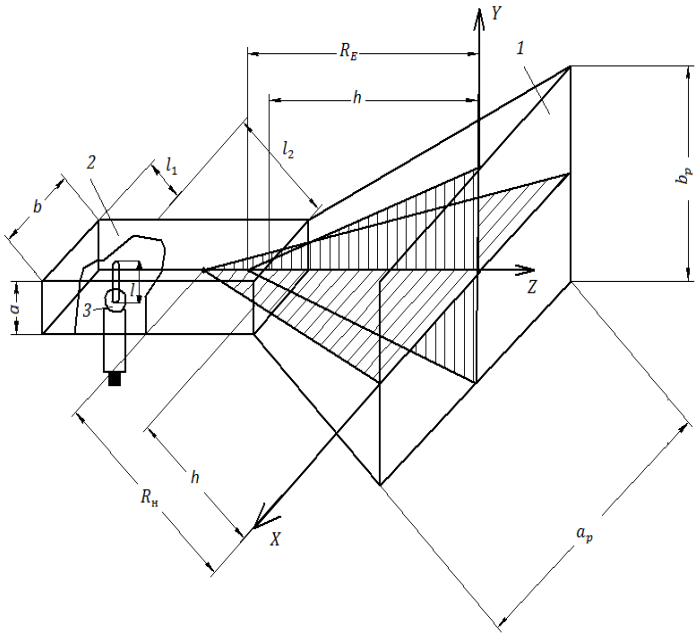


Рис.5 Рупорный облучатель

1. Рассчитаем размеры раскрыва рупора – a_p; b_p. Размеры раскрыва рупора выбираются по требуемой ширине диаграммы направленности (ДН) в соответствующей плоскости.

Как было указано выше, диаграмма направленности облучателя должна облучать край малого зеркала по уровню -10 дБ,

В плоскости Н ширина ДН по уровню – 10 дБ, связана с раскрывом a_p соотношением:

$$2\varphi_{0.5} = 2.0\frac{\lambda}{a_p}, \tag{10}$$

где $2\varphi_{0,5}$ по условию равно 50°, $\lambda = 2{,}72мм$ - из условия, а значение 2,0 дано в радианах, которое надо перевести в градусы: 2,0 рад =114,6°.

$$a_p = \frac{114{,}6 * \lambda}{50} = 62мм$$

В плоскости Е ширина ДН по уровню – 10 дБ, связана с раскрывом b_p соотношением:

$$2\varphi_{0.5} = 1.8\frac{\lambda}{b_p}, \tag{11}$$

где $2\varphi_{0,5}$ по условию равно 50°, $\lambda = 2{,}72мм$ - из условия, а значение 1,8 дано в радианах, которое надо перевести в градусы: 1.8 рад=103,1°.

$$b_p = \frac{103{,}1 * \lambda}{50} = 56мм$$

2. Коэффициент использования площади рупора равен 1.

3. Уровень первого лепестка равен – 13.2 дБ.

4. Определим длину рупора в плоскостях Н и Е:

$$R_H = \frac{a_p^2}{3\lambda} \tag{12}$$

$$R_E = \frac{b_p^2}{2\lambda} \tag{13}$$

$R_H = \frac{a_P^2}{3\lambda} = 47.1мм$, R_E= 57.6 мм

5. Найдем длину горловины рупора – h:

$$\frac{a_p}{a} = \frac{R_H}{R_H - h} \tag{14}$$

$$h = \frac{a_p * R_H - a * R_H}{a_p} = \frac{62 * 47.1 - 19 * 62}{62} = 28.1мм$$

6. Найдем фазовую ошибку в раскрыве рупора:

Максимальная фазовая ошибка в раскрыве рупора (Ψ_{max}) должна удовлетворять следующим условиям (в плоскостях Н и Е):

$$\Psi max = \frac{\pi * a_p^2}{4\lambda R_H} \le \frac{3\pi}{4} \tag{15}$$

$$\Psi max = \frac{\pi * b_p^2}{4\lambda R_E} \le \frac{\pi}{2} \tag{16}$$

$$\Psi max = \frac{3.14 * 62^2}{4 * 27.2 * 47.1} = 2.4 \le \frac{3\pi}{4}$$

условие выполняется 2.4=2.4м

$$\Psi max = \frac{3.14*56^2}{4*27.2*57.6} = 1.57 \le \frac{\pi}{2}$$ условие выполняется 1.57=1.57м

Вывод: исходя из расчета, видно, что полученные данные удовлетворяют ряду условий: в п.6. фазовая ошибка не превышает допустимой; полученные размеры раскрыва рупора ($a_p = 62$ и $b_p = 56$) см оптимально соотносятся с размерами волновода

($a = 19$ и $b = 9.5$) см, а геометрические размеры рупора также соответствуют требуемым условиям, что облегчит в дальнейшем проектирование самого рупора и применение его в работе.

В плоскости Н выражение для диаграммы направленности пирамидального или секториального рупора имеет вид:

$$F(\varphi) = \frac{\cos(\frac{\pi a_p}{\lambda}\sin\varphi)}{1-(\frac{2}{\pi}\frac{\pi a_p}{\lambda}\sin\varphi)^2} \qquad (17)$$

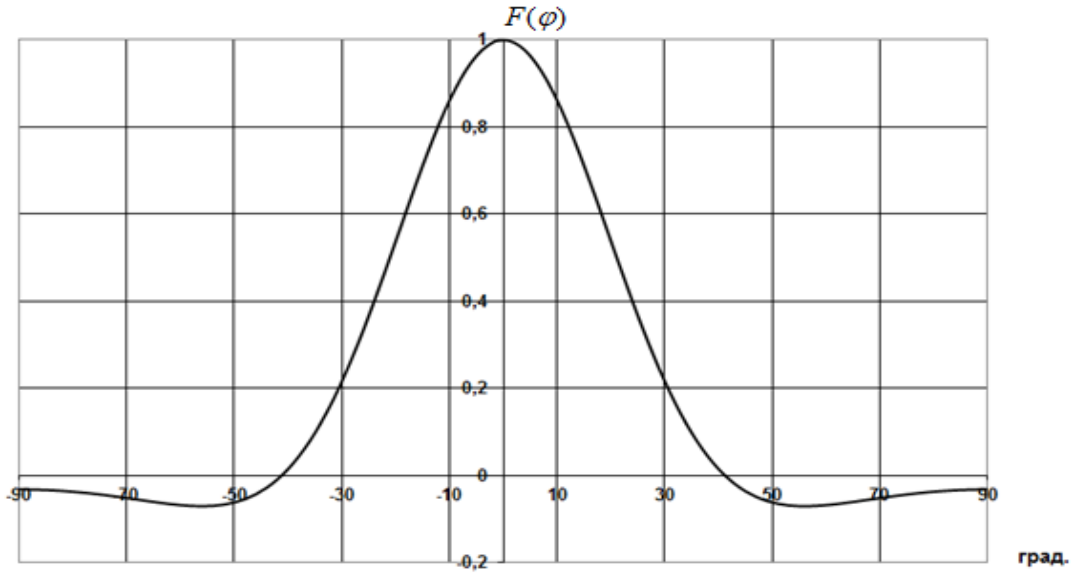


Рис.6 Диаграмма направленности облучателя по Н

В плоскости Е диаграмма направленности облучателя вычисляется по формуле:

$$F(\theta) = \frac{\sin(\frac{\pi b_p}{\lambda}\sin\theta)}{\frac{\pi b_p}{\lambda}\sin\theta}, \qquad (18)$$

где углы φ и θ, а также текущие координаты отсчитываются от нормали к раскрыву рупора, соответственно в плоскостях Е и Н. a_p и b_p - раскрывы рупора.

Диаграммы направленности, рассчитанные по формулам 7, 8 приведены на рисунках 4, 5.

Как видно из рассчитанных диаграмм направленности, их ширина по уровню минус 10 дБ (0,1Е) составляет 500, что соответствует оптимальному облучению малого зеркала.

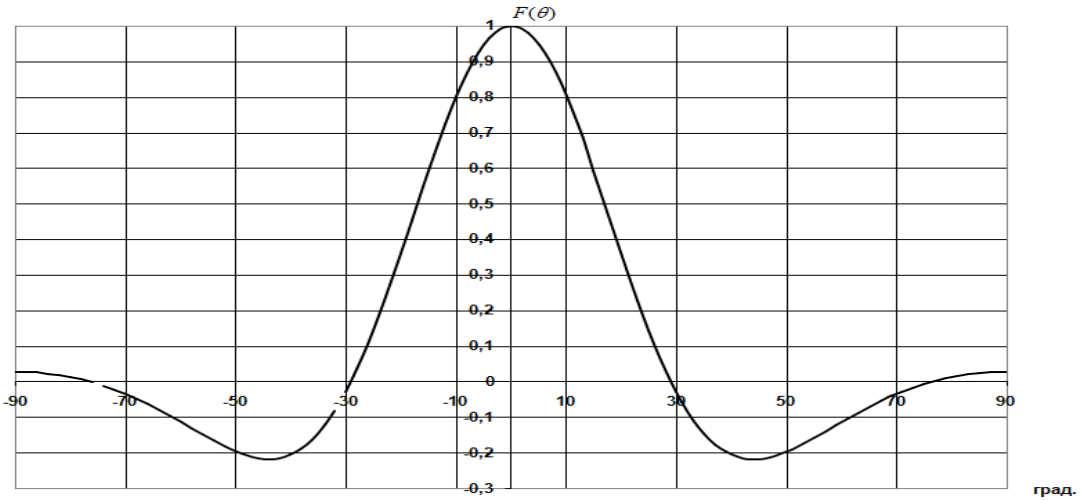


Рис.7 Диаграмма направленности облучателя по Е

Расчет диаграммы направленности ограничивался областью главного и 1-го бокового лепестка. При этом диаграммы направленности рассчитывались по формуле:

$$F(\Theta) = \Delta \cdot \Lambda_1\left(\left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)\sin\Theta\right) + \left(\frac{1-\Delta}{2}\right) \cdot \Lambda_2\left(\left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)\sin\Theta\right), \quad (19)$$

где Λ_1 и Λ_2 – Λ-функции 1-го и 2-го порядков;

Δ – уровень спадания поля на краю зеркала;

D – диаметр раскрыва антенны;

d – диаметр малого зеркала; λ – длина волны.

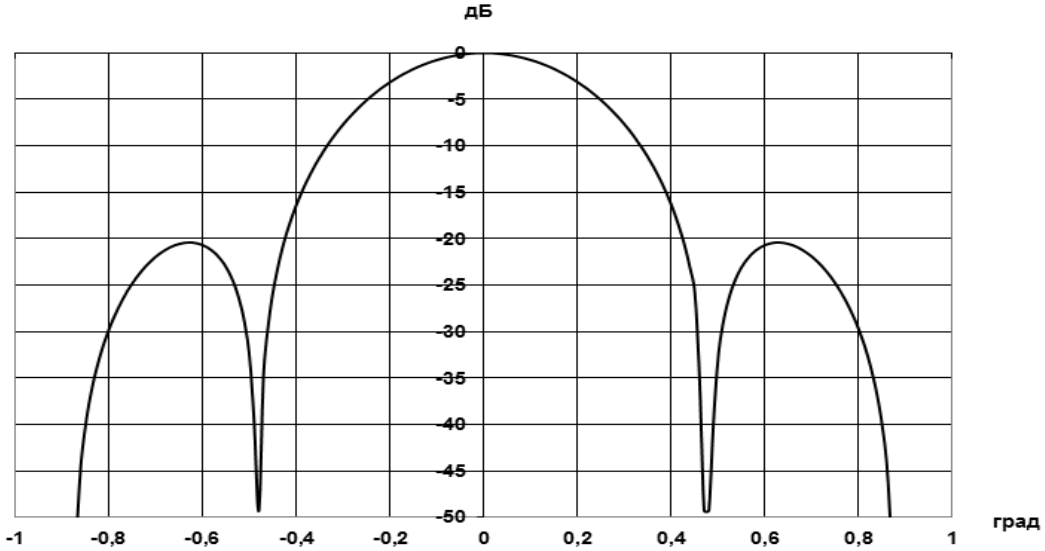


Рис.8 Итоговая диаграмма направленности антенны

Из итоговой диаграммы направленности (рис.6) видно, что уровень боковых лепестков δ не превышает -15дБ, что соответствует эксперименту. Ширина диаграммы направленности по уровню -3 дБ равна 0,4, что также соответствует заданным экспериментом значениям.

Таким образом, в данной работе:

- проведен информационно-патентный поиск по физическим и конструктивным параметрам и характеристикам параболических антенн. Особое внимание уделено рассмотрению апертурных антенн, в частности, зеркальных параболических антенн и

облучателей. На основании обзора показаны преимущества таких антенн и выбрана конструкция зеркальной антенны Ku диапазона по схеме Кассегрена, которая является длиннофокусной и обладает минимальными массогабаритными показателями;

- рассмотрены основные уравнения и методы расчета электрических и электродинамических параметров облучателя и параболоида зеркальной антенны. Проведен аналитический расчет основных характеристик рупорного излучателя, включая коэффициент усиления и диаграммы направленности для Е и Н плоскостей;

- проведен сравнительный анализ результатов аналитического расчета, полученных методом Кассегрена и экспериментальных исследований макета исследуемой зеркальной антенны Ku диапазона. Показано, что полученные характеристики находятся в хорошем соответствии, что позволяет обобщить данный метод на другие типы зеркальных антенн.

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. Айзенберг Г.З. Антенны УКВ. Часть 2. – М.: Высшая школа, 1977. – 288с.

2. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. – М.: Энергия, 1966. – 648с.

3. Антенны: современное состояние и проблемы /Под ред. Л. Д. Бахраха. — М.: Сов. радио, 1979 — 208 с.

4. Вуд П. Дж. Анализ и проектирование зеркальных антенн/Пер. с англ. Г. В. Звороно; Под ред. О. П. Фролова. — М.: Радио и связь, 1984. — 207 с.

5. Phased array antennas/Ed. by A. A. Oliner Q. N. Knittel. — Dedham Artech house, 1972.

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТИПОВ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

Иванов О.А., *Коробков С.А.
*Москва, МГОУ, *Москва, НИУ МЭИ*

Рассмотрены принципы действия двух современных структур источников бесперебойного питания: с высокочастотным звеном и дельта преобразованием. Показаны их основные преимущества и недостатки, учитывая применимость к отечественным электрическим сетям.

Characteristics of the modern types of UPS. Ivanov O., Korobkov S.

Have considered the principal of operation of two modern structural of UPS: with high frequency and delta-conversion. Have showed their main advantages and disadvantages for using in Russian electrical grid.

В настоящий момент достаточно интенсивно развивается направление создания систем бесперебойного питания в части поиска компромисса повышения надежности, уменьшения массогабаритных параметров, стоимости, потерь. Уже сегодня существует множество типов устройств и схемных решений источников бесперебойного питания

(ИБП), таких как: off-line, line-interactive и on-line, включая их различные модификации. Однако особенно хотелось бы отметить следующие: ИБП с высокочастотным звеном и ИБП с дельта-преобразованием. Далее рассмотрим их более подробно.

Основная масса ИБП с высокочастотным звеном являются модификациями принципа on-line. Здесь применено звено высокой частоты с трехобмоточным трансформатором (рис. 1). К одной обмотке - N3a-N3b - через реверсивный преобразователь подсоединена аккумуляторная батарея. К обмотке N1 подключена основная сеть через входной фильтр, выпрямитель В1 и высокочастотный инвертор И1. Нагрузка питается от обмотки N2a-N2b через выпрямитель высокочастотного напряжения В2, инвертор И2 и выходной фильтр.

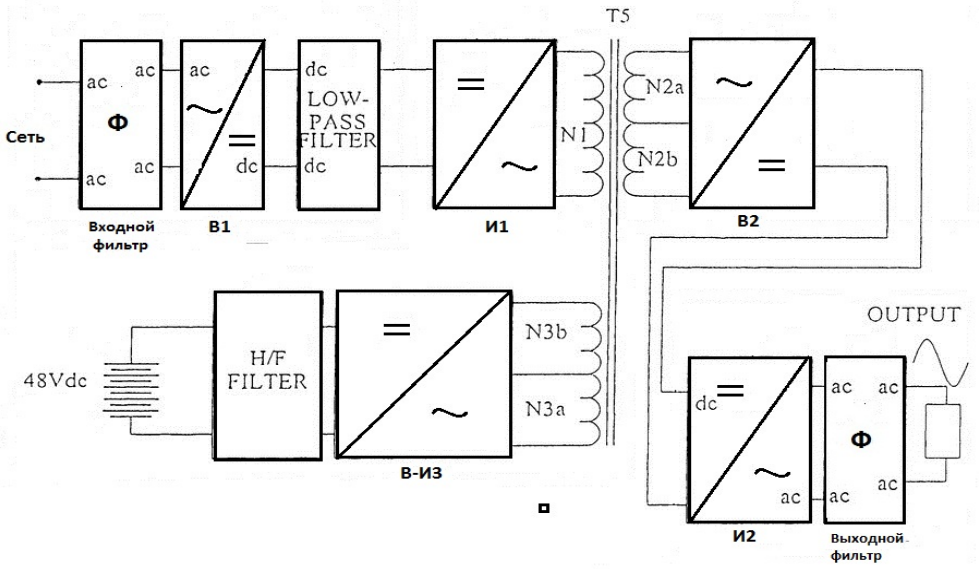


Рис. 1. ИБП с высокочастотным преобразованием.

Однако в отличии от классической структуры, где развязка между выпрямителем в цепи питания от основной сети и АБ выполняется на постоянном токе и переход на питание от АБ происходит без перерыва, в этом ИБП развязка между основной сетью и АБ происходит на переменном токе через трансформатор, однако, для перехода от одного режима к другому требуется небольшая пауза. Большим недостатком такого ИБП является необходимость в увеличенной мощности выпрямителя и увеличенные потери в нормальном режиме работы. Применение трансформатора повышает устойчивость системы за счет гальванической развязки между основной сетью и аккумуляторной батареей и фильтрации составляющей нулевой частоты. Однако это приводит к увеличению стоимости, массогабаритных параметров и электрических потерь. Для решения данных недостатков было предложено использовать высокочастотное звено с высокочастотным трансформатором (20-30 кГц). Так же недостатком данных структур является их невысокий коэффициент мощности по входу (для его повышения требуется дополнительный элемент – THD-фильтр).

Некоторые из указанных недостатков можно избежать, применив ИБП с дельта-преобразованием, по сути являющиеся развитием технологии line-interactive (рис. 2). В нормальном режиме работы нагрузка питается через фильтр Ф1, переключатель S1, электронный ключ на встречно-параллельных тиристорах и фильтр Ф2. При этом основной инвертор работает в режиме выпрямления, заряжая АБ. Дельта-инвертор, преобразуя энергию цепи постоянного тока, питает дельта-трансформатор, вторичная

обмотка которого включена последовательно с потребителем. В случае допустимых скачков напряжения вторичная обмотка добавляет либо вычитает напряжение на нагрузку. Таким образом, стабилизация напряжения осуществляется за счет дельта инвертора с трансформатором, при этом пропуская лишь часть мощность – «дельту» - от суда и название ИБП с дельта-преобразованием. При аварийном режиме основной инвертор переходит из режима выпрямления в режим инвертирования, питания нагрузку от батареи.

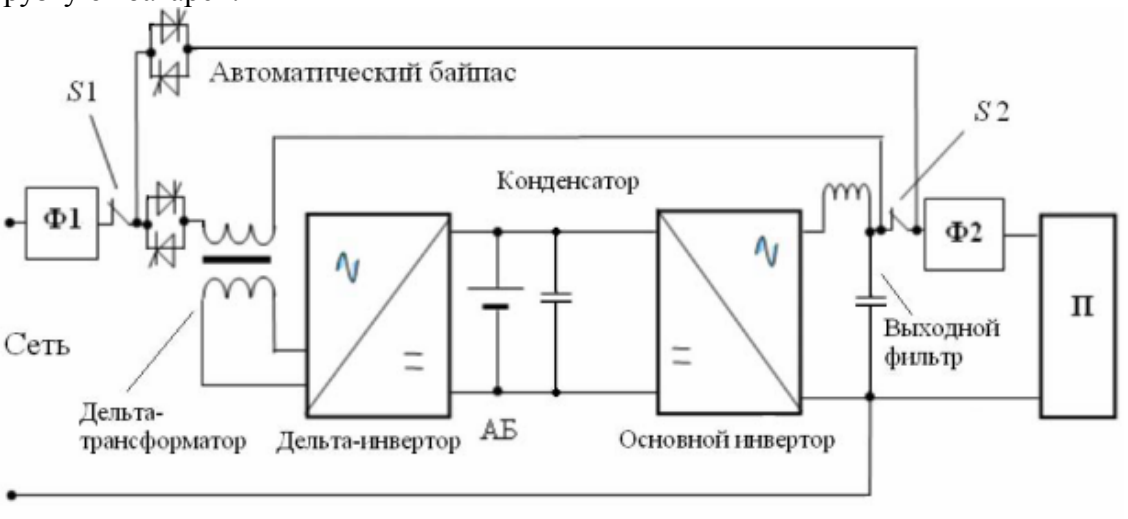


Рис.2. ИБП с дельта преобразованием.

Главное достоинство ИБП с дельта-преобразованием – высокий КПД, но только при условии, что параметры напряжения сети соответствуют номинальным значениям, нагрузка имеет только активную составляющую, а сам ИБП нагружен на полную мощность. Иначе увеличивается нагрузка на основной и дельта-инвертор либо снижается эффективность использования входного трансформатора, что в любом случае приводит к ухудшению общего КПД системы. Так же отсутствует стабилизация частоты сети. Таким образом данные ИБП, имея преимущество в идеальных условиях, сильно уступают on- line в реальных.

Таким образом, можно констатировать, что ИБП с дельта-преобразованием более пригодны для использования в странах с относительно хорошим качеством электросети. В условиях, наблюдаемых в большинстве регионов России и стран СНГ, они проигрывают системам с двойным преобразованием напряжения по эффективности.

В любом случае при выборе определенной модели ИБП пользователь должен руководствоваться, в первую очередь, условиями эксплуатации электроустановки, необходимой надежностью и качеством электропитания и возможностью квалифицированного сервисного обслуживания.

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО ЭКСТРАПОЛЯТОРА В СИСТЕМЕ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Истратов А.Ю., *Бобин А.В.
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ; *Москва, ГосНИИАС*

Рассматривается задача предсказания будущих координат сопровождаемого динамического объекта по ранее полученным отметкам радиорелейной станции. Показаны преимущества нейросетевого подхода.

Development of the Neuronetwork Extrapolator in the System of the Secondary Processing of Radiorelay Information. Istratov A.Yu., Bobin A.V..

The problem of predicting future coordinates of an accompanied dynamic object by the previously obtained marks of the relay station. Advantages of the neuronetwork approach are demonstrated.

Введение. Информация в современных радиолокационных системах (РЛС) подвергается трем этапам обработки: первичной обработке, вторичной и третичной [1] (рис. 1).

Первичная обработка является начальным шагом получения сведений о наблюдаемом объекте. На этом этапе выполняются следующие функции:

- обнаружение полезного сигнала и принятие решения о наличии или отсутствии объекта в наблюдаемой области;
- измерение относительных координат объекта;
- преобразование полученной информации в вид, удобный для дальнейшей обработки и передачи по каналам связи.

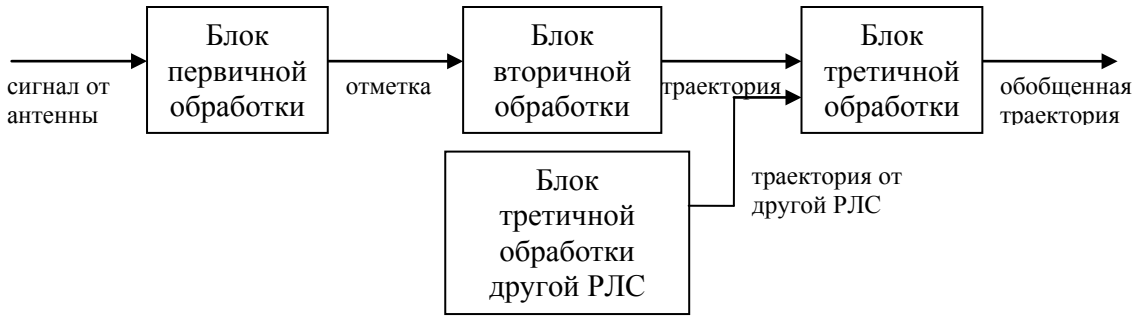


Рис. 1. Схема обработки информации в РЛС.

Результатом первичной обработки является набор радиолокационных отметок. Отметка представляет собой следующие характеристики объекта:

- дальность R;
- угол азимута β;
- угол места ε;
- скорость сближения (по эффекту Доплера) $\dot{R}$;
- момент времени *t*, в который была получена информация.

После первичной обработки возможны ошибки двух видов:

- пропуск объекта (система не смогла выделить полезный сигнал из шума);
- ложная тревога (сформирована отметка о несуществующем объекте).

Положение объекта в пространстве однозначно определяется при трех известных координатах $\left(R_{\delta};\varepsilon_{\delta};\beta_{\delta};\right)$ (рис. 2).

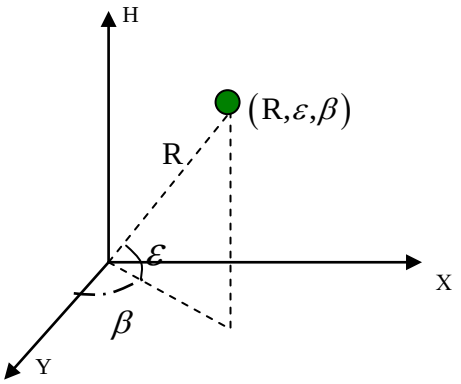


Рис. 2. Определение положения объекта в пространстве.

Вторичная обработка предназначена для устранения ошибок первичной обработки: восстановления пропущенных отметок от объекта, уменьшения ошибок измерения координат и фильтрации ложных целей. Вместе с этим могут выполняться дополнительные функции, связанные с вычислением скорости, размеров объекта и определения его государственной принадлежности.

Выход блока вторичной обработки представляет собой точку траектории, которая содержит следующие характеристики:

- плоскостные координаты *x, y*;
- высоту *h*;
- модуль скорости *v*;
- составляющие скорости v_x, v_y, v_h;
- признак размера объекта (большой, маленький);
- государственная принадлежность;
- тип объекта;
- номер в системе вторичной обработки.

Третичная обработка — это обработка информации, поступающей от нескольких РЛС. Ее назначение состоит в том, чтобы обобщить полученную информацию.

Данная работа посвящена исследованию одной из составляющих блока вторичной обработки, а именно экстраполяции отметок.

В процессе вторичной обработки радиолокационной информации производится объединение отметок в траектории и фильтрация ложных отметок. Это осуществляется следующим образом. Допустим, пусть наблюдатель располагает тремя отметками от одного объекта за три прошлых обзора. На рис. 3 эти отметки обозначены номерами обзоров N, N-1, N-2. В последующем N+1 обзоре появляется несколько отметок, и необходимо решить, какая из них принадлежит объекту, и какие являются ложными. Это выполняется в два этапа.

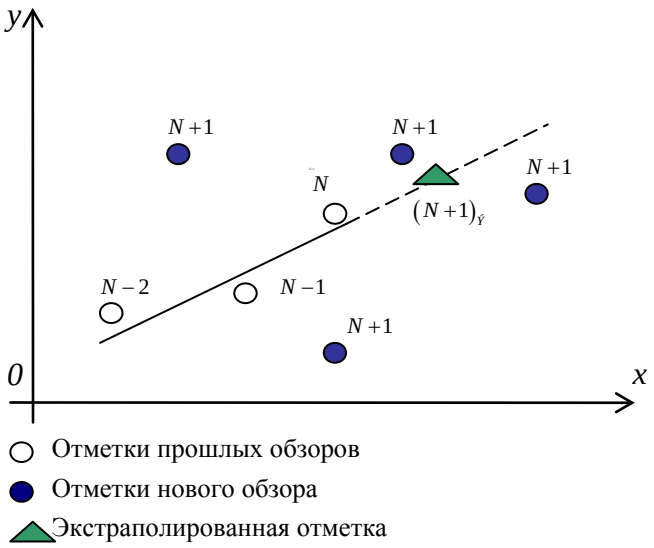


Рис. 3. Процесс вторичной обработки

Сначала на основе имеющейся информации вычисляется точка, в которой ожидается появление будущей $N+1$ отметки. Для этого по трем прошлым отметкам прокладывается «наилучшая» траектория, вычисляется скорость цели и определяется вероятное положение будущей отметки. На рис. 3 она обозначена $(N+1)_{\hat{y}}$. Этот этап называется экстраполяцией, а рассчитанная отметка — экстраполированной.

Затем анализируется положение всех отметок нового обзора относительно экстраполированной отметки, и из них выбирается наиболее подходящая отметка. Этот этап обработки называют сличением. Выбор проводится на основе сравнения вероятностей принадлежности отметок к траектории. Та отметка, которая имеет наибольшую вероятность, считается отметкой от цели, остальные — ложными.

Для прогнозирования требуется знать закономерности движения объекта. Обычно объекты разделяют на маневрирующие и неманеврирующие [1]. Объект считается маневрирующим, если угол отклонения вектора мгновенной скорости за некоторое время превысил заданный порог.

В общем случае траектория объекта представляется сложной функцией. Поэтому во многих случаях практики ограничиваются упрощенной моделью его движения: равномерной и прямолинейной, прямолинейной и равноускоренной, криволинейной и равноускоренной и т.п. В силу этого экстраполированную отметку получают либо с помощью линейной экстраполяции, либо с помощью квадратичной экстраполяции, либо с помощью метода наименьших квадратов [1, 3].

В работе рассматривается альтернативный подход к расчету экстраполированной отметки базирующийся на нейросетевой технологии.

Постановка задачи. Постановка решаемой задачи выглядит следующим образом. Пусть есть источник данных, который в каждый момент времени t выдает последовательность наблюдений, содержащую:

- тип объекта;
- абсциссу объекта $x(t)$;
- ординату объекта $y(t)$;
- высоту объекта $h(t)$.

Необходимо по исходным данным об объекте в моменты времени *t, t-1, t-2, …* предсказать положение объекта в момент времени $t+1$, т.е. определить $\left(x(t+1), y(t+1), h(t+1)\right)$. Для этого разработать процедуру экстраполяции, которая должна отличаться простотой реализации для возможности работы на бортовом вычислителе в режиме реального времени и превосходить по качеству существующие методы.

Предлагаемое решение. В качестве подхода к задаче экстраполяции предлагается использовать аппарат искусственных нейронных сетей.

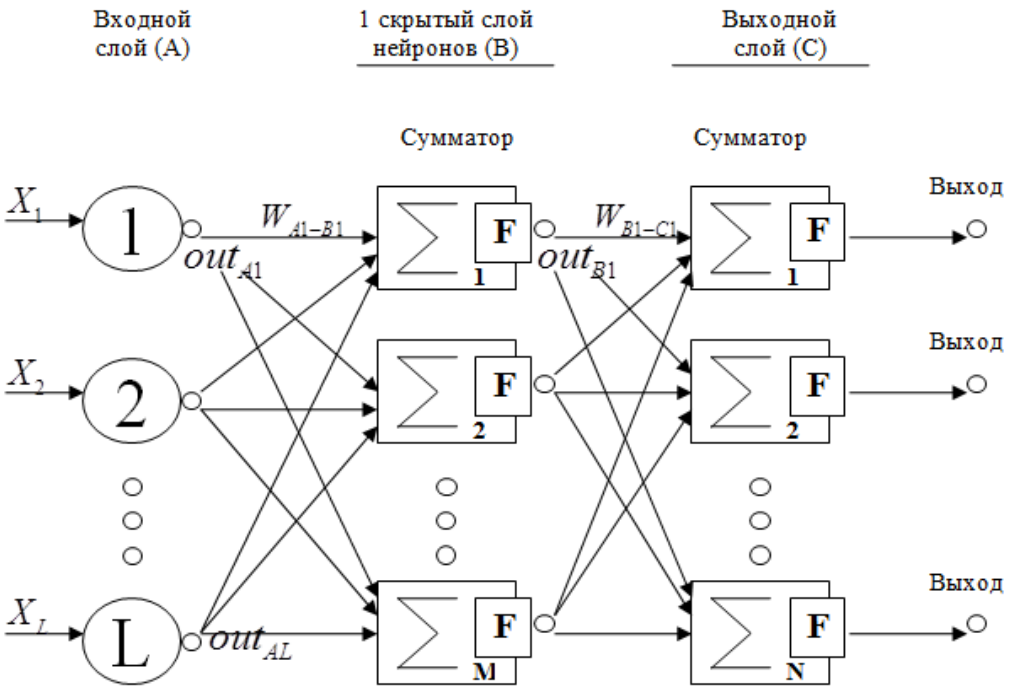


Рис. 4. Структурный граф многослойного персептрона с одним скрытым слоем
F — функция активации, X_i — вход сети, W — весовые коэффициенты, M — число нейронов в скрытом слое, N — число нейронов в выходном слое.

Известно [2, 4], что с помощью многослойного персептрона (МП) [2] можно аппроксимировать любую, сколь угодно сложную функцию, с любой, наперед заданной точностью. Модель этой нейронной сети схематично можно представить следующим образом (рис. 4).

Для разработки эффективной рабочей структуры МП требуется сформировать пространство входных признаков, пространство выходных признаков, определиться с параметрами сети и произвести обучение на известных примерах.

Предлагается осуществлять разработку нейросетевого экстраполятора в виде трех последовательных подсистем (рис. 5):

1) Подсистемы препроцессорной обработки информации;
2) Подсистемы экстраполяции;
3) Подсистемы интерпретации.

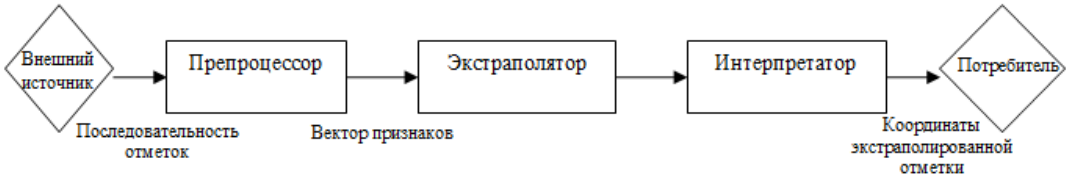


Рис. 5. Структура системы экстраполирования

Подсистема препроцессорной обработки информации осуществляет начальную обработку входных данных. Подсистема экстраполяции осуществляет прогнозирование временного ряда. Подсистема интерпретации осуществляет постобработку результатов экстраполяции и представление полученных результатов в удобной для потребителя форме.

На вход препроцессора поступает выборка данных, которая может быть получена, например, из модели движения того или иного объекта, или в результате непосредственных наблюдений. В общем случае она имеет вид матрицы, состоящей из 6 строк:

1. Номер типа объекта.
2. Номер траектории.
3. Момент времени t.
4. Координата x.
5. Координата y.
6. Координата h.

Последовательно описываются все траектории для каждого типа объекта. Все траекторные измерения ведутся последовательно и упорядочены по возрастанию времени.

Рассматриваются 3 типа маневрирующих летательных объектов, для каждого из которых моделируется 500 траекторий. Период измерения составляет 20 секунд. В каждый момент времени положение объекта описывается тремя координатами x(t), y(t), h(t).

Препроцессор на основе входных данных осуществляет вычисление дополнительных информативных признаков для проведения экстраполяции. К таким признакам относятся:

- скоростные характеристики — модуль скорости, проекции модуля скорости на оси OX, OY, OH, углы между мгновенными скоростями;
- характеристики ускорения — модуль ускорения и проекции модуля ускорения на оси OX, OY, OH;
- угол пикирования/кабрирования;
- угол поворота;
- отклонения от прямолинейного движения.

Блок экстраполятора представляет собой многослойный персептрон или каскад таких сетей, который на основе данных, полученных от препроцессора, осуществляет прогнозирование следующего траекторного наблюдения для каждой точки каждой траектории. Обучение такой нейросети производится по алгоритму обратного распространения ошибки (в работе для обучения использовался метод Левенберга-Марквардта [4]).

Блок экстраполятора может выдавать не конкретные координаты точки траектории, а промежуточные данные, на основе которых можно рассчитать положение

прогнозируемых точек, поэтому задача интерпретатора — преобразование этих данных в формат, пригодный для использования потребителем.

Все подсистемы срабатывают последовательно. Каждой подсистемой обрабатывается сразу весь массив входных данных.

Поступающие на вход блока препроцессора данные находятся в следующей системе координат (рис. 6). Центр прямоугольной системы координат совмещен с положением РЛС. Вертикальная плоскость XOH содержит точку обнаружения динамического объекта. Ось OX расположена в горизонтальной плоскости и направлена в сторону точки обнаружения, ось OH направлена вертикально вверх, горизонтальная ось OY образует с двумя другими правую систему координат.

Для бо́льшего правдоподобия необходимо рассмотреть работу сети на зашумленных данных. Для добавления помех к идеальным данным они переводились из декартовой системы координат в сферическую $(x, y, h) \to (r, \varepsilon, \beta)$, а затем и обратно $(r, \varepsilon, \beta) \to (x, y, h)$.

Для перевода из декартовой в сферическую систему координат производятся следующие преобразования:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + h^2} \qquad \varepsilon = arc\cos\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}} \qquad \beta = arc\cos\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

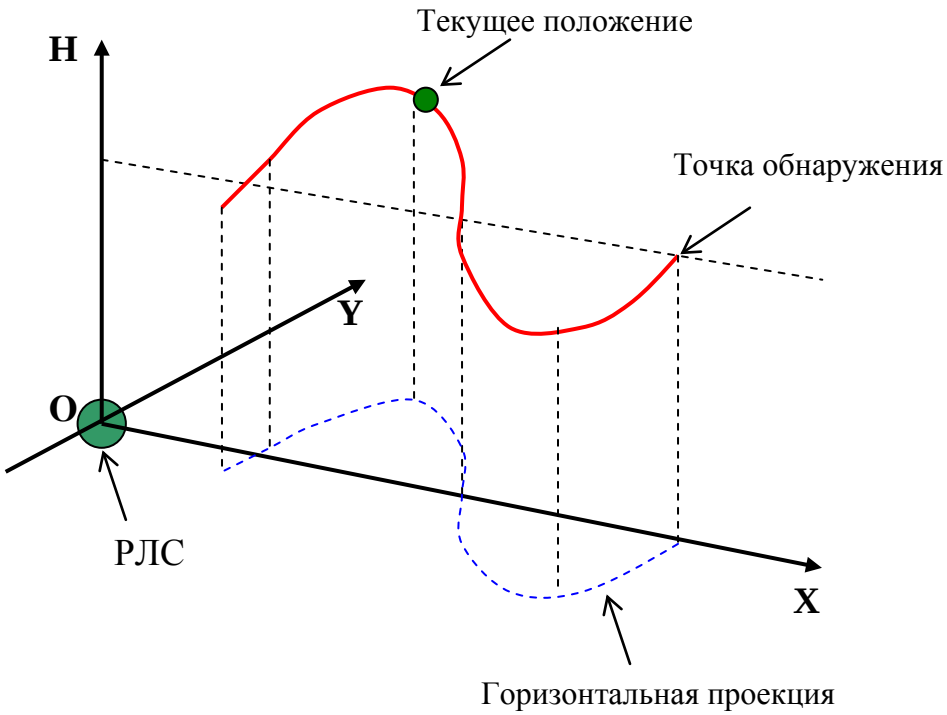


Рис. 6. Система координат для представления данных

Для перевода из сферической в декартову систему координат используются выражения:

$$x = r\cos(\varepsilon)\cos(\beta) \qquad y = r\cos(\varepsilon)\sin(\beta) \qquad h = r\sin(\varepsilon)$$

Погрешности добавляются для данных в сферической системе координат. Новые координаты пересчитываются по следующим формулам:

$$r_{new} = r_{old} + \delta \cdot 500,$$

$$\varepsilon_{new} = \varepsilon_{old} + \delta \frac{\pi}{180},$$

$$\beta_{new} = \beta_{old} + \delta \frac{\pi}{180},$$

где δ - случайное, равномерно распределенное, число.

Вектор признаков в каждый момент времени должен отражать текущее положение динамического объекта и пространственно-временную динамику траектории его движения на всем участке наблюдения. Для этого разделим признаки на две группы: мгновенные, которые описывают текущее состояние объекта, и интегральные, которые описывают динамические свойства траектории его движения.

К мгновенным признакам относятся:

- координаты $x(t), y(t), h(t)$ текущего положения объекта;
- характеристики скорости $V_x(t), V_y(t), V_h(t), V_{xy}(t), V(t)$;
- характеристики ускорения $a_x(t), a_y(t), a_h(t), a_{xy}(t), a(t)$;
- угол поворота α;
- угол пикирования/кабрирования γ.

Исходными данными являются мгновенные значения $x(t), y(t), h(t)$, а остальные признаки вычисляются в соответствии с (рис. 7, 8):

$$V_x(t_i) = \frac{x(t_i) - x(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}},$$

$$V_y(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}},$$

$$V_h(t_i) = \frac{h(t_i) - h(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}},$$

$$a_x(t_i) = \frac{V_x(t_i) - V_x(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}},$$

$$a_y(t_i) = \frac{V_y(t_i) - V_y(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}},$$

$$a_h(t_i) = \frac{V_h(t_i) - V_h(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}},$$

$$V(t_i) = \sqrt{V_x^2(t_i) + V_y^2(t_i) + V_h^2(t_i)},$$

$$a(t_i) = \sqrt{a_x^2(t_i) + a_y^2(t_i) + a_h^2(t_i)},$$

$$V_{xy}(t_i) = \sqrt{V_x^2(t_i) + V_y^2(t_i)},$$

$$a_{xy}(t_i) = \sqrt{a_x^2(t_i) + a_y^2(t_i)},$$

$$\alpha = \arccos\frac{V_x(t_i)}{V_{xy}(t_i)}, \quad \gamma = \arccos\frac{V_{xy}(t_i)}{V(t_i)},$$

где t_i - текущий момент дискретного времени; t_{i-1} - предыдущий момент дискретного времени.

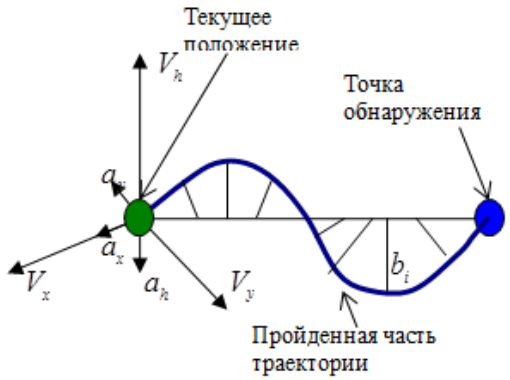


Рис. 7. Информативные признаки

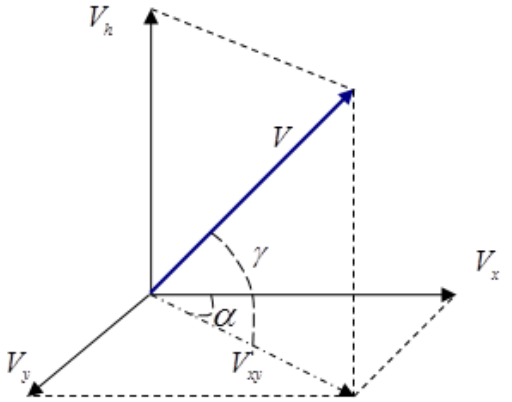


Рис. 8. Углы кабрирования и поворота

К интегральным признакам относятся:

- значение интегрального показателя пространственного маневра M_{xyz};
- значение интегрального показателя маневра M_{xy} в горизонтальной плоскости;
- суммарный угол отклонения скоростей Γ.

Интегральный показатель пространственного маневра M_{xyz} описывает величину отклонения траектории движения объекта на участке наблюдения от прямолинейного (рис. 7). Он представляет собой сумму квадратов отклонений в моменты наблюдения от прямой линии, соединяющей точку обнаружения с точкой текущего положения объекта, и вычисляется по формулам:

$$M_{xyz}(t_k)=\sum_{i=1}^{k} b_i^2(t_k),\ b_i(t_k)=\sqrt{f^2-\frac{\left(f^2+g^2-m^2\right)^2}{4g^2}},$$

$$f=\sqrt{\left(x(t_i)-x(t_0)\right)^2+\left(y(t_i)-y(t_0)\right)^2+\left(h(t_i)-h(t_0)\right)^2},$$

$$g=\sqrt{\left(x(t_k)-x(t_0)\right)^2+\left(y(t_k)-y(t_0)\right)^2+\left(h(t_k)-h(t_0)\right)^2},$$

$$m=\sqrt{\left(x(t_i)-x(t_k)\right)^2+\left(y(t_i)-y(t_k)\right)^2+\left(h(t_i)-h(t_k)\right)^2},$$

где t_k — текущий момент времени; t_i, $i=1,...,k-1$ — предшествующие моменты времени; t_0 — момент обнаружения объекта; $b_i(t_k)$ — длина перпендикуляра, опущенного из точки положения объекта в один из предшествующих моментов времени t_i на прямую, соединяющую точку обнаружения объекта с точкой его положения в текущий момент времени t_k.

Интегральный показатель маневра M_{xy} описывает отклонение проекции траектории движения объекта на горизонтальную плоскость от прямолинейной и вычисляется аналогично.

Суммарный угол отклонения скоростей показывает, отклонение скорости за наблюдаемый период времени и вычисляется следующим образом:

$$\Gamma = \arccos\left(\frac{\cos(a,b)}{V}\right), \quad \cos(a,b) = \frac{x(t_k)x(t_{k-1}) + y(t_k)y(t_{k-1}) + h(t_k)h(t_{k-1})}{ab},$$

$$a = \sqrt{x(t_k)^2 + y(t_k)^2 + h(t_k)^2},\ \mathrm{b} = \sqrt{x(t_{k-1})^2 + y(t_{k-1})^2 + h(t_{k-1})^2}.$$

Для прогнозирования положения объекта использовались три параллельно функционирующих МП с сигмоидальной функцией активации каждого нейрона с 2 скрытыми слоями по 7 и 4 нейрона в каждом слое, соответственно. Первые две сети N_1 и N_2 прогнозируют плоскостные координаты нового положения объекта в декартовой системе координат; третья сеть N_3 прогнозирует высоту объекта. Структура нейросетевого экстраполятора изображена на рис. 9.

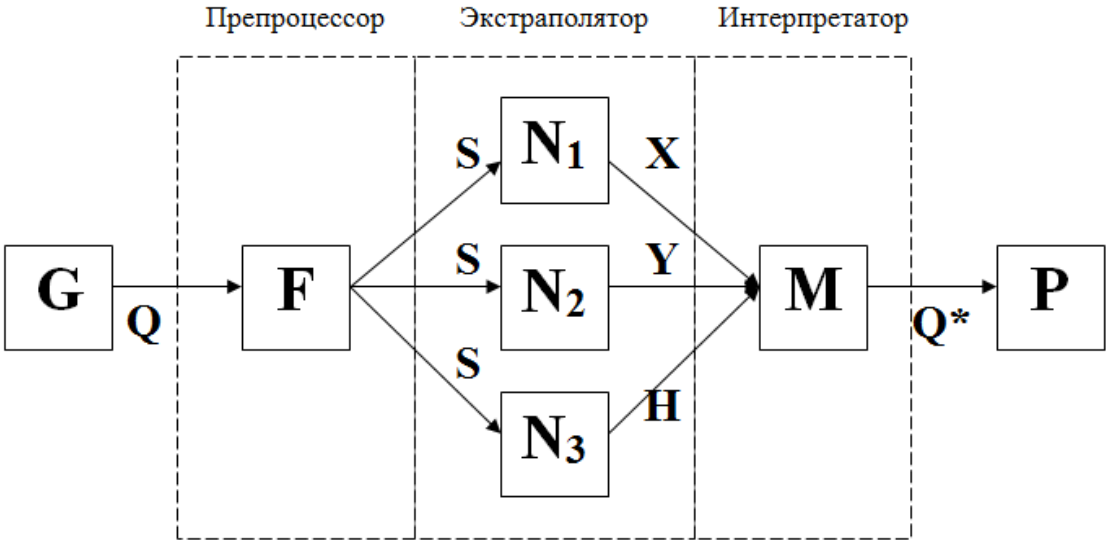


Рис. 9. Структура нейросетевого экстраполятора

Источник данных G генерирует последовательность отметок Q, которая поступает в подсистему расчета информативных признаков F. Вычисленный вектор признаков S одновременно поступает на нейросетевые блоки N_1, N_2 и N_3, каждый из которых прогнозирует свою координату. Блоки N_1, N_2 и N_3 работают параллельно. Затем спрогнозированные координаты X, Y и H передаются в подсистему объединения данных M, в которой объединяется координаты в отметки, а затем передаются внешнему потребителю P в виде экстраполированной отметки Q^*.

Вектор информативных признаков S содержит следующие компоненты:

- координаты $x(t), y(t), h(t)$ текущего положения объекта;
- характеристики скорости $V_x(t), V_y(t), V_h(t), V_{xy}(t)$;
- угол поворота α;
- угол пикирования/кабрирования γ;
- значение интегрального показателя пространственного маневра M_{xyz};
- значение интегрального показателя маневра M_{xy} в горизонтальной плоскости;
- суммарный угол отклонения скоростей Γ.

Анализ полученных результатов. Обучающая выборка формируется из

матрицы признаков, построенной на зашумленных данных. В процессе тестирования сети проверялось, насколько точно экстраполятор по зашумленным данным воспроизводит идеальную траекторию. Для оценки качества обучения использовались следующие показатели:

- евклидово расстояние между экстраполированной отметкой и отметкой идеальной траектории;
- математическое ожидание ошибки;
- дисперсия ошибки;
- минимальное и максимальное значение ошибки.

В ходе тестирования рассматривались две выборки — выборка зашумленных данных и соответствующая ей выборка идеальных данных. По зашумленным данным была рассчитана матрица признаков, по идеальным — матрица целей. Затем система на этих данных была обучена и протестирована. В результате тестирования были получены следующие показатели (табл. 1):

Таблица 1. Результаты тестирования нейросетевого экстраполятора на обучающей выборке

	M	D	min(*м*)	max(*м*)
X	$1,67\cdot10^3$	$8,37\cdot10^3$	0,009	$2,23\cdot10^5$
Y	944,05	$1,31\cdot10^3$	0,002	$4,16\cdot10^4$
H	878,96	$1,15\cdot10^3$	0,01	$2,34\cdot10^4$
По всей отметке	$2,55\cdot10^3$	$8,43\cdot10^3$	18,14	$2,23\cdot10^5$

где M — математическое ожидание ошибки; D — дисперсия ошибки; min — минимальное значение ошибки; max — максимальное значение ошибки.

Затем экстраполятор был протестирован на независимой выборке с траекториями того же типа и получены следующие результаты (табл. 2):

Таблица 2. Результаты тестирования нейросетевого экстраполятора на независимой выборке

	M	D	min(*м*)	max(*м*)
X	$1,74\cdot10^3$	$9,27\cdot10^3$	0,02	$2,81\cdot10^5$
Y	955,07	$1,33\cdot10^3$	0,01	$3,49\cdot10^4$
H	898,22	$1,18\cdot10^3$	0,05	$2,1\cdot10^4$
По всей отметке	$2,64\cdot10^3$	$9,32\cdot10^3$	43,45	$2,82\cdot10^5$

Для сравнения полученных результатов были разработаны процедуры прогноза с помощью трех методов практикуемых в современных РЛС. Входные данные использовались такие же как и в предыдущих экспериментах. Результаты тестирования приведены в табл. 7.

Таблица 7. Результаты тестирования практикуемых подходов .

Название метода	M	D	min(*м*)	max(*м*)
Линейная экстраполяция	$4,5\cdot10^3$	$4,08\cdot10^3$	52,04	$4,17\cdot10^4$
Квадратичная экстраполяция	$6,5\cdot10^3$	$5,85\cdot10^3$	104,8	$5,39\cdot10^4$
Экстраполяция методом наименьших квадратов	$1,3\cdot10^5$	$3,46\cdot10^5$	6,24	$4,48\cdot10^6$

Отметим, что нейросетевой экстраполятор обеспечивает более качественный прогноз, по сравнению с классическими методами, применяемыми в существующих РЛС.

Заключение. В результате проведенных исследований разработана нейросетевая система экстраполяции траекторного перемещения динамического объекта по небольшому количеству измерений (4-6) РЛС. Система отличается простотой реализации и удовлетворяет всем требованиям для использования в качестве бортовой. Проведен анализ результатов обработки информации разработанной системы и существующих систем. Получены более качественные показатели по сравнению с существующими системами.

Литература

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. И доп. – М.: Радиотехника, 2007. – 376 с.
2. Ежов А.А., Шумский С.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе. Учебное пособие - М.: МИФИ 1998. – 224 с.
3. Жутяева Т.С., Зайцев М.Ф. Проектирование цифровых устройств обработки сигналов в обзорных РЛС. Учебное пособие по курсу «Радиолокационные методы исследования окружающей среды». Ч.1 –М.: Изд-во МЭИ, 1998. – 78 с.
4. Татузов А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. Кн. 28 – М.: Радиотехника, 2009. – 432 с. (Научная серия «Нейрокомпьютеры и их применение»).

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

Карпов А.В., Середа С.Н.
Владимир, Владимирский государственный университет

Рассмотрены вопросы разработки комплекса прикладных программных продуктов, позволяющих инженеру-технологу определять оптимальные по критерию минимума энергозатрат значения геометрических параметров режущего инструмента, элементы режима резания при заданных размерах и свойствах заготовки, методе её обработки и других исходных данных, характеризующих операции точения, фрезерования и разрезания заготовок из углеродистых и легированных сталей.

The information support system of the definition of energetically effective conditions of processing by cutting.Karpov A., Sereda S.

In this article the questions of the development of the information system are considered. This applied software are used in industry for the estimation of the optimal parameters of the technological process according to the new criteria of the minimum power consumption.

Проблема рационального энергопотребления технологических систем характерна для многих предприятий машиностроения, где реализуются технологические процессы резания. В настоящее время общепризнанна перспективность использования энергетических показателей в качестве критериев оптимизации условий обработки резанием, поскольку такие показатели характеризуют физическую природу явлений, происходящих в зоне контактирования

инструментального и обрабатываемого материалов, и при этом имеют устойчивые функциональные связи с управляемыми параметрами системы резания, выбор оптимальных значений которых продолжает оставаться важнейшей задачей технологии машиностроения. В качестве энергетического показателя часто встречается удельная энергоёмкость (удельные энергозатраты, удельная работа) процесса резания, определяемая отношением величины работы, совершаемой режущим инструментом за время рабочего хода, к объёму срезаемого слоя обрабатываемого материала. Влияние параметров системы резания на удельную энергоёмкость исследованы достаточно хорошо [1,2]. На основе соответствующих эмпирических выражений построены алгоритмы оптимизации распространённых методов механической обработки. Удельная энергоёмкость служит, по сути, физическим показателем эффективности процесса резания, если в результате этого процесса стружкообразование осуществляется с приемлемой производительностью при обеспечении заданного периода стойкости инструмента, а обработанные поверхности получаются с требуемой формой, размерами и качеством. Чем меньше величина удельной энергоёмкости при соблюдении требуемых результатов обработки, тем более эффективно протекает обработка, тем более эффективными признаются условия резания. К несомненным достоинствам удельной энергоёмкости следует отнести простоту определения этого показателя как теоретическими, так и экспериментальными методами. Наряду с достоинствами критерия минимальной удельной энергоёмкости процесса резания следует привести ряд недостатков, обнаруженных при применении вышеупомянутых методик оптимизации. Во-первых, удельная энергоёмкость является размерным показателем и не позволяет определить, какая часть энергии расходуется непосредственно на деформацию и (или) разрушение единицы объёма срезаемого слоя, либо образование единицы площади новых поверхностей (полезная составляющая), а какая часть энергии затрачивается на механические и физико-химические явления, неизбежно сопровождающие стружко- и формообразование. Во-вторых, используя показатель удельной энергоёмкости, затруднительно сопоставлять уровень энергии, развиваемой в технологической системе, с предельным энергетическим состоянием обрабатываемого материала, определяемым его физико-механическими и теплофизическими свойствами. В третьих, оперирование удельной энергоёмкостью, выражаемой отношением работы резания к объёму срезаемого слоя, предполагает изотропию материала по сечению срезаемого слоя и стружки (наружный слой стружки «уравнивается» в свойствах с прирезцовым). В-четвёртых, удельная энергоёмкость процесса резания пропорциональна мощности резания, при этом сила и мощность резания полагаются постоянными в течение времени рабочего хода, что справедливо только для стационарного резания и встречается крайне редко.

В работе вводится новый безразмерный критерий энергетической эффективности процесса резания ("энергетический КПД" резания), представляющий отношение величины удельной работы резания к удельной энергоёмкости обрабатываемого материала, который тем самым является безразмерным критерием. Удельная энергоёмкость материала (числитель критерия энергетической эффективности) должна определяться совокупностью его механических и теплофизических свойств с учётом характера деформации и разрушения материала при резании, технологического назначения обработки (предварительная, окончательная) и типа образующейся стружки. Удельная работа резания (знаменатель критерия энергетической эффективности) должна определяться с учётом факторов нестабильности мощности резания в течение времени рабочего хода инструмента. Процесс резания при большинстве видов механической обработки заготовок протекает в нестабильном режиме: значения силы, мощности, а, следовательно, и удельной

работы резания, в течение времени рабочего хода инструмента не остаются постоянными, что ставит под сомнение корректность существующих методик определения энергозатрат и основанных на них алгоритмов оптимизации условий обработки. Причины нестабильности должны быть обоснованы геометрическими и кинематическими закономерностями соответствующих видов обработки. Многообразие закономерных изменений мощности резания в течение времени рабочего хода инструмента при различных методах механической обработки было систематизировано в виде типовых схем, каждую из которых характеризуют коэффициенты аппроксимации, пропорциональные величине энергозатрат. Эти коэффициенты введены в выражения критерия энергетической эффективности процесса резания с целью учёта фактора нестабильности мощности резания при соответствующем виде обработки (в частности - при точении, фрезеровании, разрезании). Показатель энергетической эффективности процесса резания в развёрнутом виде представляет собой математически формализованное выражение, аргументами которого являются определяющие (неуправляемые) и управляемые параметры системы резания, что вызывает необходимость решения задачи оптимизации, учитывающей степень влияния каждого из параметров.

Сложность решения оптимизационных задач в машиностроении заключается в необходимости анализа на соответствие критерию оптимальности большого числа управляемых параметров в различных сочетаниях, что делает практически невозможным принятие оптимальных решений в режиме реального времени. С другой стороны одним из современных направлений автоматизации технологических процессов является использование компьютерных технологий сопровождения и поддержки принятия решений, что требует разработки специализированных информационных систем и прикладных программных комплексов. В качестве примеров автоматизации техпроцессов и решения оптимизационных задач можно привести следующие работы [3-5].

В результате выполнения работы был создан комплекс прикладных программных продуктов, которые в совокупности образуют информационную систему определения энергетически эффективных условий обработки резанием заготовок из конструкционных сталей на основе изложенной выше методики оптимизации. Информационная система на стадии технологической подготовки производства определять оптимальные по критерию наибольшей энергетической эффективности условия обработки: марку инструментального материала, значения геометрических параметров режущей части инструмента, элементов режима резания (глубины резания, скорости подачи, скорости резания), а также значения силы, мощности, удельной работы, показателя энергетической эффективности процесса резания. Исходными данными для работы алгоритмов оптимизации в системе являются значения определяющих (известных из чертежа или операционного эскиза) параметров системы резания: марка и свойства обрабатываемого материала, состояние поверхностного слоя заготовки, требуемые показатели точности и качества обработанных поверхностей детали, требуемая производительность обработки (максимально допустимое время рабочего хода), требуемый (минимально необходимый) период стойкости инструмента, рабочие характеристики оборудования и приспособлений. Программный комплекс может использоваться на производстве при нормировании технологических условий осуществления предварительной и получистовой обработки заготовок деталей машин точением, фрезерованием, разрезанием.

Литература

1. Карпов А.В. Оптимизация процессов обработки резанием на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения материалов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2012, № 1 (11). с.58-64.
2. Карпов А.В., Середа С.Н., Цаплёв С.В. Оптимизация параметров обработки заготовок на металлорежущих станках по критерию минимальной удельной энергоёмкости // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2004. № 9-1. - с.126-139.
3. Пестрецов С.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. - №6. – с.29-34.
4. Аверченков А.В., Терехов М.В., Мартыненко А.А. Математическое обеспечение процедуры выбора оптимального режущего инструмента // Информационные системы и технологии. – 2011. - №5(67). – с.5-10.
5. Волков С.А. Методология автоматизированного оптимизационного проектирования технологических процессов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. - №2. – с.9-12.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ КАМЕР

Карпов А.В.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В данной работе предлагается метод повышения энергетической эффективности беспроводной сенсорной сети камер с автономными источниками питания, заключающийся в осуществлении процесса распознавания объектов на изображениях непосредственно маломощными оконечными узлами системы.

Improving energy efficiency of wireless camera sensor networks with autonomous power sources. Karpov A.V.

In this paper is proposed a method, which helps to increase the energy efficiency of wireless camera sensor networks. The method is based on image recognition on low-power end devices of the system.

ВВЕДЕНИЕ

Сенсорная сеть камер (Camera Sensor Network) – беспроводная сенсорная сеть, где в качестве основного сенсора используется маломощная камера. Для сенсорных сетей характерна низкая скорость передачи данных, большое количество узлов, распределённость сети, маломощность устройств, входящих в систему, а также возможность их автономной работы.

Главной задачей сетей камер является распределенный удаленный мониторинг объектов, с помощью получения камерами изображений в разных точках пространства. Поэтому областями применения являются экомониторинг, использование при стихийных бедствиях, таких как пожары, наводнения, когда существующая инфраструктура может быть недоступна или уничтожена. Кроме того, сенсорные сети камер могут использоваться в качестве универсальных оптических сенсоров, способных обнаруживать некоторые изменения состояний объектов, наступление определенных событий, проводить измерения характеристик объектов, например,

считывать показания с различных приборов учета, которые не имеют внешних цифровых интерфейсов, отслеживать положение вентилей, детектировать незаконные вторжения на территорию и т.д.

Основным требованием при построении сенсорных сетей является длительное время автономной работы устройств, входящих в систему, и сети в целом. Поскольку в качестве датчиков используются камеры и объемы данных значительно увеличиваются, а возможности устройств ограничены (небольшие вычислительные ресурсы, полоса пропускания, запасы энергии, малый объем памяти), то для увеличения времени автономной работы всей сети необходимо учитывать энергетическую эффективность её функционирования.

Основной целью работы является повышение энергетической эффективности функционирования беспроводной сенсорной сети камер с автономными источниками питания.

В статье определяется понятие энергетической эффективности, проводится анализ методов повышения энергоэффективности работы сенсорной сети камер, предлагается свой метод, описываются результаты работы, делаются выводы.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Эффективность работы любой системы можно определить как отношение полезной работы (выполняемых функций) к затрачиваемым ресурсам. В случае использования в качестве критерия эффективности затрат энергетических ресурсов системы, мы получим отношение полезной работы к количеству энергии, затраченной при совершении полезной работы.

Основная цель развертывания сети камер состоит в удаленном получении информации об объектах мониторинга и её передача на центральный узел системы в течение длительного промежутка времени. Получение и передача информации требуют затрат энергетических ресурсов. Поскольку устройства в системе являются автономными, то запасы энергетических ресурсов сильно ограничены, и эффективность функционирования сети, главным образом, определяется количеством переданной информации по отношению к затратам энергетических ресурсов. Для повышения эффективности использования энергетических ресурсов сети необходимо максимизировать количество передаваемой полезной информации по сети и минимизировать суммарные затраты энергии узлами сети.

Расчет энергоэффективности проводится по формуле (1):

$$C = \sum_{N} \frac{L_{init}}{E_{total}} \tag{1}$$

$E_{total} > 0$,

где L_{init} – первоначальный размер изображения (байт),

E_{total} – энергия, затрачиваемая всей сетью на осуществление процесса получения, обработки и передачи информации с оконечного устройства центральному узлу,

N – количество изображений, требующих передачи.

На энергопотребление сети влияет:

Характеристика аппаратных средств элементов сети, возможность перехода устройств в режим пониженного энергопотребления;

Частота сбора и передачи данных, зависящая от приложения;

Общий объем передаваемых данных;

Протоколы физического (формат кадров) и канального (механизмы контроля доступа к среде) уровней;

Архитектура сети, определяющая количество уровней устройств;

Топология сети;

Используемый протокол маршрутизации, добавляющий в сеть дополнительный служебный трафик.

Энергоэффективность работы сети можно изменить с помощью использования различных методов, влияющих на перечисленные факторы.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ КАМЕР

Синхронизация работы устройств в сети для увеличения времени нахождения узлов в режиме пониженного энергопотребления, например, работа по расписанию.

Метод построения гетерогенной сети основан на применении камер различного разрешения, потребляемой мощности, вычислительных возможностей, использовании датчиков-актуаторов. В статье [1] рассматриваются проблемы визуальных сенсорных сетей. Авторы выделяют несколько типов архитектур сетей: гомогенная (сеть состоит из узлов с одинаковыми вычислительными возможностями) и гетерогенная сеть (сеть состоит из устройств с разными характеристиками и возможностями, которые выделяются в уровни). Количество устройств при переходе от нижнего уровня к более высокому уровню уменьшается, а их энергопотребление увеличивается. Примером многоуровневой гетерогенной архитектуры является система SensEye, разработанная для приложений наблюдения [2, 3].

Метод агрегирования данных и энергоэффективной передачи изображений.

Затраты энергии всей сети можно сократить, снизив затраты на передачу. Одним из способов уменьшения затрат энергии на передачу является объединение сенсорным узлом данных, полученных от нескольких соседних узлов, в случае разных точек обзора камер и наличия одинаковых областей, так называемых перекрытий, на изображениях (агрегирование данных). Авторы [4] предлагают несколько методов передачи изображений между оконечными узлами и их соседями при агрегировании данных.

Методы, связанные с обработкой изображений на оконечном узле:

а) использование алгоритмов внутрикадрового сжатия изображений.

Все алгоритмы сжатия можно разделить на две категории: с потерями и без потерь. Алгоритмы сжатия с потерями широко распространены, поскольку они дают большую степень сжатия по сравнению с алгоритмами без потерь, несмотря на то, что качество изображения снижается.

В работе [5] исследуется вопрос баланса между вычислительными затратами на стороне маломощной камеры и затратами на передачу изображения по сети. Рассматривается применение камеры для получения показаний со счетчика. Перед передачей изображения, авторы проводят его предобработку, осуществляя субдискретизацию, которая заключается в снижении разрешения изображения.

б) предобработка изображений на узле (вычитание фона [6], детектирование движения [7], например, на основе разности пикселей нескольких кадров, бинаризация изображения, детектирование краев, и т.д.). Таким образом, сокращается количество передаваемой информации между устройствами.

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА СТОРОНЕ ОКОНЕЧНЫХ УЗЛОВ

Предлагаемый метод можно отнести к распределённому принципу анализа информации. Он предполагает осуществление всего процесса распознавания объектов на стороне оконечных узлов. Результаты анализа передаются другим устройствам системы. Это позволяет значительно снизить количество передаваемых по сети данных, их объем становится сравнимым с объемом данных при использовании датчиков температуры, давления, освещенности.

Важной задачей является поиск алгоритмов обработки и распознавания простых объектов на изображениях, работающих в условиях ограниченности ресурсов. Дальнейшее исследование энергетической эффективности работы сенсорной сети проводилось на примере распознавания цифр.

В состав сети входят оконечное устройство, маршрутизатор и координатор. Общая энергия, затрачиваемая при передаче, обработке данных от оконечного узла координатору высчитывается по формуле (2):

$$E_{total} = E_{ED} + E_{ROUTER} + E_{COORD} \quad (2)$$

Формула мощности, затрачиваемой на процедуру передачи кадра выглядит следующим образом (3):

$$P_{TXframe} = \frac{P_{active} * t_{WAIT} + P_{rx} * t_{CCA} + P_{tx} * t_{DATA} + P_{rx} * t_{ACK}}{t_{frame}} \quad (3)$$

Выведена формула мощности, затрачиваемой на получение изображения (4):

$$P_{GetImage} = \frac{P_{CamGet} * t_{GET} + (P_{CamTx} + P_{active}) * \frac{N_{px} * bpp}{V_{tx}}}{t_{GET} + \frac{N_{px} * bpp}{V_{tx}}} \quad (4)$$

, где P_{CamGet} – мощность, затрачиваемая на получение изображения камерой,

P_{CamTx} – мощность, затрачиваемая камерой на передачу изображения микроконтроллеру,

P_{active} – мощность, затрачиваемая на прием микроконтроллером изображения от камеры.

Была выведена формула общей энергии, затрачиваемой оконечным устройством с камерой на получение, обработку и передачу данных координатору, она составляет (5):

$$E_{ED} = P_{Get\,Image} * t_{Get\,Image} + P_{active} * t_{proc} + P_{TXframe} * t_{frame} * N_{frame} \quad (5)$$

, где P_{active} – мощность, затрачиваемая микроконтроллером при нахождении в активном режиме,

t_{proc} – время, требующееся на обработку изображения (сжатие, извлечение части изображения, распознавание объектов и т.д.).

Определение энергии и мощности узлов сети:

маршрутизатор, ретранслятор

По алгоритму асинхронного доступа – CSMA-CA без слотов, маршрутизатор всегда должен прослушивать эфир для обнаружения новых устройств и запросов на передачу данных, поэтому он не может переходить в режим пониженного энергопотребления.

Для упрощения расчетов не учитывались служебные кадры, генерируемые маршрутизатором для создания и поддержания таблиц маршрутизации, а кадры, передаваемые от оконечных устройств, передавались только по одному адресу.

В этой ситуации маршрутизатор должен периодически прослушивать сеть, принимать данные предназначенные ему для передачи другому устройству сети, отправлять кадр подтверждения о получении данных, передавать данные другому устройству, принимать кадр подтверждения о получении данных другим устройством. Таким образом, формула для расчета потребляемой энергии маршрутизаторами при передаче данных имеет вид (6):

$$E_{ROUTER} = (P_{RXframe} * t_{RXframe} + P_{TXframe} * t_{frame}) * N_{frame} * N_{ROUTER} \quad (6)$$

координатор

В функции координатора входит управление сетью, подключение новых устройств к сети, соответственно координатор должен периодически прослушивать эфир с целью трансляции информации о сети другим устройствам, обнаружения запросов на подключение от новых устройств.

Как правило, если сеть является небольшой, то координатор напрямую подключается к более мощному вычислительному устройству (компьютеру) по проводному каналу связи, на котором происходит дальнейшая обработка принятой информации и питается от стационарной электросети. Таким образом, запасы энергии координатора или остаются постоянными, или зависят от запасов энергии более мощного устройства, и вопрос энергоэффективной работы координатора не стоит так остро, как с вариантом автономного устройства.

Для упрощения расчетов не учитывались служебные кадры, генерируемые координатором для создания сети и её управления. Тогда общая энергия, затрачиваемая координатором при получении данных от оконечного устройства или маршрутизатора, составляет (7):

$$E_{COORD} = (P_{RXframe} * t_{RXframe} + P_{active} * t_{TX}) * N_{frame} \quad (7)$$

, где P_{active} – мощность координатора, затрачиваемая на передачу данных компьютеру для последующей обработки,

t_{TX} – время, затраченное координатором на передачу данных компьютеру, зависящее от пропускной способности проводного канала и объема передаваемых данных.

Была рассчитана энергия, затрачиваемая всей сетью для случаев:

1) получение и передача необработанного изображения;

2) получение и передача сжатого изображения;

3) получение и передача части изображения (предобработка на узле);

4) получение изображения, распознавание объекта на изображении и передача полученных данных.

В Табл. 1 приводятся рассчитанные показатели энергетической эффективности для описанных случаев.

Таблица 1. Показатель энергоэффективности для разных методов передачи информации

	Показатель энергоэффективности (байт/мДж)
Необработанное изображение	18,60
Сжатие	23,64
Предобработка	23,80
Распознавание	45,90

Как видно из таблицы, распознавание объектов на изображении в несколько раз повышает энергоэффективность работы системы по сравнению с другими методами.

Данный метод может использоваться в системах мониторинга объектов с низкой детализацией, состоящих из простых геометрических фигур, когда системе не требуется передавать изображения, а необходимо получение информации об изменении состояний объекта. Кроме того, энергия, затрачиваемая на процесс распознавания и передачи, должна быть меньше общей энергии, затрачиваемой на передачу исходного изображения координатору.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распознавание объектов на стороне маломощных оконечных устройств может использоваться как метод повышения энергетической эффективности работы сенсорной сети камер с автономными источниками питания.

Предложенный метод может быть реализован в приложениях, не требующих обязательной передачи изображений от оконечных узлов центральному узлу, а энергия, потребляемая при распознавании объекта на изображении и последующей его передачи, должна быть меньше энергии, затрачиваемой на передачу исходного изображения.

Расчетная оценка показывает, что при использовании метода распознавания образов на оконечных маломощных узлах системы повышает энергоэффективность её работы в несколько раз.

Литература

1. Youssef Charfi, Bell Canada, Naoik Wakamiya and Masayuki Murata, «Challenging Issues in Visual Sensor Networks», IEEE Wireless Communications, 2009

2. Purushottam Kulkarni, Deepak Ganesan, Prashant Shenoy «The case for multi-tier camera sensor networks», ACM 2005

3. P. Kulkarni et al., “Senseye: A Multi-Tier Camera Sensor Network,” Proc. 13th Annual ACM Int’l. Conf. Multimedia, 2005

4. King-Shan Lui and Edmund Y. Lam, «Image Transmission in Sensor Networks», IEEE, 2005

5. L. Ferrigno, S. Marano, V. Pacielo, A. Pietrosanto, «Balancing computational and transmission power consumption in wireless image sensor networks», IEEE International Conference on VECIMS, 2005

6. H.H.Kenchannavar, S.S.Kudtarkar,U.P.Kulkarni, «Energy Efficient Data Processing In Visual Sensor Network», International Journal of CS & IT, 2010

7. R.Zilan, J.M.Barcelo-Ordinas, B.Tavli, «Image Recognition Traffic Patterns for Wireless Multimedia Sensor Networks», Wireless Systems and Mobility in Next Generation Internet, 2008

8. Zhiwei He, Jilin Liu, Hongqing Ma, and Peihong Li, «A New Automatic Extraction Method of Container Identity Codes», IEEE, 2005

ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОТ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Акбашев Б.Б., Балюк Н.В., Кечиев Л.Н.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассматриваются основные вопросы защиты объектов телекоммуникаций от мощных электромагнитных воздействий. Описывается их взаимосвязь с проблемами электромагнитной совместимости и функциональной безопасности. Даются направления совершенствования задач защиты объектов.

Protection of objects of information against powerful electromagnetic influences: problems and decisions. Akbashev B.B., Baljuk N.V., Kechiev L.N.

The basic questions of protection of objects of telecommunications from powerful electromagnetic influences are considered. Their interrelation with problems of

electromagnetic compatibility and functional safety is described. Directions of perfection of protection problems of objects are given.

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.

В последнее десятилетие требования по обеспечению электромагнитной защиты объектов информатизации с целью обеспечения информационной и функциональной безопасности стало неотъемлемой частью проектов и конструкций специальных технических зданий (СТЗ) [1−6]. Это объясняется появлением новых угроз электромагнитного терроризма, повышением требований к защищенности ответственной информации, расширением перечня опасностей при нарушении функциональной безопасности, снижением чувствительности быстродействующих систем, наличием значительных по протяженности распределенных локальных сетей. Потребности в интегрированных экранирующих средствах и необходимость комплексного решения означает, что не только специалисты в области электроники, но и архитекторы и строители должны быть знакомы с проектом, спецификацией, конструкцией и методами тестирования экранирующих строительных конструкций.

Участие различных специалистов в создании СТЗ требует их четкой координации, расширения области знаний и системного подхода к решению поставленных задач. Уместно разработку проекта, конструкций экранов и процедур тестирования экранированных участков помещений традиционно оставлять специалистам по электромагнитной совместимости (ЭМС). Специфические задачи архитектурного проектирования и строительства должны оставаться за соответствующими специалистами, которые должны достаточно глубоко разбираться в смежных вопросах.

Необходимость в электромагнитной защите расширилась как в части широты охвата электромагнитных проблем, так и в части защиты технических средств, которые стали намного более разнообразны. Из-за отсутствия развитой теории электромагнитного экранирования применительно к строительным конструкциям технические решения зачастую либо излишне дорогие из-за избыточности конструкции, либо имеют существенные изъяны, которые нарушают фундаментальные принципы экранирования. Кроме них к специфическим вопросам создания экранированных строений и помещений СТЗ можно отнести [6]:

- выбор материалов, которые одновременно отвечают требованиям эффективного экранирования для электрических, магнитных или электромагнитных полей и строительства в зависимости от поставленной задачи;
- выбор методов и способов соединений элементов конструкций экранов, обеспечивающих минимальные неоднородности в экране;
- проектирование электромагнитной защиты вводов питания, связи, вентиляции, кондиционирования, отопления (HVAC);
- разработка защищенных систем доступа персонала и перемещения оборудования;
- выбор и реализация процедур тестирования, гарантирующих получение необходимых данных для проверки выполнения требований технического задания,
- разработка процедуры мониторинга эффективности защиты в течение жизненного цикла объекта.

Теория и практика создания экранированных помещений и СТЗ рассматривается как новое направление – архитектурное экранирование [7]. Систематизацию основных задач архитектурного экранирования дает топологическое представление, которое помогает комплексно и наглядного представить перечисленные выше компоненты системы экранирования и найти наиболее рациональные пути контроля над электромагнитными помехами.

Факторами, которые нужно рассмотреть при выборе концепции экранирования СТЗ, являются: сложность требуемых взаимодействий с техническими средствами, затраты на проектирование и создание, технологичность, затраты на обслуживание, требования надежности, гибкость для модернизации системы, поддержка в процессе эксплуатации.

Весьма важной и ответственной стадией создания СТЗ является разработка и реализация системы заземления оборудования, которая отличается от требований СНиП.

Практическая реализация системы экранирования зависит от сложности и назначения системы, которая должна быть защищена. Если определено, что для наиболее чувствительных компонентов требуется эффективность экранирования 100 дБ, а для остальных компонентов требуется эффективность только 50 дБ, тогда могут быть установлены зоны с различным эффективностями экранирования. На сегодня актуальной остается задача оптимального распределения общей эффективности экранирования на значения эффективности для каждого уровня экранирования по критерию минимизации стоимости проекта на всем жизненном цикле СТЗ. Ее решение требует знания комплекса как технических, так и экономических аспектов создания СТЗ.

Особое внимание должно быть уделено тестированию готового объекта на соответствие требованиям эффективности экранирования.

Создание экранированных помещений требует развитой спецификации (паспорта) объекта, в которой будут детально отражены не только их архитектурные, строительные и инженерные особенности, но и требования к свойствам экранов, технологии их монтажа, выбору материалов и т.п. В ней должна быть отражена природа строительного объекта, специфика защищаемого оборудования, возможные условия электромагнитного воздействия. Широкое применение САПР при проектировании СТЗ требует развития электронного документооборота, в проектной документации которого должны быть учтены мероприятия по электромагнитной защите объекта с целью обеспечения ФИБ.

Функциональная безопасность при учете электромагнитных факторов охватывает опасности и риски, связанные с ошибками или сбоями при функционировании систем, устройств или аппаратов. При разработке СТЗ необходимо для критических электронных систем обеспечить достижение приемлемого риска сбоев систем в пределах ограничений функциональной эффективности и пригодности, времени и стоимости по всем фазам жизненного цикла. Это отлично от безопасности, которая определяет потенциал устройства противостоять таким опасностям как, например, возгорание, удар током и образование ядовитых паров. Базовыми документами в области функциональной безопасности следует считать стандарты, которые гармонизированы с международным стандартом МЭК 61508. Он соотносится с гражданскими системами и, к сожалению, в явном виде не затрагивает взаимоувязанные вопросы ЭМС и функциональной безопасности.

Ошибки в работе и сбои электронного оборудования в результате нарушений требований ЭМС могут вести к опасным ситуациям и риску нанесения вреда здоровью

людей, оборудованию и окружающей среде. Для гражданских приложений, которые опираются, например, на Директиву ЕС по ЭМС, требования по функциональной безопасности не определены. Соответствие требованиям Директивы ЭМС (или ее гармонизированным стандартам), не может гарантировать, что вопросы функциональной безопасности правильно идентифицированы и законодательно решены.

При решении вопросов функциональной безопасности следует принимать во внимание следующее:

- электромагнитные возмущения (ЭМВ), которыми могут быть подвергнуты системы СТЗ,
- разумно обозримые результаты воздействия таких возмущений,
- результаты воздействия ЭМВ от одного аппарата на другой,
- параметры безопасности (серьезность, масштаб риска, уровень целостности безопасности), которые могут быть нарушены ЭМВ,
- уровень требований, которые необходимо выполнить, чтобы обеспечить желаемый уровень функциональной безопасности.

Опасности и оценки рисков вместе с законченными решениями, техническими требованиями, проектными решениями и тестами должны формировать часть из требований обеспечения функциональной безопасности и должны быть документированы. Под опасностью понимают любое реальное или потенциальное условие, которое может вызвать ранение, болезнь или смерть персонала; повреждение оборудования или нанесение ущерба окружающей среде. Например, электромагнитное воздействие на автоматизированную систему пожаротушения может привести к распылению воды и пены в помещениях, что может вызвать нанесение вреда здоровью человека, и выведет находящееся в них оборудование из строя.

При проектировании СТЗ необходимо включать анализ опасностей и исследование рисков в следующих направлениях:

- ошибки применения – или случайные (такие, как ошибки при монтаже оборудования) или преднамеренные (токовые перегрузки или использование для непредусмотренных целей),
- ошибки проекта в части обеспечения электромагнитной защиты здания и помещений,
- размещение СТЗ в экстремальной среде, включая, среди других, электромагнитные эффекты, высокие температуры, сейсмическую активность и т.п.,
- последствия (опасности) с их вероятностями (рисками), вызванные отмеченными выше факторами.

Технические требования для целостности безопасности могут быть получены, анализируя опасности и риски и определяя степень снижения риска, которую вызывает специфическая функция безопасности. Общий принцип, – чем выше уровень требуемой целостности безопасности, тем более жесткие требования предъявляются к разработке СТЗ, чтобы достичь более низких интенсивностей сбоев и отказов установленного в нем оборудования, которые требуются для достижения допустимого риска.

Требования безопасности для электрического или электронного оборудования, используемого в безопасных системах, должны быть специфицированы и определены в контексте опасности системы и оценки риска на возможно более ранней стадии ее жизненного цикла. Аспект безопасности должен быть учтен на стадии обслуживания и эксплуатационных процедур, поэтому и на этих этапах следует рассматривать доминирующие электромагнитные эффекты. Программные изменения и обновления

электронных систем могут также негативно затрагивать ЭМС систем и оборудования и, следовательно, функциональную безопасность.

Когда планируется применить в СТЗ новое оборудование, должны быть предприняты шаги, гарантирующие одновременную совместную работу этого оборудования и ранее установленного таким образом, чтобы имеющие место электромагнитные возмущения не вызывали уход функциональных параметров оборудования за пределы установленных границ.

Стандартные испытания на соответствие требованиям ЭМС не всегда дают полное представление о функциональной безопасности оборудования, работающего в реальной электромагнитной обстановке. Поэтому обеспечение ЭМС в контексте функциональной безопасности требует специальных программ испытаний. Особенно важно, чтобы вопросы обеспечения ЭМС рассматривались на возможно ранних стадиях проектирования оборудования и его инсталляции в СТЗ, поскольку именно тогда могут быть приняты наиболее эффективные меры (это вероятно будут и наиболее рентабельные способы гарантировать ЭМС).

Когда система спроектирована с некоторой избыточностью для обеспечения резервирования и повышения надежности работы, меры, принятые для повышения надежности системы, могут оказаться бесполезными в условиях ЭМВ.

Там, где используются защитные устройства (например, устройства амплитудного ограничения) для достижения требуемого уровня помехоустойчивости, отказ такого устройства может вызвать снижение этого уровня и привести к нарушению функциональной безопасности. В этом случае отказ защитного устройства должен обнаруживаться автоматически (например, действием диагностических подсистем) или путем регулярных проверок с целью выявления любых отказов. Периодичность таких испытаний должна быть определена на основе приемлемой вероятности отказа защитного элемента в конкретном специфическом приложении.

Необходимо, чтобы информация о методах и способах обеспечения ЭМС была доступной для проектировщиков СТЗ и применяемого оборудования, операторов и инсталляторов, чтобы гарантировать осуществление и поддержку предпринятых в проекте мер. Это необходимо для сохранения уровней эмиссии и восприимчивости оборудования в предусмотренных проектом пределах.

Важно отметить следующие особенности построения безопасных систем, инсталлированных в СТЗ:

- не всегда признается, что система управления связана с безопасностью,
- блокирующая функция для обеспечения безопасности должна быть выполнена схемами гарантированной работоспособности;
- устойчивость электронных систем СТЗ к электромагнитным воздействиям (ЭМВ) может быть достигнута и аппаратными и программными средствами.

При модернизации оборудования необходимо провести анализ рисков и опасностей, и разработать технические задания по обеспечению целостности безопасности после внесенных изменений.

В задачах физической защиты информации в электронных системах СТЗ при электромагнитных воздействиях можно выделить следующие направления, связанные с возможным искажением, уничтожением или блокированием информации при обработке, хранении или ее передаче при непреднамеренных и преднамеренных ЭМВ:

- по полю от мощных источников излучения природного (молнии) и техногенного происхождения, в том числе от высотного ядерного взрыва,

электромагнитного оружия, средств радиоэлектронной борьбы и электромагнитного терроризма,

- по сети питания,
- по металлоконструкциям,
- по проводным линиям связи,
- по системе заземления.

Кроме этого при инсталляции оборудования и его эксплуатации следует учитывать факторы защиты информации, связанные с побочным электромагнитным излучением (ПЭМИ) при обработке, хранении или передаче информации, с побочной кондуктивной передачей информации через проводные линии связи, а также возможность нарушения целостности информации электростатическими разрядами (ЭСР). Эти вопросы, скорее, в компетенции поставщиков оборудования, но проект СТЗ должен предусматривать условия для такой инсталляции оборудования, при которой не будут нарушены условия обеспечения ЭМС и технических условий.

Важнейшим этапом создания «безопасного» СТЗ является идентификация электромагнитной обстановки, в которой находится объект во время всех фаз жизненного цикла. Воздействие на аппаратуру в определенной электромагнитной среде зависит от особенностей ее восприимчивости, амплитуды и частоты ЭМВ, особенностей строения и окружающей среды и т.д. Чтобы предотвратить проблемы нарушения информационной и функциональной безопасности, при разработке СТЗ должны быть учтены возможные электромагнитные эффекты среды. Требования к среде должны быть включено в спецификацию строения или помещения, чтобы гарантировать удовлетворительную работу электронных систем в определенной ЭМО.

В разработке требований работоспособности и безопасности технических средств, которые предъявляются к электромагнитной среде, рассматриваются следующие основные аспекты:

- конфигурация среды, в которой расположено СТЗ,
- конфигурация систем СТЗ и особенности строения,
- требования к информационной и функциональной безопасности,
- восприимчивость систем и оборудования СТЗ,
- перспективы модернизации, развития и обновления систем в СТЗ на протяжении жизненного цикла.

Электромагнитная обстановка соответствует специфическому времени и местоположению СТЗ, которое не будет изменяться, но среда может претерпевать изменения за время эксплуатации СТЗ.

Основные проблемы адекватной защиты СТЗ от электромагнитных воздействий включают:

- разработку математической модели внешней электромагнитной обстановки, в которой сооружение обеспечивает выполнение своих функций,
- разработку моделей, обеспечивающих определение возможных путей распространения (проникновение) электромагнитных помех во внутренние объемы сооружения,
- разработку конструкционных мер защиты от электромагнитных воздействий для сооружения в целом и системных мер защиты на уровне отдельно взятой системы или устройства (например, электромагнитное экранирование, создание отдельных экранированных помещений, раздельная прокладка и ввод в сооружение информационных и силовых кабелей, защита входов, вводов коммуникаций, вентиляционных и газовоздушных трактов, устройство системы заземления,

использование сетевых фильтров и оптоэлектронных пар, оптимизация геометрии тоководов и т.п.),

- оценку уровней стойкости и помехоустойчивости всех технических средств инфраструктуры и локальных сетей здания.

Собственно процесс проектирования электромагнитной защиты сооружения производится с помощью математических и физических моделей для численного решения задачи, и лабораторных испытаний отдельных систем.

При разработке проекта электромагнитной защиты в качестве базового критерия должна быть положена концепция «разумной достаточности», смысл которой заключается в том, чтобы при минимальном использовании дополнительных (специальных) средств и мер защиты обеспечить функциональную и информационную безопасность сооружения в условиях предполагаемого электромагнитного воздействия.

На этапе проектирования допускается использование моделей, разработанных применительно к упрощенным идеализированным (т.е. «каноническим») геометрическим формам объектов (сооружений). Такие модели дают возможность качественно оценить влияние системы на электромагнитную обстановку во внутренних объемах сооружений, но не позволяют дать точные количественные оценки. Правильность предварительной оценки результатов проектирования может быть проверена экспериментально, путем лабораторных (стендовых) испытаний. Сопоставление результатов, полученных с помощью аналитических методов с результатами экспериментальных исследований (тестов) позволяет уточнить параметры моделей, используемых при проектировании защиты объектов от электромагнитных излучений.

Литература

1. Акбашев Б.Б., Балюк Н.В., Кечиев Л.Н. Обеспечение информационной и функциональной безопасности в специальных технических зданиях при электромагнитных воздействиях. − Технологии ЭМС. − 2011. − № 2. − С. 3−12.

2. Акбашев Б.Б., Корнев А.Н., Лафишев М.А., Еряшев Д.И. Развитие техники создания мощных ЭМИ и формирование угрозы их деструктивного воздействия на радиоэлектронные системы общего и специального назначения. − Технологии ЭМС. − 2011. − № 2. − С. 13−18.

3. Акбашев Б.Б. , Еряшев Д.И. , Корнев А.Н. Механизм деструктивного воздействия мощных сверхширокополосных импульсов на радиоэлектронные системы. − Технологии ЭМС. − 2011. − № 2. − С. 19−23.

4. Акбашев Б.Б., Батонов Н.М., Сахаров К.Ю., Туркин В.А., Михеев О.В., Еряшев Д.И., Лафишев М.А., Сухов А.В. Устойчивость систем видеонаблюдения к воздействию мощных сверхкоротких электромагнитных импульсов. − Технологии ЭМС. − 2011. − № 2. − С. 24−30.

5. Акбашев Б.Б. , Воскобович В.В. , Корнев А.Н. , Лафишев М.А. Пути решения проблемы обеспечения качества функционирования технических систем физической защиты объектов в условиях деструктивных электромагнитных воздействий естественного и техногенного происхождения. − Технологии ЭМС. − 2011. − № 2. − С. 37−44.

6. Акбашев Б.Б. Архитектурное экранирование: состояние проблемы и перспективы. – Технологии ЭМС. – 2009. – № 1(28). – С. 3–14.

7. Hemming L.H. Architectural Electromagnetic Shielding Handbook. A Design and Specification Guide. – IEEE Press, 1992. – 222 p.

8. Агапов С.В., Гизатуллин З.М., Чермошенцев С.Ф. Защита информации в цифровых электронных средствах интеллектуальных зданий при электромагнитных воздействиях. – Технологии ЭМС. – 2010. № 3. – С. 3–21.

9. Кечиев Л.Н., Степанов П.В. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. – 320 с.

УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК СДВИГА ФАЗ ДИСБАЛАНСОВ

Ильиных В.В., Ключников А.В., Чертков М.С., Шалашов С.В.
Снежинск, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»

Обсуждён вопрос определения и устранения ошибок фазовых сдвигов дисбалансов в процессе балансировки роторов на динамическом ненастроенном вертикальном балансировочном стенде с коническими газостатическими подшипниками.

Method of disbalance phase angle errors elimination. Ilyinykh V., Klyuchnikov A., Chertkov M., Shalashov S.

The question of disbalance signals phase angle errors measurement for their elimination during a rotor's balancing experiment is discussed. The experiment is performing on a dynamic untuned vertical balancing stand with conical gas bearings.

При проведении балансировочного эксперимента на динамическом балнсировочном станке (стенде) определение векторных параметров – значений и углов – дисбалансов ротора в плоскостях коррекции выполняют расчётным путём с использованием результатов измерения векторных параметров – значений и углов – вибраций опор, в которых вокруг неподвижной оси вращается контролируемое тело [1, 2].

Для уравновешивания на низких частотах вращения (1–3 Гц) длинномерных деталей («длинных» роторов [1]) конической формы разработан низкочастотный вертикальный динамический балансировочный стенд с пневматическим приводом и с двумя жёсткими опорами, идентичными по конструкции и выполненными в виде соосных конических газостатических подшипников. Каждый из газостатических подшипников удерживается с помощью колебательной подвески, представляющей собой пару плоскопараллельных упругих пластин, выполненных заодно с собственным массивным основанием и консольно закреплённых на вертикальной стойке стенда [3]. Контролируемая деталь загружается на стенд вертикально и устанавливается носком вниз либо непосредственно своими наружными поверхностями на соответствующие им рабочие поверхности газостатических подшипников, либо на внутренние опоры так называемого технологического переходника, образуя с ним сборный ротор, при этом угловое положение детали относительно переходника известно [3, 4]. В случае применения переходника исключается возможность механического контакта контролируемой детали с газостатическими подшипниками в процессе выполнения измерений. Также технологический переходник, выполненный в виде жёсткого полого ротора, наружные поверхности которого соответствуют рабочим поверхностям газостатических подшипников, материализует вторую (нижнюю) плоскость коррекции, тогда как в качестве первой (верхней) плоскости коррекции используется штатная плоскость коррекции, располагаемая вблизи торца контролируемой детали [4].

Применение газовой смазки, в качестве которой используется сжатый воздух, поступающий из заводской пневмосети низкого давления (до 0,6 МПа) и после очистки и осушки подаваемый в зазоры между боковыми поверхностями вращающегося ротора и рабочими поверхностями газостатических подшипников, исключает сухое трение сопрягаемых поверхностей, тем самым обеспечивая на выбеге низкую скорость затухания частоты вращения ротора. Вертикальное расположение оси вращения позволяет практически полностью исключить погрешности, связанные с прогибом контролируемой детали под действием сил тяжести.

Измерения выполняют на постоянной частоте вращения выбеге ротора на постоянной рабочей частоте вращения (изменение частоты вращения ротора за время выполнения измерений фактически не превышает 0,6%–0,7% от номинала). Система измерения дисбалансов включает в свой состав два пьезоэлектрических датчика силы генераторного типа (по одному датчику для каждой из опор) и фотоэлектрический датчик-отметчик фазы дисбалансов (далее – фотодатчик), также используемый для измерения частоты вращения контролируемого объекта. На рис. 1 приведён вид балансировочного стенда сверху, также рис. 1 иллюстрирует конструкцию верхней опоры и схему размещения датчиков.

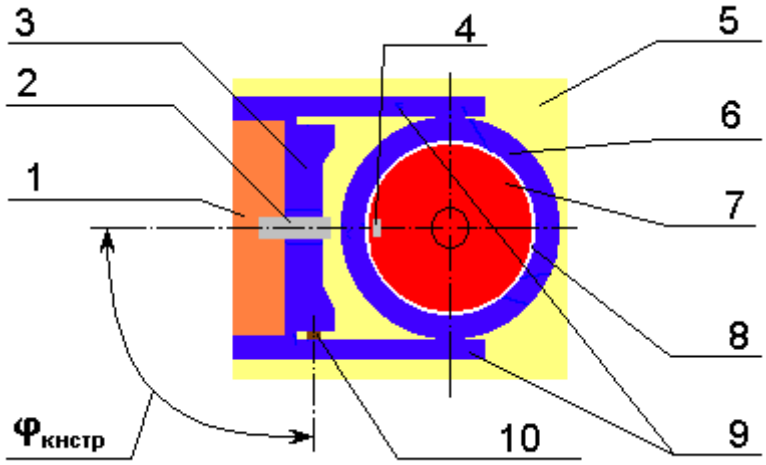


Рис. 1. Балансировочный стенд. Вид сверху:
1 – вертикальная стойка; 2 – фотодатчик; 3 – основание; 4 – светоотражающее зеркало; 5 – фундамент стенда; 6 – газостатический подшипник; 7 – объект контроля (балансируемая деталь или сборный ротор); 8 – воздушный зазор между сопрягаемыми поверхностями; 9 – упругие пластины; 10 – силоизмерительный датчик

Силоизмерительные датчики, обеспечивающие регистрацию вибраций опор, вызванных дисбалансом вращающегося в опорах роторного объекта, установлены в упругих элементах соответственно верхней (в дальнейшем обозначенной индексом «в») и нижней (в дальнейшем обозначенной индексом «н») опор. При этом измерительная ось каждого датчика, расположена в горизонтальной плоскости, проходящей через середину газостатического подшипника, и параллельна направлению вибрации опоры, обусловленной действием дисбаланса ротора, т.е. совпадает с направлением силы, воздействующей на датчик в результате малых перемещений упругих пластин.

Фотодатчик (ФД) закреплён на вертикальной стойке стенда, при этом прямой и отраженный лучи света распространяются вдоль прямой, направленной к оси вращения ротора и перпендикулярной этой оси. Светоотражающее зеркало, совмещенное с началом угловой разметки вращающегося в опорах ротора (контролируемой детали или

технологического переходника), закрепляется на цилиндрической части боковой поверхности ротора в плоскости распространения излучения ФД.

Конструкция газостатических подшипников стенда не позволяет выполнить его предварительную настройку и требует проведения настройки в ходе балансировочного эксперимента с определением комплекса балансировочных коэффициентов [3]. При этом выполняется серия измерений вибраций опор – для случая, когда контролируемая деталь находится в исходном состоянии и для случаев, когда в плоскостях коррекции установлены пробные грузы [3, 5]. В каждом измерительном цикле выполняется параллельная регистрация вибросигналов, поступающих одновременно от обоих датчиков силы, затем временные реализации вибросигналов подвергаются обработке с целью выделения дискретных составляющих с частотой, равной рабочей частоте вращения и несущих в себе информацию о дисбалансах объекта контроля. Регистрация вибросигналов выполняется в течение 2 секунд, начало регистрации инициируется сигналом от ФД при достижении рабочей частоты вращения. Амплитуды и фазы выделенных дискретных составляющих вибросигналов – так называемых сигналов дисбалансов – пропорциональны значениям и углам соответствующих дисбалансов. Следовательно, точность измерения указанных параметров вибраций опор, а также измерение и последующее исключение (в ходе балансировочного расчёта) ошибок, вызванных, в частности, фазовыми сдвигами сигналов дисбалансов (точность измерений амплитуд сигналов дисбалансов, как правило, обеспечивается точностью применяемой измерительной аппаратуры, обычно характеризуемой также отсутствием фазовых сдвигов), определяет точность косвенного измерения искомых параметров дисбалансов контролируемой детали. Величина фазовых сдвигов сигналов дисбалансов определяется наличием некоторых конструктивных особенностей балансировочного стенда, а также использованием пьезоэлектрических датчиков в системе измерений дисбалансов.

Применение силоизмерительных датчиков, выполненных на основе кварцевых пьезоэлементов, обусловлено их малыми габаритами, надежностью в работе, высоким постоянством пьезоэффекта и высокой точностью преобразования механического напряжения в электрический сигнал в широком частотном диапазоне (погрешность преобразования механического напряжения в электрический заряд составляет 10^{-4}–10^{-6}), а также низкой температурной чувствительностью [6, 7]. К тому же пьезодатчики не требуют питания, что позволяет их использовать во взрывоопасных помещениях. Однако очень малая, как известно, выходная мощность пьезоэлектрических датчиков требует включения на выходе датчика усилителя с возможно бóльшим входным сопротивлением – усилителя напряжения или усилителя заряда. Из [6–8] и других источников также известно, что при использовании усилителя напряжения вся измерительная система становится очень чувствительной к изменениям ёмкости кабеля, т.е. к изменениям в длине кабеля между пьезодатчиком и усилителем, а при использовании усилителя заряда эффекты из-за изменения длины кабеля незначительны. В то же время усилители напряжения обычно имеют более простую конструкцию и содержат меньшее количество компонентов, более просты в наладке, чем усилители заряда, и поэтому, как правило, менее дороги и более надежны. Это зачастую позволяет отдавать предпочтение усилителям напряжения при выполнении измерений в стационарных условиях. В измерительной системе рассматриваемого балансировочного стенда, характеризуемой неизменностью длин и геометрии измерительных кабелей, в качестве входных усилителей для согласования высокого выходного сопротивления датчиков силы с низкоомными входами регистрирующей аппаратуры применены усилители напряжения с входным сопротивлением не менее 500 МОм. Эквивалентная схема пьезоэлектрического датчика, соединенного кабелем с

входным усилителем, представлена на рис. 2, на котором обозначены: $C_д$ – емкость датчика; $C_к$ – емкость кабеля между жилой и экраном; $C_у$ – входная емкость усилителя; $R_д$ – сопротивление датчика; $R_к$ – сопротивление изоляции кабеля; $R_у$ – входное сопротивление усилителя.

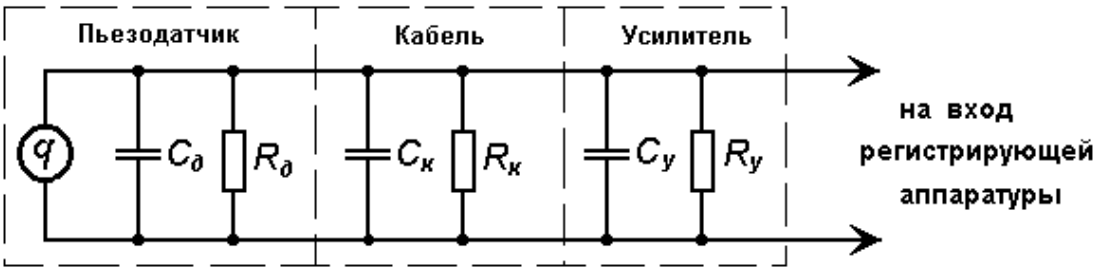


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема измерительного тракта

Теоретически сдвиг фаз между напряжением и измеряемой силой зависит от *RC*-параметров в цепи измерения сигналов каждого («верхнего» и «нижнего») измерительного тракта и от угловой скорости ротора ω и для каждого измерительного тракта может быть рассчитан по формуле [7]:

$$\varphi_{фс} = \pi / 2 + arctg\omega RC + \varphi_{кнстр}, \quad (1)$$

где $\varphi_{кнстр}$ – угол между направлением измеряемой силы и направлением отраженного зеркалом пучка света (см. рис. 1), определяемый конструкцией балансировочного стенда. Для рассматриваемого балансировочного стенда $\varphi_{кнстр} = 90^\circ$; R – сопротивление, равное сопротивлению параллельного соединения $R_д$, $R_к$ и $R_у$ в цепи соответственно «верхнего» или «нижнего» измерительного тракта; $C = C_д + C_к + C_у$ для цепей «верхнего» или «нижнего» измерительного тракта соответственно; $\omega = 2\pi f_{раб}$.

Это позволяет вычислить фазы векторов вибраций верхней и нижней опор, равные углам искомых векторов дисбалансов в системе координат вращающегося в опорах ротора, по формулам:

$$\varphi_В = \varphi_{Визм} - \varphi_{Вфс}; \quad (2)$$

$$\varphi_Н = \varphi_{Низм} - \varphi_{Нфс}, \quad (3)$$

где $\varphi_{Визм}$, $\varphi_{Низм}$ – фазы сигналов дисбалансов соответственно от верхнего и нижнего датчиков силы, содержащие в себе фазовые сдвиги $\varphi_{Вфс}$ и $\varphi_{Нфс}$ между выходным напряжением усилителя соответствующего датчика силы и измеряемой этим датчиком силой.

Таким образом, выражение (1) демонстрирует, что при неизменном значении $f_{раб}$ (а также при использовании регистрирующей аппаратуры с достаточно высокой частотой дискретизации) точность определения углов $\varphi_В$ и $\varphi_Н$ фактически зависит от точности измерения параметров *RC*-цепи измерительного тракта. Однако при достаточно высокой стабильности ёмкости пьезокварцевого датчика $C_д$ емкость кабеля $C_к$ (даже при его неизменном пространственном положении) может существенно изменяться в зависимости таких внешних факторов, как температура и влажность окружающей среды [8], внося тем самым дополнительную погрешность в результаты расчетов $\varphi_{Вфс}$ и $\varphi_{Нфс}$ и, как следствие, в результаты последующего расчёта углов $\varphi_В$ и $\varphi_Н$. В таблице 1 приведены результаты экспериментальных исследований,

выполненных в различное время и при различных внешних условиях, но при неизменном пространственном положении измерительных кабелей.

Таблица 1

Результаты измерений

Параметр	Расчетное значение	Экспериментальное значение						
$\varphi_{Вфс}$	225,2°	23,3°	31,6°	26,5°	28,1°	24,3°	22,5°	27,1°
$\varphi_{Нфс}$	229,1°	30,2°	36,2°	34,5°	35,2°	32,1°	27,8°	34,6°

Эксперименты показали, что измеренные на рабочей частоте вращения значения фазовых сдвигов $\varphi_{Вфс}$ и $\varphi_{Нфс}$ могут отличаться от значений, рассчитанных по формуле (1), на 4–7°. Стремление к достижению максимальной точности измерений фазовых углов дисбалансов обуславливает необходимость экспериментального определения фазовых сдвигов сигналов дисбалансов в процессе для последующего исключения связанных с ними ошибок при проведении балансировочного расчёта.

Фазовые сдвиги сигналов дисбалансов экспериментально определяют в процессе настройки измерительной системы стенда, для чего выполняют пуски ротора с пробными грузами, поочередно устанавливаемых в плоскостях коррекции. Вначале измеряют амплитуды A_B, A_H и фазы $\varphi_{Визм}$, $\varphi_{Низм}$ колебаний обеих опор для ротора в исходном состоянии. Затем на известном угле $\varphi_{Вуст}$ в верхней плоскости коррекции устанавливают пробный груз известной массы и измеряют колебания верхней опоры $A_{Втв}$, $\varphi_{Втв}$. Третий запуск ротора производят с пробным грузом, прикрепленным на известном угле $\varphi_{Нуст}$ в нижней плоскости коррекции. Измеряют колебания нижней опоры $A_{Нтн}$, $\varphi_{Нтн}$.

Далее выделяют составляющие векторов вибраций верхней и нижней опор «только от пробных грузов» $A_B^{тв}$, $\varphi_B^{тв}$ и $A_H^{тн}$, $\varphi_H^{тн}$ путем геометрического вычитания в контролируемых плоскостях коррекции векторов вибраций опор, полученных в опыте с ротором, находящимся в исходном состоянии, из соответствующих векторов вибраций опор, полученных в опытах с пробными грузами:

$$\vec{A}_B^{тв} = \vec{A}_{Втв} - \vec{A}_B;$$

$$\vec{A}_H^{тн} = \vec{A}_{Нтн} - \vec{A}_H.$$

Затем определяют фазовые сдвиги сигналов по формулам:

$$\varphi_{Вфс} = \varphi_B^{тв} - \varphi_{Вуст};$$

$$\varphi_{Нфс} = \varphi_{HB}^{тн} - \varphi_{Нуст},$$

где $\varphi_B^{тв}$ и $\varphi_{HB}^{тн}$ – соответственно фазы составляющих вибраций опор «только от пробных грузов».

Полученные значения позволяют затем с использованием выражений (2) и (3) определить действительные значения фаз сигналов дисбалансов, характеризующих неуравновешенность объекта контроля.

Рассмотренная методика обеспечивает экспериментальное определение фазовых сдвигов сигналов дисбалансов при балансировке «длинных» роторов на вертикальном балансировочном стенде с жёсткими коническими газовыми опорами и устранение ошибок, вызванных наличием фазовых сдвигов в результатах измерений сигналов дисбалансов, при проведении балансировочного расчёта, что позволяет существенно повысить точность измерений дисбалансов контролируемых деталей и качество балансировки.

Литература

1. ГОСТ 22061-76. Машины и технологическое оборудование. Система классов точности балансировки. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 139 с.
2. Щепетильников В.А. Уравновешивание механизмов. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.
3. Ключников А.В. Испытательное оборудование для диагностики симметричности распределения масс сложных деталей роторного типа / Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: Материалы международной научно-практической конференции – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2012. – С. 362-364.
4. Патент РФ на изобретение №2292534. Способ балансировки ротора / Л.М. Глазырина, М.С. Карповицкий, А.В. Ключников, А.И. Мальгин, Г.Г. Смирнов, Ю.П. Фомин // Опубл.: Бюл. №3, 2007. Приоритет от 27.04.2004.
5. Ключников А.В., Самарцев А.А., Симонова Н.Ф. Алгоритм функционирования компьютерной программы стенда исследования характеристик асимметрии распределения масс тела // Труды международного симпозиума «Надежность и качество 2012» (Пенза, 21–31 мая 2012г.): в 2-х томах / Под ред. проф. Н.К. Юркова. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2012. – Т. 1. – С. 319–322.
6. Осипович Л.А. Датчики физических величин. – М.: Машиностроение, 1979. – 159 с.
7. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
8. Брох Е.Т. Применение измерительных систем фирмы «Брюль и Къер» для измерения механических колебаний и ударов. – Себорг: Издательство «К. Ларсен и сын», 1973. – 308 с.

СИЛОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ПОТОКОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ГЕОВИЗОРА

Дягилев В.И., Коковин В.А., *Увайсов С.У.
*г. Протвино, Филиал «Протвино» университета «Дубна», *Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ*

Рассмотрены особенности разработки силового преобразователя для геовизоров. Показаны преимущества разработки системы управления преобразователем на основе потоковой модели.

The power converter with the dataflow architecture for geovizor. Diagilev V.I., Kokovin V.A., Uvaysov S.U.

The features of the development of the power converter for geovizorov. Shows the benefits of the development of the control system based on the data flow model.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Постановка задачи разработки силового преобразователя для геофизических исследований

Современный уровень развития геофизики требует создания надежной и конкурентоспособной аппаратуры для проведения исследований в пробуренных скважинах и их ремонта в процессе эксплуатации. Эти задачи наиболее успешно решает комплекс аппаратуры под условным названием «геовизор». Как правило, он состоит из четырех основных узлов: силового преобразователя (СП) для питания излучающего устройства, излучающее устройство, приемное устройство и ЭВМ для обработки полученной информации. Наиболее ответственным и дорогостоящим узлом такой аппаратуры является погружной снаряд, на котором смонтированы акустические приемно-передающие устройства [1]. Как правило, это пьезокерамические преобразователи (ПКП), в которых используется прямой и обратный пьезоэффект. Для возбуждения передающего ПКП требуется достаточно мощный генератор (0,5 – 1,0 кВт) высокочастотных гармонических колебаний частотой от 10 до 40кГц. Но для проведения некоторых геофизических исследований необходимы частоты порядка сотен и даже десятков герц. Пьезокерамические и даже магнитострикционные преобразователи неспособны работать на таких низких частотах. В таких случаях применяется способ возбуждения ПКП амплитудно-модулированным напряжением. В этом случае огибающая низкочастотная синусоида «несет» полную информацию, а высокочастотная синусоида служит для передачи этого сигнала по всему тракту, от системы управления до исполнительного органа (в данном случае - ПКП).

В данной статье рассмотрены структура и система управления силового преобразователя, используемого в геовизоре.

На рис.1 приведена блок – схема силового преобразователя, в основе которого лежит формирование низкочастотного модулированного сигнала по описанной выше методике. СП можно условно разделить на генератор, формирующий выходной сигнал на нагрузке, и систему управления (СУ) работой этого генератора. Генератор состоит из блоков опорных частот Г1 и Г2, усилителей мощности УМ1 и УМ2, выходного трансформатора и фильтра ТВЧ и ФВЧ. В систему управления входит многофункциональное синхронизирующее устройство МСУ, аналого-цифровой преобразователь АЦП, цифровой регистр Р, схема сравнения СС и задающий генератор ЗГ. В качестве нагрузки используется пьезокерамический преобразователь ПКП. Для изменения параметров работы СП используется микропроцессор – uP, с помощью которого оператор может задать режим работы СП (через регистр задания РЗ). Кроме того, при необходимости можно выбрать микропроцессор с сетевыми возможностями и управлять СП удаленно. Последнее свойство актуально при обслуживании СП, распределенных по нескольким скважинам.

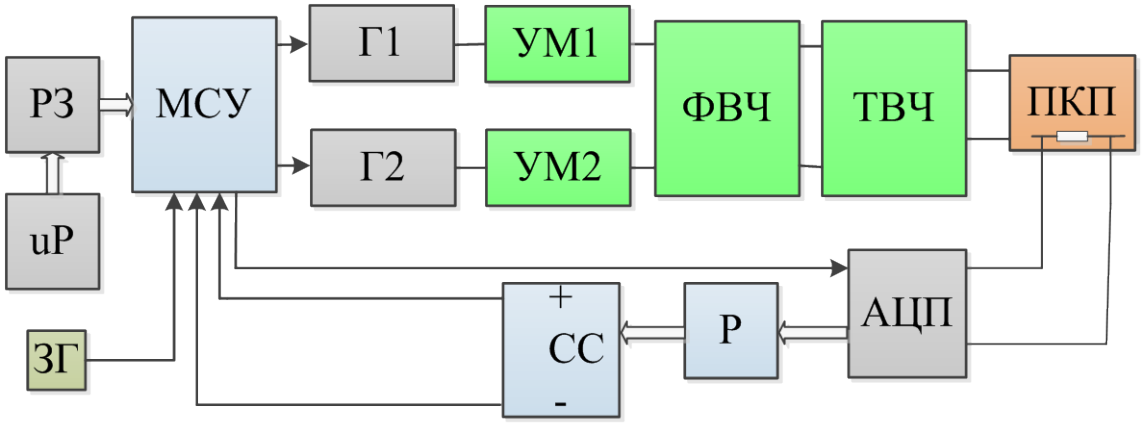


Рис.1 Блок-схема силового преобразователя для работы в составе геовизора.

Выбор архитектуры системы управления СП

Выбор архитектуры управления силовым преобразователем (СП) определяется заданными характеристиками работы преобразователя, числом и качеством регулировок параметров СП, уровнем сервиса (удаленное управление, работа в составе распределенной системы управления и т.д.). Учитывая приведенные выше требования к управлению СП, можно говорить о разработке не просто устройства управления, а полноценной системы управления СП.

В настоящее время можно выделить два основных подхода при разработке архитектуры системы управления СП. Во-первых, это традиционная архитектура с использованием вычислителя (микропроцессора), построенного на базе модели фон-Неймана [2], которую в литературе принято называть ***control flow*** (поток команд). Основным недостатком данной модели, с точки зрения быстродействия, является последовательное выполнение команд, реализующих алгоритм. Во-вторых, все больший интерес вызывает реализация архитектуры управления на основе модели вычислений ***data flow*** (поток данных), предложенной в работах Д. Денниса, например [3]. В этом случае, реализуемый алгоритм «зашит» в аппаратуре системы управления в виде требуемых вычислительных и логических операторов, что позволяет распараллеливать различные процессы и неограниченно масштабировать.

Недостатком модели ***data flow*** до недавнего времени оставалась реализация эффективной по производительности, но узкоспециальной по назначению задачи. При смене алгоритма задачи приходилось модернизировать аппаратную часть системы управления. С появлением технологии программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) ситуация кардинально изменилась. Появилась возможность реконфигурировать аппаратную реализацию алгоритма неограниченное число раз (а для современных ПЛИС даже «налету»). Кроме того, разработку можно выполнять на языках описания аппаратуры (Verilog, VHDL), что повысило производительность разработки и дало возможность выполнять функциональную и временную симуляцию проекта.

Современные ПЛИС в своем составе содержат средства для эффективной реализации модели вычислений ***data flow*** – цифровые сигнальные процессоры (DSP), которые позволяют вести разработку и реализацию контуров управления высокопроизводительных СП. Например, фирма Альтера разработала Motor Control Development фреймворк [4], поддерживающую методику разработки контуров управления для управления двигателями на основе проектирования в MATLAB/Simulink. Это программное обеспечение позволяет выйти на новый уровень

системной интеграции, масштабируемости и гибкости при разработке приложений с очень интенсивной цифровой обработкой.

На блок-схеме рис.1 поток данных, поступающий в СУ, обрабатывается блоками МСУ, АЦП, цифровым регистром Р, как промежуточной памятью и схемой сравнения СС. Ввод задания по изменению режима работы преобразователя выполняется микропроцессором через регистр РЗ.

Генератор силового преобразователя

Принцип действия схемы генератора удобно рассмотреть с помощью временных диаграмм (рис. 2). МСУ в зависимости от нужного режима работы СП вырабатывает импульсы запуска и прерывания работы Г1 и Г2. Таким образом, можно формировать либо «пачки» амплитудно-модулированных импульсов либо осуществлять непрерывный режим работы ПКП.

Блоки Г1 и Г2, формируют прямоугольные импульсы с регулируемой частотой и шириной (или паузой). УМ1,2 усиливают эти импульсы по току и напряжению.

Блок МСУ вырабатывает импульс регулируемой длительности, который разрешает работу Г1 и Г2. Если частоты Г1 и Г2 равны ($f_1=f_2$) на ПКП подается напряжение одной частоты $f=f_1=f_2$.

В случае неравенства частот Г1 и Г2 на ПКП подаются «пачки» амплитудно-модулированных колебаний тока высокой частоты. Частота этих колебаний $f_3=f_1-f_2$. Таким образом, можно получить в нагрузке переменный ток практически любой частоты, что очень важно при геодезических исследованиях земной тверди.

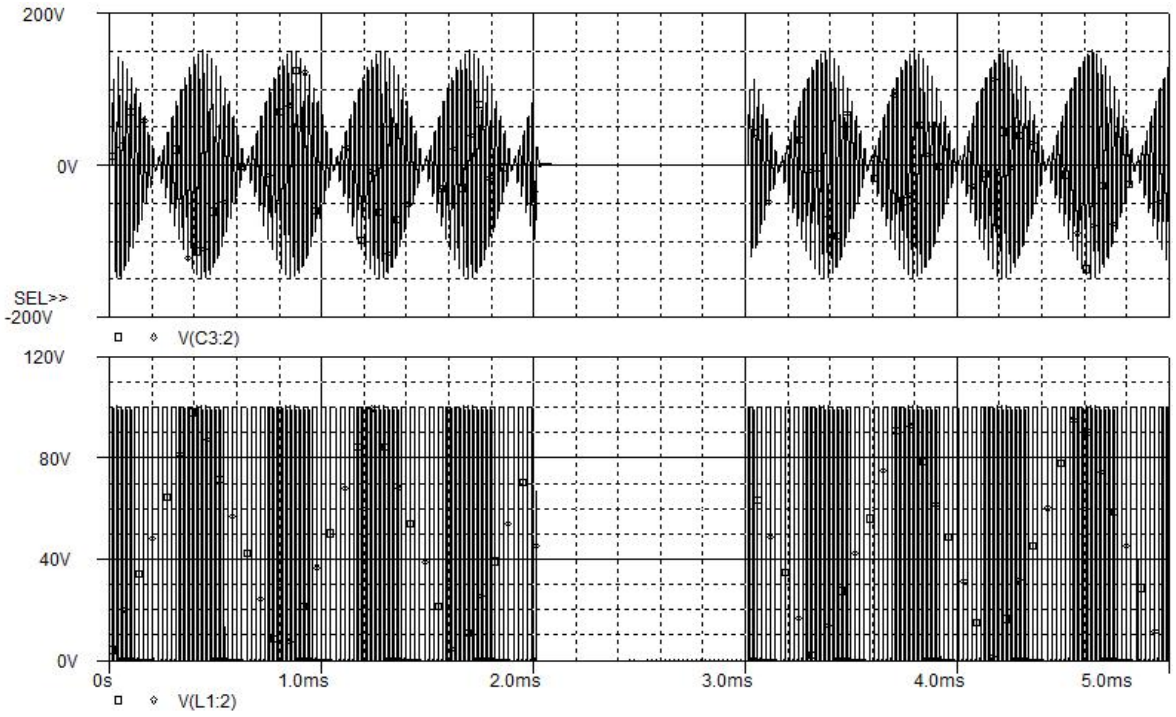


Рис.2 Временные диаграммы работы генератора

Задание длительности пачки импульса от минимального значения до полного значения выполняется оператором, через интерфейс микропроцессора. Суммарное выходное напряжение (амплитудно-модулированное), содержащее в спектре частоты f_1,f_2, через согласующий трансформатор подается на электромеханический

преобразователь. Частоты f_1 и f_2 выбираются близкими к механическому резонансу преобразователя и акустической антенны, что обеспечивает высокий КПД системы.

Data flow диаграмма СУ

Опыт разработки систем управления реального времени для силовых преобразователей физических установок [5,6] показывает, что обеспечение требуемой реакции системы управления на события (сигналы) быстропротекающих процессов может обеспечить только архитектура с максимально распараллеленными процессами, алгоритм выполнения которых реализован аппаратно. Для сервисных функций (загрузка регулировочных уставок, чтение статусных сигналов, обработка коммуникационных запросов и т.д.) лучше использовать классический контроллер с сетевыми портами. В этом случае создается гибридная система управления, когда вычисления и логика реализуются аппаратно (***data flow***), а ввод-вывод данных – программно (***control flow***).

Использование ПЛИС при реализации СУ позволяет создавать реконфигурируемые структуры с требуемой реакцией.

Рассмотрим работу СУ на примере упрощенной диаграммы ***data flow*** (рис.3) **,** дающей возможность проанализировать потоки данных из внешних источников, обработку потоков, логические вычисления и адресаты назначения результатов вычислений. Диаграмма построена на основе узлов обработки данных, названных капсулами. Капсула состоит из двух составляющих: *логики условия* и *процесса* вычислений. *Логика условия* представляет собой уравнение логической функции, результат решения которого запускает *процесс*. *Процесс* осуществляет преобразование входных потоков данных в выходные. При этом алгоритм выполнения *процесса* аппаратно «зашит» в капсулу (инкапсулирован).

В диаграмме, представленной на рис.3, параллельно обрабатывается два потока:

- Первый поток обрабатывается капсулами с процессами P2, P3 и P5 и выполняет задание режима работы генератора СП через регистр P3 (загружаемый микропроцессором).
- Второй поток формируется как обратная связь с выхода ПКП через АЦП и обрабатывается капсулами с процессами P1, P4, P6 и P7. В результате обработки потока формируются сигналы *incr* (+) и *dcr* (-), позволяющие подстроить частоту $f_3=f_1-f_2$ для сохранения резонансного режима работы ПКП.

На выходе диаграммы формируются частоты f_1 и f_2, поступающие в блоки Г1 и Г2 генератора СП. Для устойчивой работы СУ обработка потоков синхронизируется двухфазными синхросериями (*clk1*и *clk2*). Таким образом, идет непрерывная обработка входных потоков данных и формируются условия для обеспечения высокого КПД работы силового преобразователя.

Выводы

Предложенная конструкция прибора под названием «Геовизор» [7] позволяет «рассмотреть» структуры скрытого от глаз пространства, либо земляным, либо водным покровом.

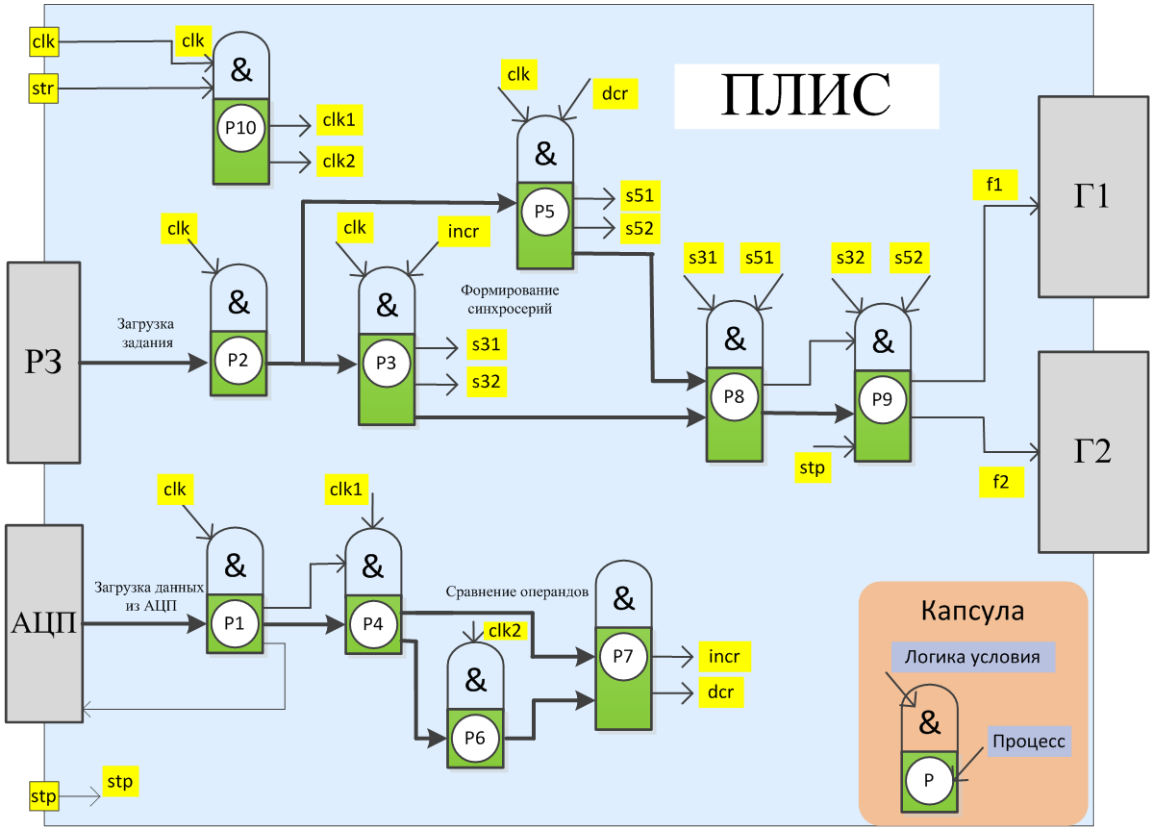


Рис.3 Data flow диаграмма вычислений, реализованных в ПЛИС

Во время паузы (рис.2) между пачками происходит прием отраженного сигнала, выделение огибающей и расшифровка с помощью компьютера. Преимущества такой системы генерации акустических колебаний очевидны. Частота зондирующих импульсов без снижения КПД

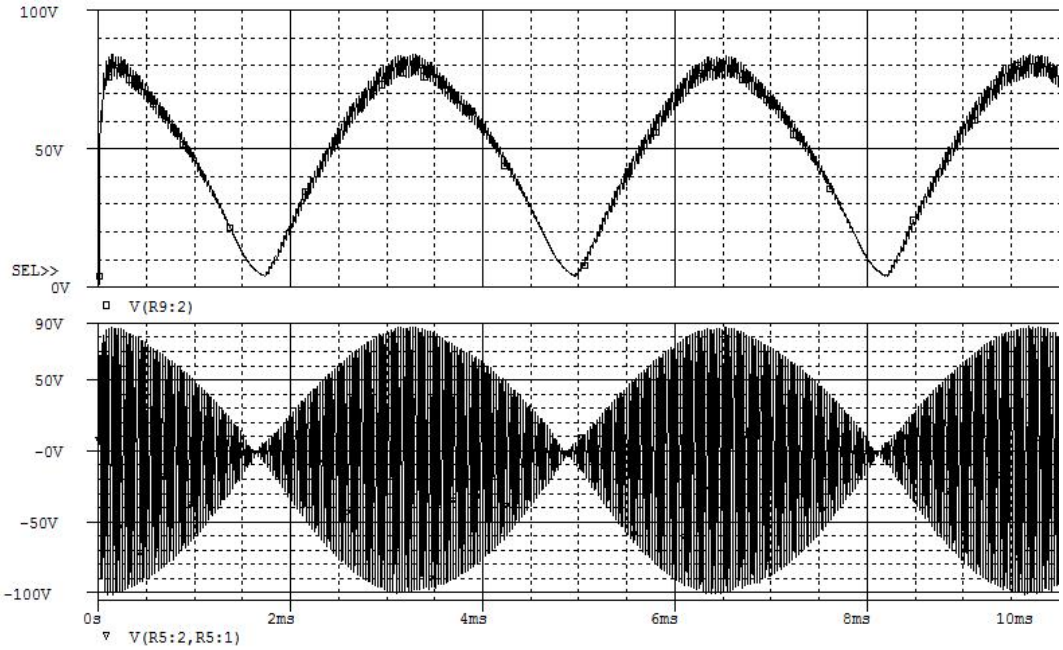


Рис.4 Временные диаграммы работы генератора: модулированное напряжение на входе ПКП и выделенный низкочастотный сигнал

может регулироваться в широких пределах (от единиц герц до десятков килогерц), что очень важно при проведении геофизических исследований на разных расстояниях от скважины. Результат работы силового преобразователя с потоковым управлением можно проиллюстрировать временными диаграммами, представленными на рис.4. На этом рисунке верхняя кривая представляет низкочастотную синусоиду, несущую полезную информацию после отражения от зондируемой поверхности.

Реализация СУ силового преобразователя на основе потоковой модели вычисления позволяет повысить эффективность работы геовизора.

Литература

4. Носов В. Н., Жуланов И. Н. Изучение околоскважинного пространства с помощью геовизора. Труды Нижегородской акустической научной сессии, ННГУ, 2002. (с. 343-345)

5. Burks A. W., Goldstine H. H., Neumann J. Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument. — Institute for Advanced Study, Princeton, N. J., July 1984.

6. Dennis J. “Data flow ideas for supercomputers”. IEEE Society, 28th international conference, San Francisco, 1984, pp. 15-19.

7. http://www.altera.com/end-markets/industrial/motor-control/ind-motor-control.html

8. Коковин В.А., Комаров В.В. Контроллер таймерной сети общей таймерной системы ускорительного комплекса ИФВЭ. «НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ», Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. №6 , 2005.

9. Антоничев Г.М., Коковин В.А., Комаров В.В. и др. Новая система синхронизации быстрого вывода пучка из протонного синхротрона У-70 ИФВЭ: Препринт ИФВЭ 20129. Протвино, 2012. – 23 с., 9 рис., 3 табл., библиогр.: 10.

10. Дягилев В.И., Носов В. Н., Жуланов И. Н., Якушев К. В.. Генератор специальных колебаний для геофизических исследований. Сб. статей «Вопросы совершенствования оборудования и электротехнологий». – Екатеринбург, УГТУ – УПИ, 2000. №8.290 с. (с.263-265)

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОПЕРАТОРЫ И КОДИРОВАНИЕ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Коровин Я.С., Хисамутдинов М.В.
Таганрог, Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем Южного федерального университета

В работе рассматриваются генетические операторы кроссинговера и мутации применительно к мультихромосомам в задаче прогнозирования состояний нефтепромыслового оборудования. Предложен способ кодирования весовых коэффициентов искусственной нейронной сети, которая используется для распознавания состояния нефтедобывающего оборудования.

Genetic operators and artificial neural network synaptic weights’ coding in the task of oilfield equipment state forecasting. Korovin Ya.S, Hisamutdinov M.V.

This paper deals with crossover and mutation genetic operators of multicromosomas in relation to the problem of oilfield equipment states forecasting. We propose the neural weights encoding method of the artificial neural network applied to determine the state of oil production equipment.

Основной проблемой существующих подходов к обучению искусственных нейронных сетей (НС) является проблема переобучения (заучивания входных данных) НС, связанная со способом корректировки весовых коэффициентов НС [1]. Возможным выходом из данной ситуации является использование комбинированного подхода к обучению НС, сочетающего в себе классический подход к обучению НС [2, 3] и эволюционный подход [4]. В условиях неопределенности эволюционные методы, в том числе и генетические алгоритмы, имеют наиболее высокие шансы для достижения требуемых результатов. Классический генетический алгоритм оперирует двоичной системой счисления, хотя в последнее время зачастую встречаются работы, в которых операторы генетических алгоритмов выполняют операции над множеством действительных чисел. Это позволяет существенно расширить возможности применения описываемых алгоритмов [5, 6].

Рассмотрим математическую модель поставленной задачи. Дан вектор X с размерностью N, который представляет собой набор параметров, описывающих состояние нефтепромыслового оборудования. Также есть вектор Y с размерностью K, который отражает требуемый результат распознавания, указывающий состояние оборудования. Необходимо найти весовую матрицу P, элементами которой являются вещественные числа в отрезке [0, 1], чтобы выполнялось равенство: $X \square P \square = Y.$

Необходимо осуществить настройку весовой матрицы P с помощью генетического алгоритма. В рамках решаемой задачи рассматриваемая матрица имеет следующую размерность: количество строк равняется K, что представляет собой все типы состояний, описывающих работу нефтепромыслового оборудования; количество столбцов определяется размером знакоместа, отводимого под каждое состояние, - N столбцов.

С точки зрения очевидности и простоты понимания следует каждый столбец матрицы весов рассматривать в качестве хромосомы, что приведет к наличию N хромосом, которые в совокупности будут отражать каждую особь [7]. Однако данный подход справедлив, если количество нейронов внутренних слоев не превышает размерность N входного вектора X.

Рассмотрим общий случай кодирования особи (весовой матрицы НС). Каждая особь в разрабатываемом генетическом алгоритме представляется в виде набора хромосом, описывающих связи между слоями НС. Структура весовой матрицы в виде мультихромосомы проиллюстрирована на рисунке 1, где W - количество скрытых слоев НС, T^W – количество нейронов в скрытом слое W.

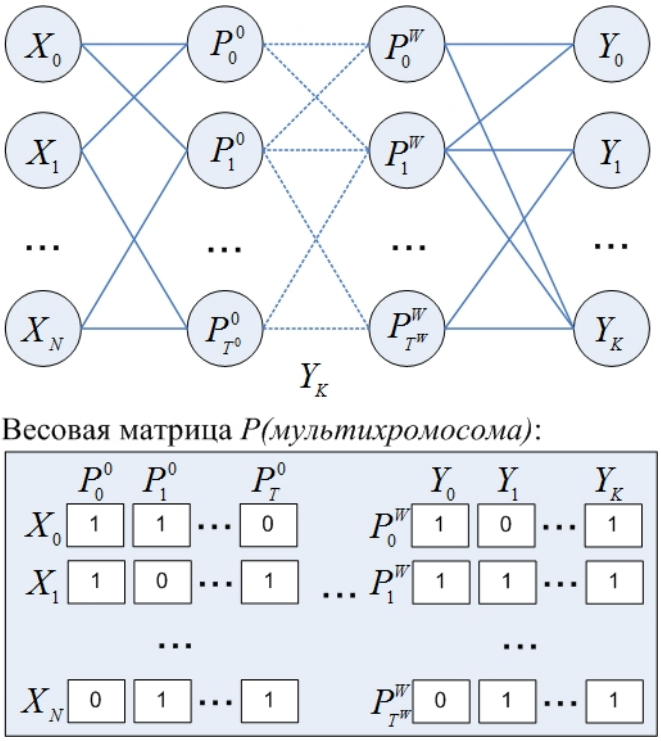


Рисунок 1 – Представление весовой матрицы в виде мультихромосомы

Таким образом, количество ячеек памяти, необходимых для одной особи *SumGen*, можно рассчитать по формуле:

$$SumGen = N \cdot T^0 + \sum_{i=0}^{W-1} T^i \cdot T^{i+1} + T^W \cdot K. \quad (1)$$

Эффективность работы любого генетического алгоритма находится в прямой пропорциональной зависимости от эффективности операции кроссинговера. Кроме того, производительность генетического алгоритма зависит от успешности работы кроссинговера в первую очередь [8]. В рамках решаемой задачи реализован упорядоченный оператор кроссинговера. Упорядоченный кроссинговер осуществляет поэтапное преобразование генетического материала, приближаясь к оптимальному решению [9].

На рисунке 2 изображен процесс получения новых особей с использованием упорядоченного кроссинговера. Имеются две родительские хромосомы: *H1* и *H2*.

Генетическим материалом являются вещественные числа от 0 до 1. Упорядоченный кроссинговер работает следующим образом. Изначально случайным образом определяется «разрезающая точка». На следующем этапе первый потомок *new_H1* наследует левую часть родительской хромосомы *H1*. Заполнение оставшихся генов новой хромосомы осуществляется за счет информации, хранящейся у второго родителя *H2*. Алгоритм просматривает хромосому *H2* с самого начала и осуществляет извлечение генов, которые отличаются от генов, уже находящихся в потомке. Аналогичная процедура выполняется при получении второго потомка *new_H2*. Второй потомок *new_H2* наследует левую часть родительской хромосомы *H2*. Заполнение оставшихся генов получаемой хромосомы осуществляется за счет информации, находящейся у второго родителя *H1*.

Алгоритм производит анализ хромосомы *H1* с первого гена и осуществляет упорядоченное извлечение генов, которые отличаются от генов, уже находящихся в потомке, более чем на заданную величину. В результате работы каждого оператора

скрещивания в популяции появляются две новые особи. Чтобы контролировать количество операций кроссинговера используется коэффициент скрещивания определяющий долю производимых на каждой итерации потомков.

Высокое значение коэффициента скрещивания позволяет увеличить количество областей пространства поиска и уменьшает опасность попадания в локальный оптимум, однако слишком большое значение указанного параметра приведет к увеличению времени работы алгоритма, а также к чрезмерному исследованию малоперспективных областей поискового пространства.

Следующим этапом генетического алгоритма является *мутация*. Мутация есть изменение, которое приводит к проявлению качественно новых свойств генетического материала [10]. Мутации происходят случайным образом и вызывают скачкообразные изменения в структуре генотипа [11].

В рамках решения оптимизационных задач наибольшее значение имеют генные мутации, которые в большинстве случаев затрагивают один или несколько генов. Мутация может выглядеть любым образом, будь то обмен генов своими позициями или копирование значения другого гена и т.д. В каждом генетическом алгоритме необходимо определиться с выбором вида мутации. В рассматриваемом генетическом алгоритме гены содержат в себе вещественные числа от 0 до 1. Согласно этому оператор мутации должен вносить конкретные изменения в генетический материал, т.е. изменять значения определенных генов, не опираясь на уже существующие гены. Суть разработанного оператора мутации состоит в следующем. В исследуемой хромосоме случайным образом выделяют также случайное количество генов. Коэффициент мутации определяет интенсивность мутаций. Он определяет долю генов, подвергнутых мутации на текущей итерации, в расчете на их общее количество. Если коэффициент мутации слишком мал, то получится ситуация, при которой множество полезных генов просто не будут существовать в популяции. В то же время использование большого значения коэффициента мутации приведет к множеству случайных возмущений и значительно увеличит время поиска. Потомки перестанут походить на родителей, алгоритм больше не будет иметь возможности обучаться на основе сохранения наследственных признаков. К выбранным генам применяют преобразование, которое вызывает изменение значения текущего гена на некоторую небольшую величину. Данная величина выбирается с таким учетом, чтобы после изменения значения *i*-го гена он находился в отрезке [0; 1].

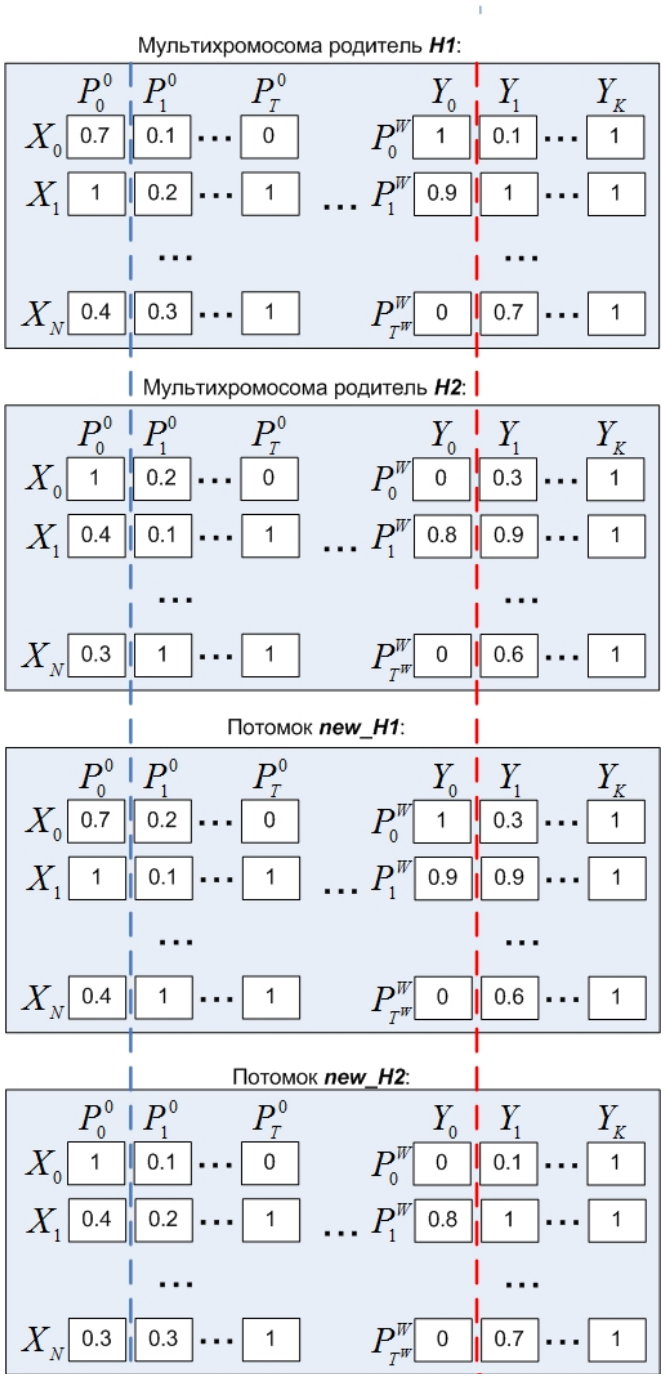


Рисунок 2 – Принцип работы упорядоченного кроссинговера для мультихромосом

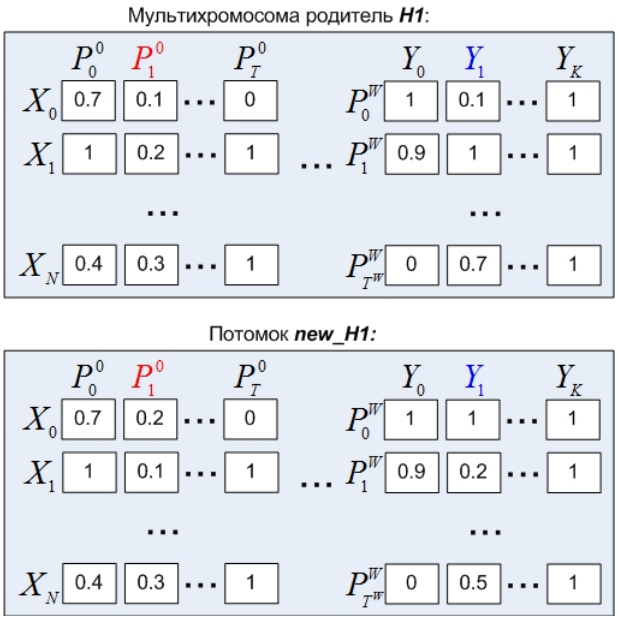


Рисунок 3 – Принцип работы оператора мутации для мультихромосом

На рисунке 3 показано, как выполняется процесс мутации для мультихромосомы. Гены в локусе P_1^0 и Y_1 успешно получили новое значение, что приведет к изменению показаний функции пригодности мутирующей особи. Использование мутаций позволяет вносить в популяцию новый генетический материал. Это приведет к увеличению пространства поиска, что необходимо для эффективного поиска оптимума. Разумеется, имеет смысл воспользоваться классическим оператором мутации, в основе которого лежит случайное изменение порядка следования генов. Это также приводит к получению достаточно хороших результатов уже на ранних этапах работы генетического алгоритма.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №12-08-33105.

Литература

1. Коровин Я.С., Ткаченко М.Г., Кононов С.В. Оперативная диагностика состояния нефтепромыслового оборудования на основе технологий интеллектуальной обработки данных // Нефтяное хозяйство -2012, -№9, -с. 116-118
2. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей [Текст] / Р. Каллан / М.: Вильямс, – 2003. – С. 132-140.
3. Коровин Я.С., Ткаченко М.Г. Применение нейросетевого анализа данных в нефтегазодобывающей промышленности // Известия Южного Федерального Университета. Технические науки -2010, -№12, -с. 172-178
4. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы: Учебное пособие [Текст] / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик / М.: Физматлит, 2006. – С. 98-106.
5. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / под общ. ред. В.Б. Новосельцева. – Томск : Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.
6. Мищенко В.А., Коробкин А.А. Использование генетических алгоритмов в обучении нейронных сетей // Современные проблемы науки и образования -2011, -№6, -С. 116-119

7. Тененев В.А. Решение задачи многокритериальной оптимизации генетическими алгоритмами // Интеллектуальные системы в производстве -2006, -№2, - С. 103-109

8. Maor-Shoshani A., Reuven N. B., Tomer G., Livneh Z. Highly mutagenic replication by DNA polymerase V (UmuC) provides a mechanistic basis for SOS untargeted mutagenesis // Proc. Natl. Acad. Sci. USA — 2000. — 97. — P. 565—570.

9. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. — М: Физматлит, 2003. — С. 432. — ISBN 5-9221-0337-7

10. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. — М.: Горячая линия-Телеком, 2010. — С. 520. — ISBN 5-9912-0105-6

11. Cannistraro V. J., Taylor J. S. Acceleration of 5-methylcytosine deamination in cyclobutane dimers by G and its implications for UV-induced C-to-T mutation hotspots // J. Mol. Biol. — 2009. — 392. — P. 1145—1157.

ОНЛАЙН МОНИТОРИНГ ФОНДА НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ МЕТОДОВ DATA MINING

Коровин Я.С.
Таганрог, НИИ МВС ЮФУ

Предложены новые методы извлечения неизвестных закономерностей, а также диагностики и прогнозирования состояния нефтепромыслового оборудования. Описана архитектура и основная функциональность автоматизированной системы онлайн мониторинга состояния объектов нефтепромысла, разработанной на основе новых методов и алгоритмов.

Oilfield equipment online monitoring on the basis of modern Data mining technologies. Korovin Ya. S., SRI MCS SFEDU

New database knowledge discovery methods, so as the oilfield equipment state diagnostics and forecasting methods are offered. The architecture and the main functionality of automated software system applied for oilfield objects state online monitoring, developed on new methods and algorithms basis, is described.

Одним из возможных путей повышения безопасности и эффективности нефтегазодобывающего производственного процесса является обновление технологического оборудования, однако на это требуются существенные финансовые затраты, поэтому такой способ в настоящее время едва реализуем.

Другим вариантом решения обозначенной проблемы является внедрение в производственный процесс информационно-управляющих систем, ориентированных на выполнение процедур диагностики текущего состояния объекта управления со своевременным предупреждением наступления аварий, отказов и сбоев.

Анализ информационных источников и результатов патентных исследований показал, что применяемые ранее методы и средства диагностики и прогнозирования состояния нефтедобывающего технологического оборудования уже не могут обеспечить требования по уровню безопасности и эффективности функционирования современных сложных технических систем рассматриваемой критической области деятельности. Постоянный рост объема "информационного вала" данных о параметрах функционирования объектов нефтепромысла повышает зависимость от т.н.

"человеческого фактора" [1,2]. Данная ситуация ухудшается с каждым днем в виду экспоненциального роста сложности информационно-управляющих и иных систем, задействованных в производственном процессе разведки, бурения и, в большей степени, добычи и транспортировки продукции.

Что касается отечественной практики извлечения углеводородов, то несмотря на относительно большое присутствие наличие на рынке информационных продуктов систем, ориентированных на выполнение процедур оперативной диагностики нефтепромыслового оборудования, в настоящее время качество решения задачи определения текущего состояния объекта управления в значительной степени зависит от подготовки и опыта оператора. В этой связи, учитывая большую номенклатуру оборудования и объемы анализируемой информации, вероятность ошибки в оценке состояния и определении прогноза развития ситуации достаточно велика.

Реально повысить уровень обеспечения безопасности и предотвратить возникновение техногенных аварий в нефтегазовой промышленности возможно за счёт создания и внедрения на объектах автоматизированных информационно-управляющих систем, построенных базе новых методов и алгоритмов интеллектуального анализа данных (Data Mining), ориентированных на качественную обработку больших массивов разнородной информации в масштабе реального времени.

Научно-техническое направление, связанное с разработкой и внедрением информационно-управляющих систем, ориентированных на выполнение процедур оперативной диагностики и прогнозирования состояния объектов нефтепромысла с применением методов интеллектуального анализа данных, динамично развивается как в зарубежной, так и в отечественной практике, однако реальные промышленные внедрения подобных систем являются крайне редкими.

В связи с вышеизложенным, актуальной является проблема разработки и исследования новых методов и средств диагностики и прогнозирования оперативного состояния технологического оборудования нефтепромысла, обеспечивающих качественно новые характеристики по безопасности и эффективности их функционирования, с последующим их внедрением в нефтедобывающий производственный процесс.

Предлагается разработать универсальную автоматизированную систему онлайн мониторинга (АСОМ) состояния нефтепромыслового оборудования с применением современных технологий Data Mining.

Основными блоками разрабатываемой системы выступают:

- база ретроспективных данных о функционировании ОУ;
- текущие оперативные данные о функционировании объекта нефтепромысла;
- блок извлечения новых неизвестных закономерностей о функционировании нефтепромыслового оборудования;
- блок диагностики текущего состояния объекта управления;
- блок определения тенденции развития ситуации (прогнозирования);
- блок принятия соответствующего управляющего воздействия.

Опишем функции блоков.

База ретроспективных данных. Содержит данные о функционировании ОУ в определенный момент времени с указанием режима работы ОУ и соответствующими показаниями групп параметров, характеризующих качество функционирования оборудования (в простейшем случае, "норма" или "отклонение").

Блок извлечения новых правил. Предназначен для извлечения новых неизвестных закономерностей из массивов накопленных ретроспективных данных о функционировании ОУ, основан на методе извлечения правил из нейронной сети. Разработанный метод основан на преобразованиях, обратных операциям, описанным в

методе нейросетевой интерпретации жестких правил функционирования сложного мехатронного объекта нефтепромысла [3].

Согласно методу наименьших квадратов, минимизируемой целевой функцией ошибки нейронной сети является величина:

$$\mathrm{E}(w) = \frac{1}{2}(y_p{}^{(N)} - d_p)^2, \tag{1}$$

где y – реальное выходное состояние нейрона выходного слоя N при подаче на её входы P-го образа; d_p - идеальное (желаемое) выходное состояние этого нейрона. Суммирование ведется по всем обрабатываемым сетью образцам.

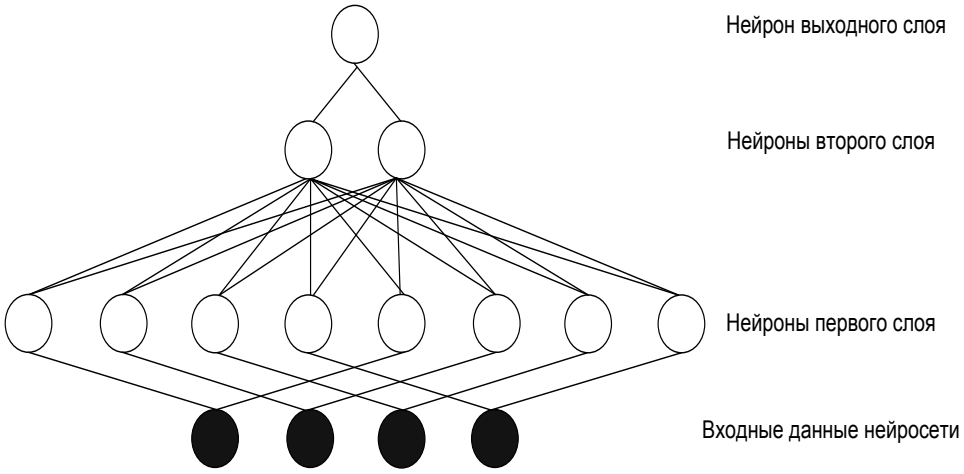


Рис. 1. Структура нейронной сети для извлечения правил

Минимизация ведется методом градиентного спуска, что означает подстройку весовых коэффициентов следующим образом:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta * \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}, \tag{2}$$

Здесь w_{ij} - весовой коэффициент синаптической связи, соединяющей j-й нейрон слоя (n) со связанным с ним i-м нейроном j-множества нейронов слоя n; η - коэффициент скорости обучения, $0<\eta<1$. Распишем второй множитель:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_{ij}} * \frac{\partial y_j}{\partial s_j} * \frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}. \tag{3}$$

Под y_j подразумевается выход нейрона j, а под s_j - взвешенная сумма его входных сигналов, то есть аргумент активационной функции. Множитель $\frac{\partial s_j}{\partial w_{ij}}$ равен выходу нейрона предыдущего слоя $y_i^{(n-1)}$. Первый множитель раскладывается следующим образом:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} * \frac{\partial y_k}{\partial s_k} * \frac{\partial s_k}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} * \frac{\partial y_k}{\partial s_k} * w_{jk}^{(n+1)}. \tag{4}$$

Здесь суммирование по *k* выполняется среди всех нейронов слоя *(n+1).* Введя новую переменную

$$\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_k} * \frac{\partial y_k}{\partial s_k}, \tag{5}$$

получим рекурсивную формулу для расчетов величин $\delta_j^{(n)}$ слоя *n* из величин $\delta_j^{(n+1)}$ более старшего слоя *(n+1).*

$$\delta_j^{(n)} = \left[\sum_k \delta_k^{(n+1)} * w_{jk}^{(n+1)} \right] * \frac{\partial y_j}{\partial s_j}. \tag{6}$$

Для выходного слоя

$$\delta^N = (y - d) * \frac{\partial y_j}{\partial s_j}. \tag{7}$$

Теперь мы можем записать формулу в раскрытом виде

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta * \delta_j^{(n)} * y_i^{(n-1)}. \tag{8}$$

Получаем множество конъюнктов, связанных с каждым дизъюнктом, по следующему правилу: если связь между соответствующими нейронами второго и третьего слоя отсутствует или вес связи близок к нулю или меньше нуля – то конъюнкт не используется в этом дизъюнкте. Используя формулу

$$C_{i_2} = \bigcap_{i_2=1}^{k_2} \left\| W_{2,i_1,i_2} \right| - 1 \left| \cup B_{i_1} \right., \tag{9}$$

получим связь гиперплоскостей и конъюнктов. Если связь между соответствующими нейронами первого и второго слоев отсутствует или вес связи близок к нулю, то гиперплоскость B_{i_1} не влияет на дизъюнкт C_{i_2}. Если вес связи больше нуля, то гиперплоскость будет вида *X>C* ,в противном случае – гиперплоскость будет вида X<=C.

Гиперплоскость B_{i_1} получаем по формуле:

$$\frac{A_{i_0}}{W_{1,i_0,i_1}} = -Z_{i_1}. \tag{10}$$

Таким образом получаем правила вида:

((X₁>Z₁ && X₂>Z₂)||(X₂<=Z₃ && X₃>Z₄)), где *X*- параметры состояния объекта, *Z*-граничные значения параметров.

Блок диагностики состояния ОУ. Предназначен для осуществления скоростного анализа состояния ОУ в режиме реального времени на основе показаний параметров (групп параметров), характеризующих функционирование нефтепромыслового оборудования. Процедура диагностирования основана на применении новых методов и алгоритмов нейросетевого анализа данных [3]. Основной идеей предложенного подхода является применение множества нейронных сетей, обученных на "поиск своей неисправности".

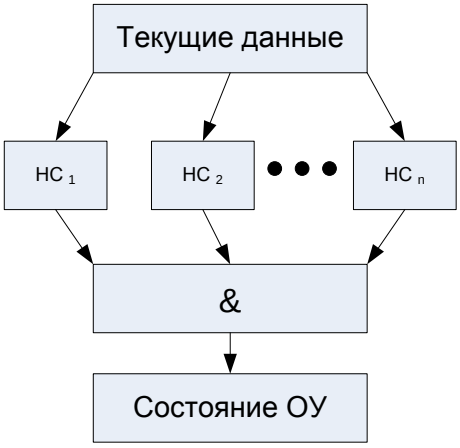


Рис. 2. Основная идея предложенного метода множества нейронных сетей нейропроектов

В режиме реального времени данные о режимах состоянии ОУ подаются на входы всех нейронных сетей и параллельно обрабатываются. Таким образом, в рабочем режиме нейросетевой модуль, построенный с применением предложенного метода может определять сразу несколько типов одновременно возникающих неисправностей, что является реальным при эксплуатации объектов нефтепромысла. Итоговое состояние анализируемого мехатронного объекта складывается из подмножества результатов операций нейросетевого распознавания.

Кроме распознавания новых данных с использованием обобщающей способности, приобретенной в ходе процесса обучения, в данном блоке проводится кластеризация данных с учетом правил, найденных в блоке извлечения новых закономерностей, и обучение нейронных сетей.

Блок прогнозирования состояния ОУ. Предназначен для осуществления определения возможного развития ситуации с целью предупреждения наступления отказов оборудования. Основан на изучении характера изменения диагностических показателей под влиянием внешних и внутренних воздействий, на базе сформировавшихся тенденций производится предсказывание значения показателей в определенный момент времени.

Для этого проводятся предварительная обработка и преобразование исходных данных с целью облегчения выбора вида тренда путем сглаживания и выравнивания временного ряда, определения функций дифференциального роста, а также формального и логического анализа особенностей процесса. Предлагается производить оценку параметров зависимостей на основе модифицированного метода экспоненциального сглаживания. Разработанный метод дает возможность получить оценку параметров тренда, характеризующих не средний уровень процесса, а тенденцию, сложившуюся к моменту последнего наблюдения.

Особый интерес в предлагаемом методе экспоненциального сглаживания играет выбор оптимального параметра сглаживания α, так как именно он определяет оценки коэффициентов модели, а, следовательно, и результаты прогноза [4-10].

В зависимости от величины параметра прогнозные оценки по-разному учитывают влияние исходного ряда наблюдений: чем больше α, тем больше вклад последних наблюдений в формирование тренда, а влияние начальных условий быстро убывает. При малом α прогнозные оценки учитывают все наблюдения, при этом уменьшение влияния более «старой» информации происходит медленно.

Блок принятия решения. В зависимости от результатов процедур диагностики и прогнозирования в данном блоке происходит выдача оператору варианта (вариантов) управляющего воздействия. Для этого применяется подход, основанный на однозначном соответствии ситуации с объектом нефтепромысла и мероприятия, которое следует применять соответствующему специалисту в зависимости от производственного регламента. В случае, если, по мнению оператора, АСОМ предоставила неверную оценку ситуации, производится коррекция итогов операций диагностики и прогнозирования с последующим переобучением нейронных сетей, ориентированных на обработку текущих данных, характеризующих функционирование ОУ.

Таким образом, предлагаемые подходы, методы и алгоритмы и автоматизированная система онлайн мониторинга, построенная на их основе, обладают следующими преимуществами:

- универсальность применения;
- высокая скорость обработки данных (за счет естественного параллелизма обработки информации в нейронных сетях);
- высокое качество распознавание данных [1];
- возможность повышения степени интеллектуализации принимаемого решения за счет наличия процедур коррекции результатов и переобучения нейросетевого "ядра" системы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №12-08-33105.

Литература

1. С.В. Кононов, С.Я. Коровин. Развитие информационных систем основного производства ОАО "Сургутнефтегаз" для задач поддержки принятия решений. “Нефтяное хозяйство”. - № 10, 2006.

2. Галуев Г.А., Коровин Я.С., Коровин С.Я., Матвеев С.Н. Комплексный подход к поддержке принятия решений для управления производственными процессами в нефтяной промышленности на основе нейрокомпьютерных и мультиагентных технологий. “Нейрокомпьютеры: разработка, применение”. – М: Радиотехника, № 3, 2006. – С.42-49.

3. Я.С. Коровин. Система поддержки принятия решений по контролю состояния УЭЦН на основе нейронной сети: архитектура, реализация, перспективы. "Нефтяное хозяйство, №1, 2007. – с. 80-85.

4. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника. // Москва, Мир, 1992.

5. Clearning (1996) Weigend, A. S., H. G. Zimmermann, and R. Neuneier. In: Neural Networks in Financial Engineering, edited by A.-P. N. Refenes, Y. Abu-Mostafa, J. Moody, and A. Weigend (Proceedings of Third International Conference on Neural Networks).

6. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks.// М.: Горячая линия–Телеком, 2000 г. с.182.

7. Бирман Э.Г. Сравнительный анализ методов прогнозирования // НТИ. Сер.2 – 1986. – №1. – С. 11–16.

8. Клеопатров Д.И., Френкель А.А. Прогнозирование экономических показателей с помощью метода простого экспоненциального сглаживания. – Статистический анализ экономических временных рядов и прогнозирование. – М.: Наука, 1973. – 298с.

9. Легостаева И.Л., Ширяев А.Н. Минимальные веса в задаче выделения тренда случайного процесса. – «Теория вероятностей и ее применение», 1971, – Т. XVI,

– №2.

10. Brown R.G. (1963) “Smoothing, Forecasting and Prediction”. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Королева Е.И.
Тольятти, ПВГУС

Рассмотрены сущность и содержание информационного потенциала промышленного предприятия, проведен анализ моделей, применяемых при формировании систем управления. Приведены характеристики и особенности процесса управления в рамках развития информационного потенциала.

Analysis model of information potential industrial enterprises, Koroleva E.I.
The essence and the content of the information potential of industrial enterprises, the analysis models used in the formation of management systems. The characteristics and features of the management process in the development of information capacity.

Эффективное функционирование промышленного предприятия возможно лишь при определенной системе управления, способной в конкретных условиях производства с учетом особенностей внешней и внутренней среды способствовать выпуску высококачественной конкурентоспособной продукции при оптимальных затратах. Для повышения эффективности управления необходима всесторонняя информация о состоянии внутренних показателей предприятия: динамики материальных, финансовых, трудовых и информационных ресурсов, обеспечивающих перспективное развитие производства, а также о состоянии внешней среды.

Развитие информационного потенциала – это возможность промышленного производства обеспечивать себя своевременной информацией, связанной с подготовкой данных, необходимых для принятия стратегических решений, с научными исследованиями и разработками, производственными потребностями, состоянием ресурсной базы. При этом, под информационным потенциалом предприятия понимается совокупность информационных ресурсов, систем информационного воздействия различного уровня и их максимальных возможностей обеспечивать процесс принятия управленческих решений своевременной, достоверной и полной информацией. Некоторые авторы [3, 4] отмечают, что информационный потенциал является частью экономического потенциала промышленного предприятия.

При формировании и использовании информационного потенциала необходимо соблюдать следующие принципы: общность и единство целей развития информационного потенциала и его элементов и подсистем, согласованность критериев эффективности развития и функционирования элементов, составляющих информационный потенциал, и потенциала промышленного предприятия в целом. Также можно отметить следующие основные системные свойства информационного потенциала: целостность, сбалансированность, гибкость, адаптивность, интегративность, управляемость, результативность, конкурентоспособность.

Ресурсы и факторы, определяющие состав информационного потенциала, способны в определенной степени замещать друг другу. Границы их взаимозаменяемости определяются реально действующими экономическими и

технологическими условиями функционирования промышленного предприятия. Взаимозаменяемость и взаимодополняемость элементов информационного потенциала заключается в интегративных качествах системы информационного потенциала. Интегральное влияние элементов информационного потенциала, их мощность и форма взаимосвязи определяют уровень развития информационного потенциала.

Таким образом, информационный потенциал является динамическим сочетанием его элементов. Уровень их замещения меняется в зависимости от степени развития экономического и производственного потенциала, от внутренних и внешних факторов развития промышленного предприятия. В этой связи определяется сбалансированность информационного потенциала, которая предполагает динамичное соотношение элементов информационного потенциала, обеспечивающее его эффективное использование и наращивание.

Но при изучении и совершенствовании информационного потенциала промышленного предприятия нельзя забывать, что он является частью комплексной системы управления промышленным предприятием в целом, а неотъемлемой частью проведения любого исследования управления сложной системой является моделирование – процесс исследования реальной системы, включающий построение модели, изучение ее свойств и перенос полученных сведений на моделируемую систему [4]. Использование количественных методов и математических моделей нашло применение в связи с появлением и широким использованием компьютеров в сфере управления и развития информационных систем.

Эффективность применения моделей зависит в первую очередь от достоверности исходных данных, ограничения в получении информации, слабого применения на практике, чрезмерно высокой стоимости.

Сложные системы характеризуются выполняемыми процессами (функциями), структурой и поведением во времени [4, 5]. Для адекватного моделирования этих аспектов различают функциональные, информационные и поведенческие модели, пересекающиеся друг с другом.

Функциональные модели относятся к классу структурных моделей. Структурное моделирование системного анализа базируется на некоторых специфических особенностях структур определенного вида, которые используются как средство исследования систем или служат для разработки на их основе специфических подходов к моделированию с применением других методов формализованного представления систем (теоретико-множественных, лингвистических, кибернетических и т. п.) [2].

При этом термин «структура модели» может применяться как к функциям, так и к элементам системы. Соответствующие структуры называются функциональными и морфологическими. Объектно-ориентированное моделирование объединяет структуры обоих типов в иерархию классов, включающих как элементы, так и функции.

Функциональная модель системы описывает совокупность выполняемых системой функций, характеризует морфологию системы (ее построение) – состав функциональных подсистем, их взаимосвязи [5].

Информационное моделирование связано с исследованием моделей, в которых отсутствует непосредственное подобие физических процессов, происходящих в моделях, реальным процессам [3, 4]. В этом случае стремятся отобразить лишь некоторую функцию, рассматривают реальный объект как «черный ящик», имеющий ряд входов и выходов, и моделируют некоторые связи между выходами и входами. Таким образом, в основе информационных (кибернетических) моделей лежит отражение некоторых информационных процессов управления, что позволяет оценить поведение реального объекта. Для построения модели в этом случае необходимо выделить исследуемую функцию реального объекта, попытаться формализовать эту функцию в виде

некоторых операторов связи между входом и выходом и воспроизвести данную функцию на имитационной модели, причем на совершенно другом математическом языке и, естественно, иной физической реализации процесса, то есть информационная модель отражает отношения между элементами системы в виде структур данных (состав и взаимосвязи).

Поведенческая (событийная) модель описывает информационные процессы (динамику функционирования), в ней фигурируют такие категории, как состояние системы, событие, переход из одного состояния в другое, условия перехода, последовательность событий.

Организационная структура управления - это целостная совокупность соединенных между собой информационными связями элементов объекта и органа управления. Она отражает строение системы управления, содержанием которой являются функции управления, вертикальное и горизонтальное соотношение уровней управления, а также количество и взаимосвязь структурных подразделений в пределах каждого уровня.

Для разработки методического аппарата проектирования структуры управления необходимо кроме имеющихся теоретических предпосылок, знать сущность организационного проектирования. Организационное проектирование - это моделирование системы управления предприятием, осуществляемое перед его строительством, либо накануне значительных преобразований.

Организационной основой системы управления является ее структура. Структура определяет состав подразделений, входящих в систему управления, их соподчиненности и взаимосвязи, форму разделения управленческих решений по уровням, а, следовательно, и само число уровней управления.

Иными словами, структура управления является той организационной формой, в рамках которой осуществляется процесс управления. Таким образом, спроектировать достаточно эффективную структуру управления – значит, определить такое соотношение ее элементов, при котором наиболее оперативно и своевременно выполняются требования объекта управления.

Широкие возможности для исследования и проектирования структуры управления в целом создает организационное моделирование. Это один из методов исследования, в основе которого лежит кибернетическая модель, позволяющая для каждого уровня управления распределить полномочия и ответственность работников, которые, в свою очередь, являются базой для построения и оценки различных вариантов организационной структуры.

Задача управления информационным потенциалом промышленного предприятия предполагает разработку и применения «инструмента управления», которым является совокупность моделей, описывающих информационные процессы поддержки деятельности предприятия. Основываясь на принципах системного подхода, который учитывает все специфические особенности промышленного предприятия, можно разрабатывать математические модели оптимального управления информационными процессами в рамках системы управления промышленного предприятия в целом.

Процесс управления в рамках развития информационного потенциала можно охарактеризовать следующими свойствами:

1. Расчлененность процесса на последовательные действия [1, 5]. Данное свойство учитывает современные требования стандартов и информационных технологий управления процессами на основе методологии структурного анализа (SADT). Процесс становится статистически управляемым, добавляется возможность количественной оценки завершенности каждого из подпроцессов. Рассматриваются процессы управления с четырех сторон, где для оценки качества функционирования

каждого из процессов используется метод структурного анализа, реализованный в средствах автоматизированного проектирования, например BPWin.

2. Зависимость результатов между этапами. Результаты каждого предыдущего этапа процесса управления непосредственно или косвенно влияют на результаты последующего этапа или на качество принимаемых управленческих решений.

3. Относительное отсутствие последействия. Если есть вероятность связи результатов каждого последующего этапа управления информационным потенциалом только от предыдущего, тогда весь процесс будет обладать отсутствием последействия и может быть представлен в виде марковской цепи. На любом этапе управления руководство предприятия может осуществлять влияние на состояние системы и переходные вероятности.

Необходимо учитывать, что промышленное предприятие – это большая система управления, она является динамической, а ее состояние определяется достаточно большим количеством показателей, поэтому процесс управления информационным потенциалом должен быть частью комплексной системы управления промышленным предприятием в целом, иначе результаты моделирования не будут достоверными и адекватными реальному объекту.

Литература

1.Анфилатов В. С. Системный анализ в управлении [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин. - М. : Финансы и статистика, 2002. - 368 с.

2.Вдовин В. М. Теория систем и системный анализ [Текст] : Учебник / В. М. Вдовин, Л. Е. Суркова, В. А. Валентинов. – М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2010. – 640 с.

3.Осипов К. А. Информационные аспекты повышения качества управления на промышленных предприятиях [Текст] / К.А. Осипов // Проблемы совершенствования организации производства и управления промышленными предприятиями: межвуз. сб. науч. тр. - Вып. 1. - Ч. 2. - Самара: Изд-во Самар. гос. экон. ун-та, 2008.

4.Проблемы моделирования систем управления и разработки информационных технологий в промышленности, науке и образовании: Монография / Под ред. О. М. Горелик [Текст]. – Спб.: Изд-во «Инфо-да», 2009. – 524 с.

5.Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник [Текст] : Учеб.пособие для вузов / Под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – М. : Высш.шк., 2004. – 616 с.: ил.

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ

Косенко О.В
Таганрог, ЮФУ

Рассмотрен метод решения распределительных (транспортных) задач при условии задания параметров задач в виде нечетких интервалов. Данный подход позволяет получать достоверные результаты в том случае, когда значения параметров задачи могут быть, как гарантировано заданными, так и могут существовать допуски на изменения параметров.

Aspects of the theory of opportunities in transportation problem. Kosenko O.

The method of distribution solutions (transport) problems under condition set task parameters as fuzzy intervals. This approach allows to obtain reliable results in the case when the parameters of the problem may be, as is guaranteed to be given, and there may be allowances for changing parameters.

Решение транспортных задач в современных условиях с позиций системного подхода представляет собой сложную систему, состоящую из взаимосвязанных в едином процессе транспортного логистического обслуживания, региональных, материальных и людских потоков.

Для обеспечения синхронизации работы транспорта и производства в хозяйственной деятельности компаний и фирм зачастую используется логистическая система "точно в срок", что не всегда применимо к действительности. В последние годы заметно выросли масштабы и сферы применения эвристических методов для решения различных задач в области проектирования, прогнозирования и управления. Эвристические методы в высшей степени полезны в условиях применения интерактивных систем, когда за человеком, принимающим решение, остается последнее слово по выработке. Особое место занимает теория возможностей, которая является важным разделом современной теории принятия решений.

Элементы теории возможностей могут успешно применяться для принятия решений в условиях неопределенности. Основатель теории Л. Заде еще в 1965 г. предрекал широкое прикладное значение данного направления, написав по этому поводу следующее: "Фактически нечеткость может быть ключом к пониманию способности человека справляться с задачами, которые слишком сложны для решения на ЭВМ" [1].

Методы нечетких множеств применяют, как правило, в условиях ярко выраженной неопределенности, когда не представляется возможным использовать классические, в том числе вероятностные, модели для описания процессов и явлений. Имеется класс неопределенностей, которые характеризуются нечеткостью целей и ограничений. Такого рода неопределенности называются лингвистическими. В задачах управления или проектирования с помощью теории нечетких множеств, которые характеризуются лингвистическими переменными, такими, как "высокий", "низкий", "не очень высокий", "хорошо", "неудовлетворительно" и т.д., принимаемые решения во многом зависят от субъективных оценок. Поэтому принимающий решение должен иметь сведения о переменных (их свойствах, характеристиках), объективно оценивать стоимостную (в широком смысле) структуру этих переменных и уметь пользоваться решающими правилами. Тогда с помощью набора лингвистических переменных можно получить ответы с достаточной степенью достоверности. Решение при нечетких целях и ограничениях также представляет расплывчатое множество и может рассматриваться как нечетко сформулированная инструкция [2].

Рассмотрим метод решения распределительных (транспортных) задач при условии задания параметров задач в виде нечетких интервалов. Данный подход позволяет получать достоверные результаты в том случае, когда невозможно гарантированно четко указать, сколько транспортных средств будет участвовать в перевозках, какое количество продукции находится в распоряжении *i*-го предприятия, чему равна стоимость перевозки единицы объема продукта и прочее. То есть значения параметров задачи могут быть, как гарантировано заданными, так и могут существовать допуски на изменения параметров [3].

Для трипланарной транспортной задачи параметрами являются a_i, - количество продукции, находящейся в распоряжении *i*-го предприятия, b_j – количество продукции, необходимое *j*–му потребителю, d_k, – количество продукции, которое может

быть перевезено всеми единицами транспорта *k*–го типа, c_{ijk}, - стоимость транспортировки единицы продукта от *i*-го предприятия к *j*–му потребителю транспортным средством *k*–го типа.

Для триаксиальной транспортной задачи параметрами задачи являются c_{ijk} - стоимость перевозки единицы объема продукта *k* из центра производства *i* в центр потребления *j*, a_{ij} - общее количество продукции, поставляемой *i*-м центром производства *j*-му потребителю, b_{jk} - количество продукта *k*, необходимое центру потребления *j* и $d_{i\mathbf{k}}$ - количество продукта *k*, выпускаемого центром производства *i* [4].

Информация обо всех перечисленных параметрах может быть недостаточной (неточной) по многим причинам, прежде всего из-за наличия человеческих факторов и производственных факторов, определяющих стохастический характер этих параметров, т.е. перечисленные выше параметры следует рассматривать как случайные события.

Предположим, что параметр P_i задается на универсуме Ω_p. Оценку случайного параметра P_i целесообразно осуществлять экспертным путем, т.к. для применения методов математической статистики необходимо вначале получить достаточный объем статистических данных, но практика, как правило, не предоставляет для этого времени.

Более приемлемым и эффективным является подход, при котором эксперт каждому событию P_i ставит в соответствие действительное число $q(P_i)$ (функции), которое характеризует степень уверенности эксперта в том, что $q(P_i) \subset \Omega_p$.

Для трипланарной транспортной задачи параметры определим в следующем виде:

- количество продукции, находящейся в распоряжении *i*-го предприятия $\tilde{a}_i \ i \in I$ - нечеткое множество, определенное на множестве действительных чисел Ω_a в виде отображения μ_{a_i} из Ω_a в отрезок [0,1];

- количество продукции, необходимое *j*–му потребителю $\tilde{b}_j$, $j \in J$ – нечеткое множество, определенное на множестве действительных чисел Ω_b в виде отображения μ_{b_j} из Ω_b в отрезок [0,1];

- количество продукции, которое может быть перевезено всеми единицами транспорта *k*–го типа $\tilde{d}_k$, $k \in K$ – нечеткое множество, определенное на множестве действительных чисел Ω_d в виде отображения μ_{d_k} из Ω_d в отрезок [0,1];

- стоимость транспортировки единицы продукта от *i*-го предприятия к *j*–му потребителю транспортным средством *k*–го типа $\tilde{c}_{ijk}$, $i \in I$, $j \in J$, $k \in K$ - нечеткое множество, определенное на множестве действительных чисел Ω_c в виде отображения $\mu_{c_{ijk}}$ из Ω_c в отрезок [0,1].

Тогда множество нечетких величин $\{\tilde{c}_{ijk}\}$, $i \in I$, $j \in J$, $k \in K$ будем называть трехиндексной матрицей нечетких величин размера $m \times n \times p$, а при решении задачи будет определяться множество нечетких величин $\{\tilde{x}_{ijk}\}$ – нечеткое множество количества продукции, планируемое для перевозки от *i*-го предприятия к *j*–му потребителю транспортным средством *k*–го типа.

Для триаксиальной транспортной задачи параметры определим в следующем виде:

- количество продукции, поставляемой *i*-м производителем *j*-му потребителю $\tilde{a}_{ij}$ - нечеткое множество, определенное на множестве действительных чисел Ω_a в виде отображения $\mu_{a_{ij}}$ из Ω_a в отрезок [0,1];

- количество продукта *k*, необходимое потребителю *j* - $\tilde{b}_{jk}$ – нечеткое множество, определенное на множестве действительных чисел Ω_b в виде отображения $\mu_{b_{jk}}$ из Ω_b в отрезок [0,1];

- количество продукта **k**, выпускаемого производителем *i* - $\tilde{d}_{ik}$ – нечеткое множество, определенное на множестве действительных чисел Ω_d в виде отображения $\mu_{d_{ik}}$ из Ω_d в отрезок [0,1];

- стоимость перевозки единицы объема продукта *k* от производителя *i* к потребителю *j* будет определена также нечетким множествам $\tilde{c}_{ijk}$, как и для трипланарной транспортной задачи.

В результате решения задачи следует отыскать нечеткое множество $\tilde{X}^* = \{\tilde{x}^*_{ijk}\}$, обеспечивающее нечеткий минимум целевой функции.

При подобном представлении параметров распределительных задач функции принадлежности μ_{a_i}, $\mu_{a_{ij}}$, μ_{b_j}, $\mu_{b_{jk}}$, μ_{d_k}, $\mu_{d_{ik}}$, $\mu_{c_{ijk}}$ рассматриваются как функции распределения возможностей на значениях, принимаемых соответствующими переменными $\Omega_a \in \{Q_{amin}, Q_{amax}\}$, $\Omega_b \in \{Q_{bmin}, Q_{bmax}\}$, $\Omega_d \in \{Q_{dmin}, Q_{dmax}\}$, $\Omega_c \in \{Q_{cmin}, Q_{cmax}\}$ на заданных множествах из измерения [5]**.**

Таким образом, для трипланарной и триаксиальной транспортной задачи задание параметров целесообразно осуществлять в общем случае в виде нечетких интервалов.

Известно определение [1], что нечеткий интервал – это выпуклая нечеткая величина *A*, функция принадлежности которой квазивогнута, так что выполняется условие:

$$\forall u,v,\ \forall w \in [u,v],\ \mu_A(w) \geq \min(\mu_A(u), \mu_A(v)),\ u,v,w \in X.$$

Параметры трипланарной и триаксиальной транспортной задачи могут быть заданы также в виде нечеткого числа, которое является частным случаем нечеткого интервала. Известно [3], что нечетким числом называют полунепрерывный сверху нечеткий интервал с компактным носителем и единственным модальным значением.

При подобном подходе к заданию параметров трипланарной и триаксиальной транспортной задачи устраняется неопределенность, связанная с тем, что статистическими методами невозможно точно определить параметры из-за ограниченной выборки. Невозможно получить достоверную информацию о количестве продукции, числе транспортных средств, стоимости транспортировки. Если строго фиксировать границы интервальных оценок, то существует неопределенность, т.к. границы могут быть или завышенными или заниженными, что вызовет сомнение в результатах расчетов.

Задание параметров задачи в виде нечеткого интервала будет одновременно и завышенным и заниженным, а носитель (базовое множество) нечеткого интервала будет выбран так, что ядро содержит наиболее правдоподобные значения, и будет гарантировано нахождение рассматриваемого параметра в требуемых пределах.

Рассмотрим варианты заданий нечетких интервалов для решения распределительных задач в условиях неопределенности.

Нечеткий интервал задают на множестве *X* четверкой параметров $M=(\underline{m},\overline{m},\alpha,\beta)$, где $\underline{m}$ - нижнее и верхнее модальное значение, а $\overline{m}$ - верхнее модальное значение нечеткого интервала. Коэффициенты α и β представляют собой левый и правый коэффициент нечеткости и задаются также экспертами [6].

Задание нечеткого интервала может быть осуществлено следующими способами.

Если нижнее и верхнее модальное значение интервала совпадают, коэффициенты α и β равны нулю, а значение Q_i-го множества $\boldsymbol{q_i}$ определяется с неопределенностью равной нулю, то для задания нечеткой входной переменной $\tilde{Q}_i$ на Q_i-м множестве будет применен нечеткий интервал $\tilde{Q}_i$ **=(q_{imin}=q_i, q_{imax}=q_i,0,0),** где q_{imin} - нижнее модальное значение $\underline{m}$, а q_{imax} - верхнее модальное значение $\overline{m}$.

В результате получено задание в виде четкого числа *i*–ой входной q_i переменной на множестве ее значений Q_i, т.е. четкое число является частным случаем нечеткого интервала, причем**,** μ_{qi} - значение степени принадлежности интервалу.

Если коэффициент α равен нулю, а нижнее модальное значение $\underline{m}$ и верхнее модальные значения $\overline{m}$ совпадают, то нечеткий интервал определен, как $\tilde{Q}_i$ =(q_{imin}, q_{imax}=q_{imin},0,β).

Четкий интервал является частным случаем нечеткого интервала, если коэффициенты α и β равны нулю. Нечеткий интервал для задания нечеткой входной переменной $\tilde{Q}_i$ на Q_i-м множестве будет иметь вид: $\tilde{Q}_i$ =(A=q_{imin}, B=q_{imax}, 0, 0), где A – нижнее модальное значение (минимально возможное значение входной переменной q_i), B – верхнее модальное значение (максимально – возможное значение входной переменной q_i. Если коэффициент α равен нулю, A – нижнее модальное значение равно q_{imin}, а B – верхнее модальное значение равно q_{imax}, то формально нечеткий интервал определен в виде $\tilde{Q}_i$ =(A=q_{imin}, B=q_{imax}, 0, β).

Если коэффициент β равен нулю, A – нижнее модальное значение равно q_{imin}, а B – верхнее модальное значение равно q_{imax}, то формально нечеткий интервал определен в виде $\tilde{Q}_i$ =(A=q_{imin}, B=q_{imax}, α, 0).

Таким образом, задание параметров трипланарной и триаксиальной транспортной задачи в виде нечетких интервалов является более общим способом формализации этих параметров, позволяющим учитывать существующую априорную неопределенность.

Литература

1. Заде Л. Понятие лингвистических переменных и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. - 165 с.

2. Транспортная логистика
http://www.cfin.ru/books/examen/descr_transport_log.shtml

3. Дюбуа Д., Прад. А. Теория возможностей: Пер. с французского В.Б.Тарасова /Под редакцией С.А.Орловского - М.: Радио и Связь, 1990. – 288 с.

4.Косенко О.В. Распределение последовательности подзадач при календарном планировании производства. Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический

выпуск. «Методы и средства адаптивного управления в электроэнергетике». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. № 2 (127) – 258 с., С. 236-231

5. Борисова Е.А., Финаев В.И. Триаксиальная распределительная задача с нечеткими параметрами//Материалы международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы, «Интеллектуальные САПР». – М.: Физматлит, 2006. С. 219-225

6. Косенко Е.Ю., Пушнин А.В. Применение теории нечетких множеств для описания различных видов неопределенности при моделировании объектов энергетических систем. Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Актуальные проблемы производства и потребления электроэнергии». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. №11(7).

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕМКОСТНОГО ДЕЛИТЕЛЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Нефедьев А.И.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрены схема и конструктивные особенности емкостного делителя высокого напряжения. Показана возможность использования емкостного делителя в составе средства поверки высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения и проведено моделирование делителя напряжения в программе NI Multisim 12.

Design and simulation of high voltage capacitor divider. Nefed'ev A.I.

The scheme and design features of a high voltage capacitor divider are considered. Possibility of use of a capacitor divider as a part of high-voltage measuring unit of transformers and simulation of a capacitor divider in NI Multisim 12 is shown.

Повышение точности измерения высокого переменного напряжения в настоящее время является одной из актуальных проблем, что обусловлено ростом потребления электроэнергии, экономией энергоресурсов и повышением точности измерений энергетических величин. Вследствие этого, существуют постоянные требования к повышению точности средств измерения напряжения, в том числе предназначенных для измерения высокого переменного напряжения [1]. Несмотря на то, что проблема повышения точности измерения энергетических величин в низковольтной электроэнергетике во многом решена, в области измерения высоких напряжений она остается актуальной и в настоящее время [2, 3].

Точность коэффициента преобразования высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения в значительной степени определяет точность коммерческого учета электроэнергии. Для поверки измерительных трансформаторов напряжения был разработан высоковольтный емкостный делитель напряжения (ЕДН), схема которого приведена на рис. 1. ЕДН является составной частью передвижной установки УПТН-2, предназначенной для поверки измерительных трансформаторов напряжения классов напряжения 35-110-220 кВ с погрешностью 0,05% [4,5].

Коэффициент деления ЕДН ($К_{ЕДН}$) равен отношению суммы реактивных сопротивлений емкостей всех конденсаторов, входящих в состав ЕДН, к реактивному сопротивлению емкости выходного конденсатора ЕДН:

$$K_{\text{ЕДН}} = \frac{\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} + ... + \frac{1}{\omega C_n}}{\frac{1}{\omega C_1}} = \frac{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_n}}{\frac{1}{C_1}}.$$

ЕДН содержит измерительную и две эквипотенциальных цепи. Измерительная цепь и эквипотенциальные цепи состоят из *n* номинально равных и последовательно соединенных газонаполненных конденсаторов, имеющих весьма малые потери и зависимость емкости от приложенного напряжения. Каждый из конденсаторов измерительной цепи помещен в двойные металлические экраны цилиндрической формы, электрически соединенные с выводами конденсатора.

Конструктивно ЕДН выполнен в виде колонны, где конденсаторы измерительной и эквипотенциальной цепей размещены по ее окружности в виде винтовой линии. Высоковольтный и низковольтный выводы ЕДН выполнены некоронирующими и изолированными.

Конденсаторы измерительной цепи ЕДН с системой экранов соединены между собой через коаксиальные разъемы, что обеспечивает возможность проведения независимой калибровки ЕДН. Трехзажимные конденсаторы первой эквипотенциальной цепи выполнены с одинарным экранированием, и подключены к внешним экранам конденсаторов измерительной цепи посредством разъемов $S_{21}…S_{2n}$ и $S_{31}…S_{3n}$. Защитный потенциал электродов каждой ступени измерительной цепи делителя определяется потенциалом первой эквипотенциальной цепи.

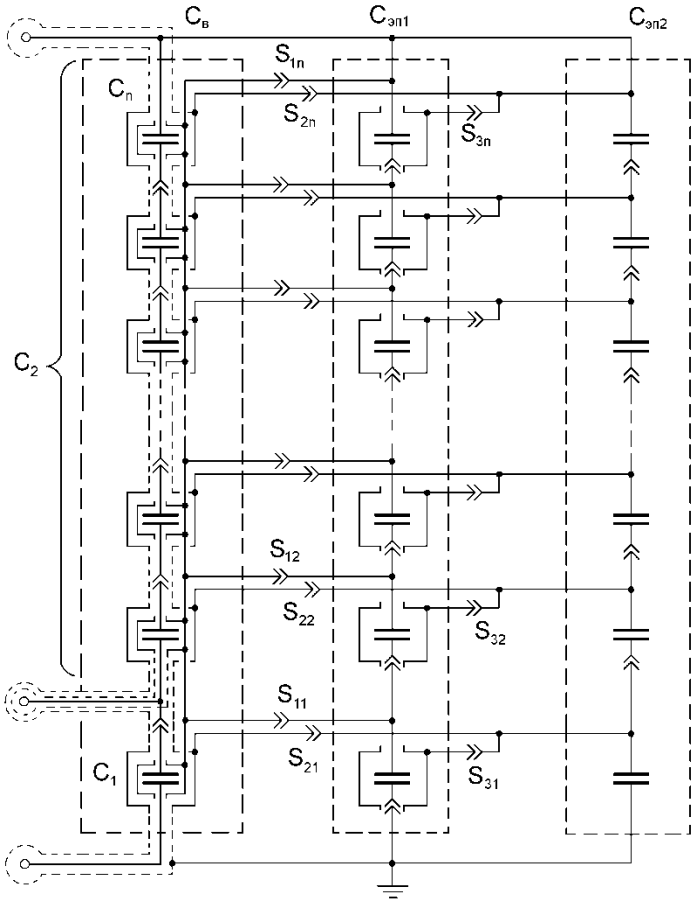


Рис. 1. Принципиальная схема составного емкостного делителя высокого напряжения

Постоянство коэффициента деления ЕДН в широком диапазоне измеряемых напряжений существенно зависит от стабильности емкости конденсаторов, составляющих измерительную цепь C_B ЕДН.

Для построения ЕДН были использованы газонаполненные конденсаторы типа ФГТ-И, которые не изменяют свою емкость в диапазоне напряжений 100 - 400В. В результате экспериментального исследования было обнаружено, что при изменении напряжения на конденсаторах в указанном диапазоне, изменение емкости конденсаторов не превысило ±0,002%.

Было проведено моделирование ЕДН в программе NI Multisim 12. Моделирование показало, что при вариации емкости конденсаторов делителя в пределах ±0,002% может быть получена погрешность 0,05% по напряжению и 1,0 минута по угловой погрешности.

С использованием газонаполненных конденсаторов был построен ЕДН на напряжения до $220/\sqrt{3}$ кВ, и был использован в составе мобильной установки для поверки высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения УПТН-2. Это позволило снизить общие затраты на поверку, и позволяет проводить поверку трансформаторов напряжения при рабочем напряжении на месте их эксплуатации.

Литература

1. Hickey J. Survey indentifies key trends in measurement systems / Instrumentation and Control Systems. –1998, November, pp.155-158.

2. Загорский Я.Т. Метрологическое обеспечение измерений для учета электроэнергии – насущная или ничтожная проблема? / Я.Т. Загорский //Новости Электротехники. – 2003. – № 3. – С. 38-41.

3. Минц В. О необходимости организации периодической поверки измерительных трансформаторов / В. Минц, Г. Алексеев // Энергосбережение в Поволжье, 2001, №1.

4. Патент РФ на полезную модель №7209, МПК G01R 35/02. Устройство для поверки высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения / А.И. Нефедьев. - № 97108037/20, заявлено 21.05.1997, опубл. 16.07.1998.

5. Патент РФ №2408894, МПК G01R 35/00. Устройство для измерения погрешности составных емкостных делителей высокого напряжения / А.И. Нефедьев. - № 2009143204/28, заявлено 23.11.2009; опубл. 10.01.2011, Бюл. №1.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАРАТОРА ТОКА В СИМУЛЯТОРЕ LTSPICE IV

Нефедьев А.И.

Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрены схема и конструкция магнитного компаратора переменного тока. Показана возможность использования магнитного компаратора тока в составе средства поверки высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения и проведено моделирование компаратора тока в программе LTSpice IV.

Experimental investigation and simulation of current comparator in LTSPICE IV. Nefed'ev A.I.

The scheme and construction of an alternating current magnetic comparator are considered. Possibility of use of a magnetic current comparator as a part of high-voltage measuring unit of transformers and simulation in LTSpice IV is shown.

Одной из актуальных проблем в энергетике является повышение точности измерения переменного напряжения и других энергетических величин. Точность измерительных установок напрямую определяет точность коммерческого учета электроэнергии.

В основе установок для измерения переменного напряжения часто используется высоковольтный емкостной делитель напряжения и трансформаторный измерительный мост, содержащий магнитный компаратор тока [1, 2]. Также была разработано устройство для поверки высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения [3], позволяющее проводить независимую поверку.

Для повышения точности трансформаторных измерительных мостов были разработаны магнитные компараторы тока [4, 5], схема которых приведена на рис. 1.

Компаратор тока представляет собой тороидальный магнитопровод из пермаллоя, на котором равномерно распределены обмотки с тесной индуктивной связью.

Основной проблемой, препятствующей повышению чувствительности компаратора тока является снижение крутизны кривой намагничивания материала магнитопровода в районе нуля характеристики.

Для уменьшения нелинейности кривой намагничивания материала магнитопровода компаратора тока в него введена дополнительная обмотка подмагничивания, по которой протекает ток высокой частоты, что приводит к повышению точности компарирования тока.

Компаратор тока содержит магнитопровод 1 из материала с высокой магнитной проницаемостью, обмотку 2 первого плеча компаратора тока, обмотки 3, 4, 5, 6, 7, 8 второго плеча компаратора тока, при этом обмотки 3 и 6 содержат в 10 раз больше витков, чем обмотки 4 и 7, а обмотки 4 и 7 - в 10 раз больше витков, чем обмотки 5 и 8. Компаратор также содержит индикаторную обмотку 9, нулевой индикатор 10, фильтр 11, обмотку подмагничивания 12, с подключенным к ней генератором переменного тока 13, переключатели 14 - 19, 21 и делитель тока 20.

Компаратор тока работает следующим образом. Ток I_1 , протекая по обмотке 2, создает магнитный поток в магнитопроводе 1 компаратора тока. Ток I_2, проходя по обмоткам 3, 4, 5, и ток $I_2/1000$, проходя по обмоткам 6, 7, 8, создают магнитный поток, направленный навстречу магнитному потоку, созданному током I_1. Суммарный магнитный поток от токов I_1 и I_2 будет равен нулю при условии равенства магнитодвижущих сил, создаваемых этими токами:

$$I_1\omega_2 = I_2\omega_3 + I_2\omega_4 + I_2\omega_5 + I_2\omega_6/1000 + I_2\omega_7/1000 + I_2\omega_8/1000,$$

где $I_2/1000$ - ток, протекающий во вторичной обмотке делителя тока 20,

ω_2 , ω_3 , ω_4 , ω_5 , ω_6 , ω_7 , ω_8 - числа витков обмотки 2, обмотки 3, обмотки 4, обмотки 5, обмотки 6, обмотки 7 и обмотки 8 соответственно.

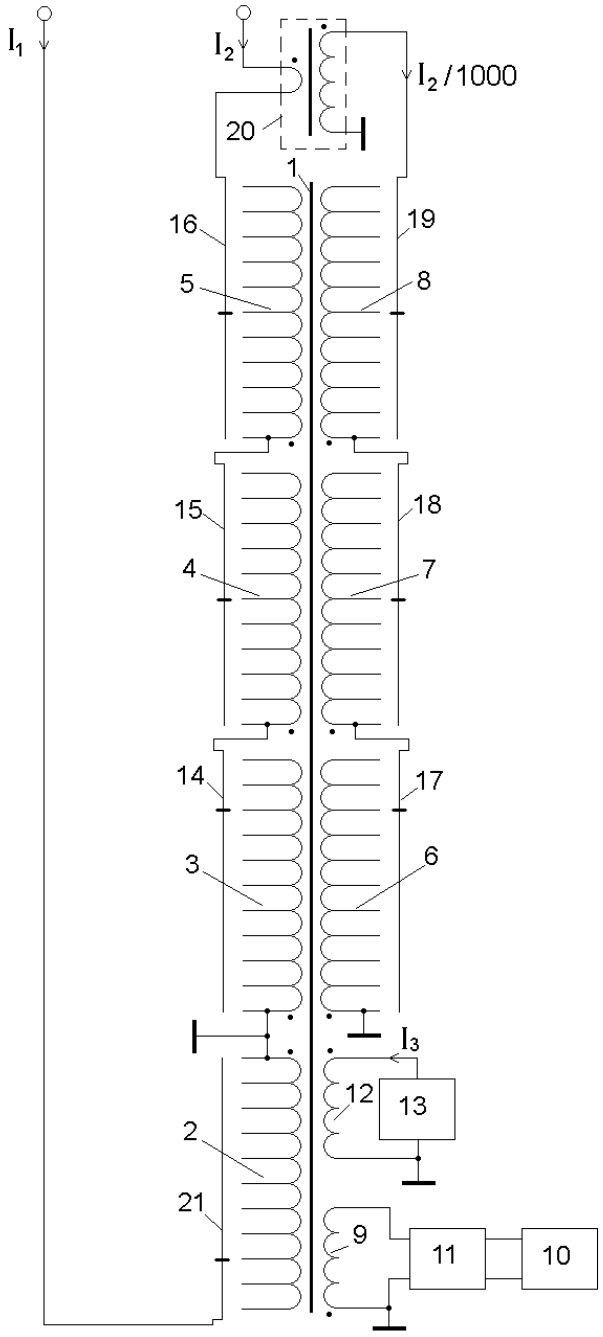


Рис.1. Схема магнитных компараторов

Поскольку в момент равенства токов I_1 и I_2 их суммарный магнитный поток равен нулю, то для точного определения этого момента необходимо иметь как можно большую крутизну основной кривой намагничивания материала магнитопровода 1 компаратора тока в районе нуля характеристики.

Ток I_3, протекающий в обмотке подмагничивания 9 от генератора переменного тока 13, создает в магнитопроводе 1 магнитный поток высокой частоты. Частота тока I_3 должна превышать частоту компарируемых токов I_1 и I_2 в 10 или более раз. При этом в магнитопроводе компаратора тока 1 постоянно присутствует высокочастотный нескомпенсированный магнитный поток, создаваемый током I_3, что приводит к выпрямлению начального участка характеристики магнитного материала сердечника 1. Нулевой индикатор 10, подключенный к индикаторной обмотке 9 через фильтр 11,

реагирует только на напряжение с частотой токов I_1 и I_2 , и не реагирует на напряжение с частотой тока I_3 .

Экспериментальное исследование и моделирование работы компаратора тока в устройстве для поверки высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения при помощи симулятора LTSpice IV показало, что при протекании тока высокой частоты по дополнительной обмотке чувствительность компаратора увеличивается в 2,2 раза относительно исходного варианта.

Таким образом, предложенное техническое решение обеспечивает повышение чувствительности компаратора тока, что обеспечивает повышение точности коммерческого учета электроэнергии.

Литература

1. Трансформаторные измерительные мосты / Под ред. К.Б. Карандеева. - М.: Энергия, 1970. - С.129-131/

2. Патент РФ на полезную модель №7209, МПК G01R 35/02. Устройство для поверки высоковольтных измерительных трансформаторов напряжения / А.И. Нефедьев. - № 97108037/20, заявлено 21.05.1997, опубл. 16.07.1998.

3. Нефедьев А.И. Независимая поверка высоковольтных составных емкостных делителей напряжения / А.И. Нефедьев // Приборы, №6, 2012. – С. 49-52.

4. Патент РФ на полезную модель №123967, МПК G01R 17/12. Компаратор тока / А.И. Нефедьев. - № 2012129447/28, заявлено 11.07.2012, опубл. 10.01.2013, Бюл. №1.

5. Патент РФ на полезную модель №123968, МПК G01R 17/12. Компаратор тока / А.И. Нефедьев. - № 2012129454/28, заявлено 11.07.2012, опубл. 10.01.2013, Бюл. №1.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЙ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС ХОНИНГОВАНИЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ

Полянчиков Ю. Н., Полянчикова М. Ю.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Приведены результаты исследования возможности управления режимами резания при хонинговании. Представлена циклограмма изменения скорости вращения инструмента при хонинговании

Restoration of engine’s cylinders sleeves form by honing with variable speed of cutting. Polyanchikov Yu. N., Polyanchikova M. Yu.

The results of research management capabilities cutting conditions for honing are presented in the article. We show a diagram of tool speed change for honing.

Для повышения эффективности механической обработки при обеспечении наименьших затрат на ремонт деталей с заданными эксплуатационными свойствами в условиях современного машиностроительного производства необходимо оптимизировать процессы механической обработки. Эту проблему можно решить путём создания полностью управляемых процессов резания при технологическом, информационном, модельном, математическом и системном обеспечении [1]. В целях решения такой проблемы для процессов хонингования при восстановлении отверстий гильз цилиндров тракторных двигателей был разработан способ обработки отверстий, описанный в Патенте РФ [2]. Сущность способа заключается в том, что скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки в течение цикла

обработки одной детали остаётся постоянной, а скорость её вращения непрерывно изменяют путём её повышения в течение времени обработки в соответствии с условием: $V_{\text{ВР}} = (0{,}8 \ldots 1{,}2)V_{\text{ВП}}$.

В результате, следы обработки при каждом рабочем ходе хонинговальной головки не совпадают со следами обработки, оставшимися от предыдущего рабочего хода, а угол направления движения абразивного зерна (угол сетки) непрерывно изменяется в течение каждого рабочего хода, что приводит к увеличению интенсивности съёма обрабатываемого металла, износостойкости инструмента и снижению высоты микронеровностей на обработанной поверхности.

Для ремонтного производства с целью увеличения интенсивности ликвидации конусообразности отверстия гильз цилиндров предлагается этот способ хонингования усовершенствовать. На рис. 1 показан разрез гильзы двигателя А-41СИ-01. Гильза показана в том положении, как она установлена на хонинговальном станке при обработке.

При хонинговании с изменением скорости вращательного движения хонинговальной головки по высоте гильзы принимали цикл изменения скорости вращения, равный пяти циклам хонингования, т.е. 300 с. Скорость вращения хонинговальной головки при этом изменялась по определенной программе: при движении хонинговальной головки вверх, где в процессе эксплуатации формируется вершина конусообразности и где необходим наибольший съем при ее удалении, скорость вращения хонинговальной головки увеличивается, при ее движении вниз – скорость ее уменьшается; при следующем ходе хонинговальной головки вверх скорость ее вращения увеличивается, а при движении вниз – также уменьшается.

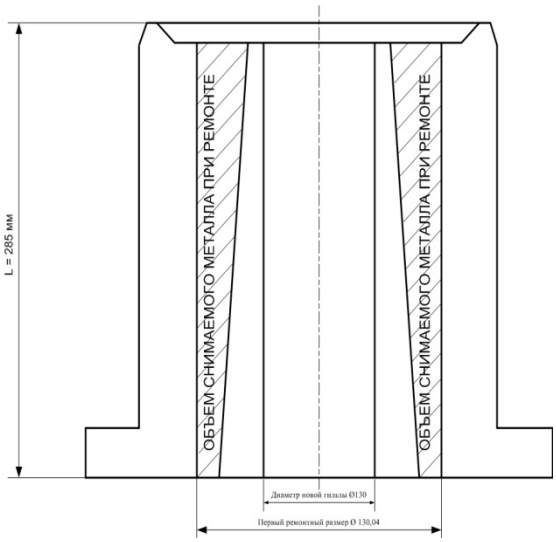


Рис.1. Разрез гильзы двигателя А – 41СИ – 01

На рис.2 представлен график изменения скорости вращения за время 300 с. (30 рабочих ходов), полученный из условия известного снимаемого объема металла. В работе к электродвигателю станка подключен программируемый логический контроллер (ПЛК), для которого составлена программа по регулированию скорости вращения хонинговальной головки.



Рис. 2. Циклограмма изменения скорости вращения ($V_{ВР}$) хонинговальной головки за 30 рабочих ходов (300с работы)

Такой график изменения скорости вращения приводит к тому, что риски-царапины, являющиеся следами прохождения режущих зерен, никогда не повторяют следы зерен от предыдущего рабочего хода. В связи с этим режущие грани абразивного зерна всегда проходят по новой траектории, и нагрузка, приходящаяся при съеме металла на одну режущую грань, меняет свою величину и направление и дает возможность другим граням и их участкам осуществлять резание. В результате, при обработке с переменной по высоте гильзы скоростью вращения хонинговальной головки удельная производительность значительно выше, по сравнению с обработкой с постоянной скоростью вращения, помимо этого такая обработка позволяет повысить износостойкость абразивного инструмента и качество обработанной поверхности.

Литература

1. Применение методов теории планирования многофакторных экспериментов в технологии машиностроения : учебное пособие / Ю. М. Зубарев [и др.]. – СПб : ПИМаш, 2000. – 132 с.

2. Пат. 2305620 Российская Федерация, МПК B 24 B 1/00 (2006. 01), B 24 B 33/02 (2006.01). Способ обработки отверстий / Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. Полянчикова, О. А. Курсин, А. А. Кожевникова. – Опубл. 10.09.2007, Бюлл. № 25.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА БЕЗ СВЯЗКИ НА ЕГО ТВЕРДОСТЬ

Полянчиков Ю. Н., Полянчикова М. Ю., Воронцова А. Н.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

В статье приведены результаты исследования влияния параметров получения абразивного инструмента без связки на его твердость, получены математические зависимости, обосновано влияние параметров

Influence of modified abrasive tool without binder receiving parameters on its hardness. Polyanchikov Yu. N., Polyanchikovf M.Yu., Vorontsova A. N.

In this article are presented research results of modified abrasive tool without binder receiving parameters on its hardness, mathematical dependences, influence of parameters is proved

На режущие способности абразивного инструмента в значительной степени влияет его твердость (естественно, кроме других его характеристик), которая назначается в зависимости от обрабатываемого материала, требований к производительности, точности и качеству обработанной поверхности. Для стандартного абразивного инструмента (шлифовальных кругов, хонинговальных и суперфинишных брусков) твердость определяется видом связки (бакелитовая, керамическая, глифталевая, металлическая и др.) и ее количеством [1].

На кафедре «Технология машиностроения» в Волгоградском государственном техническом университете получен абразивный инструмент без связки [2]. При прессовании ударной волной абразивной смеси, состоящей из зерен электрокорунда белого и карбида бора [3], происходит их дробление и соединение под действием когезионных сил. Соединение происходит по ювенильным, сформировавшимся при дроблении зерен поверхностям. Однако, когезионных сил, действующих по контактным поверхностям зерен, недостаточно, чтобы после прессования абразивное тело смогло бы стать абразивным инструментом, способным воспринимать значительные усилия резания.

Значительную прочность и твердость абразивная прессовка приобретает в результате спекания, т.е. длительной изотермической выдержке при высокой температуре.

Спекание – это кинематический процесс освобождения порошковой системы от неравновесных микродефектов. Важнейшими молекулярно-кинетическими процессами при спекании являются следующие: термически активируемые дислокационные процессы, а также поверхностная и объемная самодиффузия. При этом происходит изотермический рост зерен, который можно определить по зависимости:

$$d = k \cdot t^n, \quad (1)$$

где значения коэффициента k и показателя степени n зависят от температуры спекания, и эта зависимость определяется уравнением Аррениуса;

t – время спекания;

d – средний размер зерна.

Экспериментальные исследования, проведенные авторами, подтверждают теоретические положения теории спекания.

По результатам исследований были получены феноменологические зависимости, показывающие значительное влияние температуры (T, °С) и длительности спекания (t, час) на твердость (*HRB*) нового абразивного инструмента без связки с дополнительным дроблением.

В результате исследований, проведенных авторами, были получены экспериментальные данные, позволившие установить влияние температуры (Т) и длительности спекания (t) на твердость готового абразивного инструмента. На рис. 1 представлены кривые зависимости твердости от температуры, а на рис. 2 – от длительности спекания. На обоих рисунках кривая 1 – для зернистости F90, P100, кривая 2 – для зернистости F100, P120, кривая 3 – для зернистости F150, P180, кривая 4 – для зернистости M40.

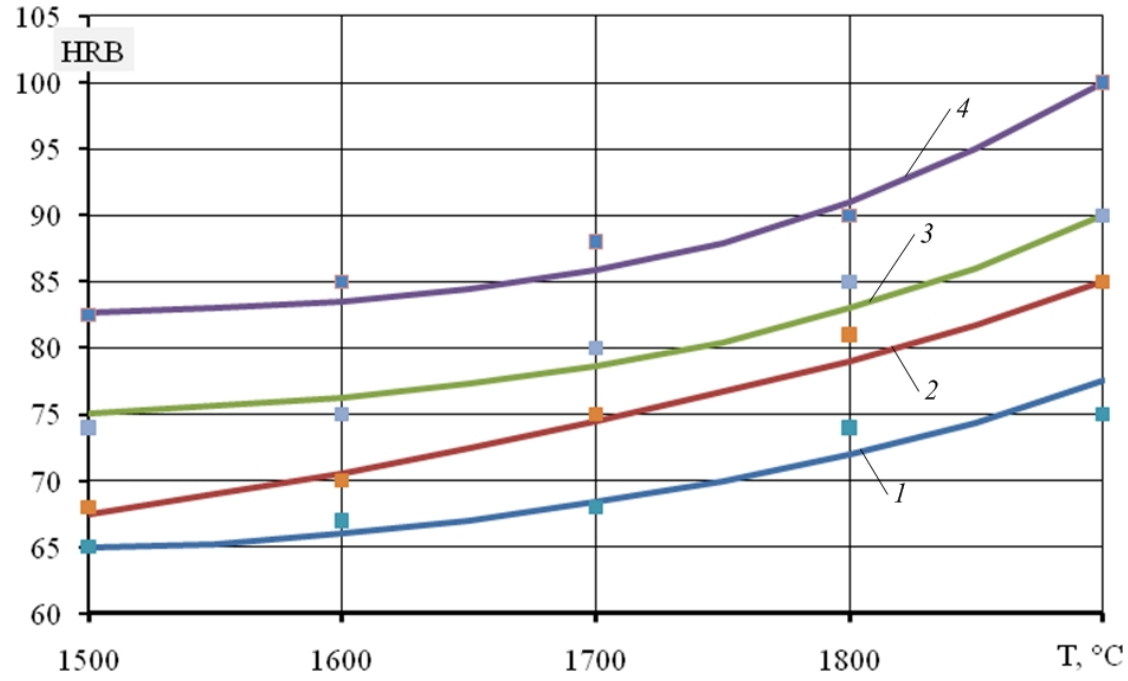


Рис. 1. Влияние температуры спекания на твердость (HRB) модифицированного однокомпонентного абразивного инструмента при различной зернистости прессовки (длительность спекания t=2 часа):

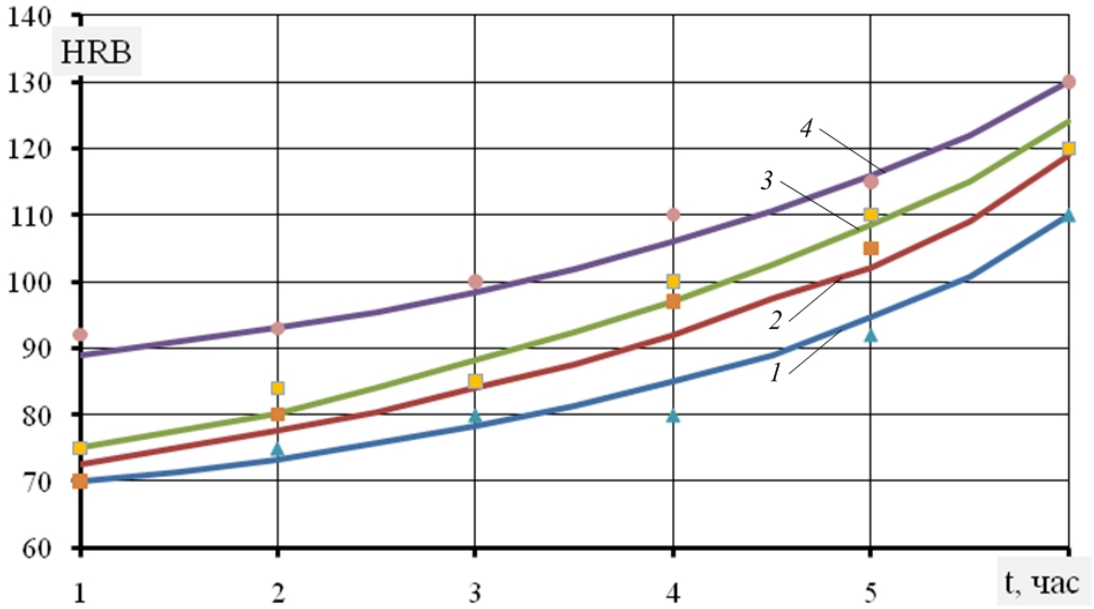


Рис. 2. Влияние длительности спекания на твердость (HRB) модифицированного однокомпонентного абразивного инструмента при различной зернистости прессовки (температура спекания T=1800°C)

Экспериментальные зависимости твердости (HRB) от температуры (T,°C) и длительности спекания (t, час.) для исследуемых зернистостей:

для зернистости F90, P100: $HRB = 0{,}92 \cdot T^{0{,}48} \cdot t^{0{,}88}$ (2)

для зернистости F100, P120: $HRB = 1{,}84 \cdot T^{0{,}4} \cdot t^{0{,}84}$ (3)

для зернистости F150, P180: $HRB = 1{,}78 \cdot T^{0{,}42} \cdot t^{0{,}81}$ (4)

для зернистости М40: $HRB = 1{,}95 \cdot T^{0{,}39} \cdot t^{0{,}96}$ (5)

Средняя ошибка между расчетными и экспериментальными значениями твердости составляет 14%.

Сравнивая значения твердости для инструментов, сформированных из зерен крупной и мелкой фракций, было установлено, что при прочих равных условиях твердость мелкозернистого абразивного инструмента в среднем на 20–35% выше твердости крупнозернистого.

Литература

1. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / В. Н. Бакуль, Ю. И. Никитин, Е. Б. Верник, В. Ф. Селех. – М. : Машиностроение, 1975. – 296 с.

2. Пат. 2293013 Российская Федерация, МПК B 24 D 18/00 (2006. 01). Способ изготовления абразивных изделий / Ю. Н. Полянчиков, М. Ю. Полянчикова, А. А. Кожевникова, А. А. Емельяненко, Н. В. Ангеловская, Д. В. Крайнев. – Опубл. 10.02.2007, Бюлл. № 4.

3. Новый однокомпонентный абразивный инструмент / Ю.Н. Полянчиков, А.Л. Плотников, А.И. Курченко, О.А. Курсин, М. Ю. Полянчикова // СТИН (Станки и инструмент). – 2008. – № 12. – С. 23.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ РЕЗАНИИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Полянчиков Ю. Н., Норченко П. А., Токарев Д. С.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассматривается проблема интенсивности износа твердосплавного инструмента при резании нержавеющих сталей с опережающим пластическим деформированием.

Prediction of the intensity of wear of the carbide-tipped tools when turning stainless steels with advancing plastic deformation. Polyanchkov Y. N. , Norchenko P. A., Tokarev D.S.

In this article we discussed the problem of the wear of carbide tools in cutting stainless steels with advanced plastic deformation.

Нержавеющие стали (аустенитного, мартенситного, ферритного и др. классов) традиционно относятся к классу труднообрабатываемых материалов. Обработка таких сталей сопряжена с низким качеством получаемых поверхностей, повышенным износом инструмента, и, как следствие, вынужденным занижением режимов резания. Однако, степень использования представленных материалов в промышленности велика, поэтому исследования закономерностей износа инструмента при резании нержавеющих сталей и разработка методов повышения их обрабатываемости являются актуальными.

Повышение эффективности процесса реализуется за счет применения способа резания с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности, совмещающего в себе два приема – поверхностное пластическое

деформирование, создающее необходимые глубину и степень наклепа, и последующий съем упрочненного металла в виде стружки.

Резание с ОПД обеспечивает улучшение условий стружкообразования путем рационального изменения физико-механических свойств материала срезаемого слоя вследствие его упрочнения до процесса срезания. При механической обработке пластичных материалов отделению материала срезаемого слоя от заготовки предшествует его интенсивное пластическое деформирование; т. е. основная доля работы резания расходуется на пластическое деформирование снимаемого металла.

В процессе резания сталей аустенитного класса безусловно преобладающим является диффузионный износ инструмента. При резании в условиях устойчивой адгезионной связи протекает взаимная диффузия инструментального и обрабатываемого материалов.

Диффузионный износ твердосплавного инструмента происходит за счет проникновения атомов железа в связующую фазу твердого сплава и ее разупрочнения. В работе [2] доказано существование однозначной связи между интенсивностью проникновения атомов железа и разностью работ выхода электронов из стали и твердого сплава. Чем выше разность работ выхода электронов из стали и твердого сплава, тем больше интенсивность проникновения атомов железа в структуру твердого сплава и, следовательно, тем выше интенсивность диффузионного износа.

Величина термоЭДС определяется как произведение разности работ выхода электронов из стали и твердого сплава на температуру резания. Таким образом, при условии постоянства свойств твердого сплава по изменению величины термоЭДС можно судить об изменении величины разности работ выхода электрона из стали и твердого сплава, принимая во внимание тот факт, что температура резания изменяется не столь существенно, чтобы влиять на количественную оценку указанной величины.

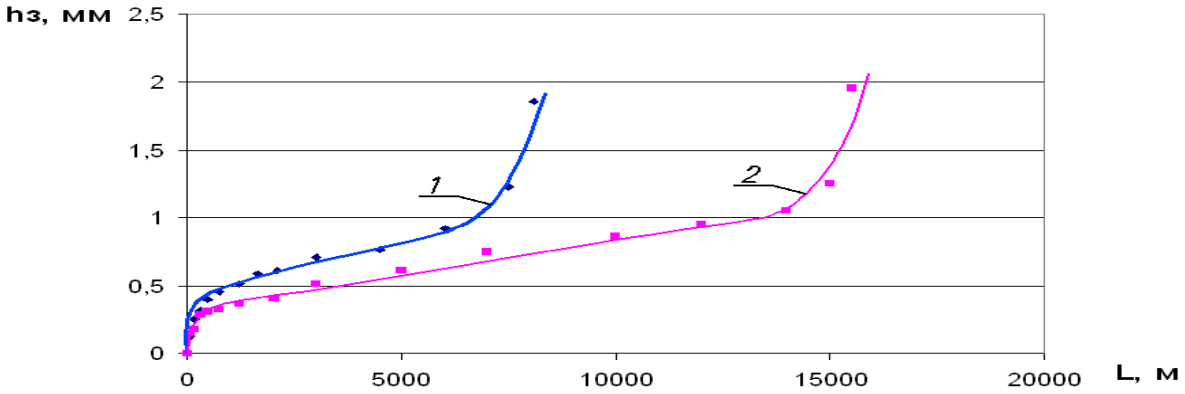
Таким образом, по величине термо-ЭДС, определяемой экспериментально, можно прогнозировать снижение интенсивности износа режущего клина инструмента.

В таблице 1 приведены данные о значениях термо-ЭДС для различных режущих материалов.

Таблица 1. – Значения термоЭДС, мВ:
(скорость резания 100м/мин; глубина резания 1мм; подача 0,128мм/об)

Материал заготовки	12Х18Н10Т		Кратность снижения термо-ЭДС в результате обработки с ОПД
Нагрузка на ролик, Н	0	2000	
Т5К10	9,0	5,3	1,7
ВК6	14,1	10,4	1,3
ТН20	4,9	2,4	2,0

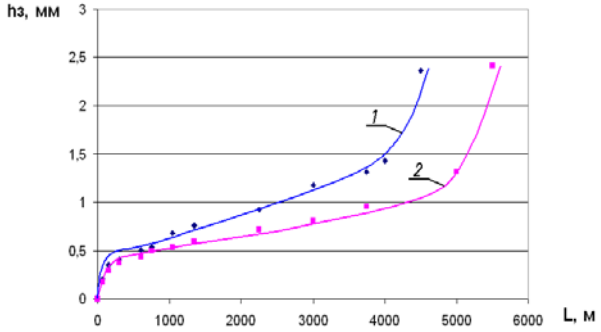
Следует ожидать большего эффекта снижения износа в тех случаях, когда кратность снижения термо-ЭДС выше. На рисунках 1-3 приведены графики размерного износа для различных режущих материалов.



1 – без предварительного деформирования; 2 – после деформирования под нагрузкой 2000Н

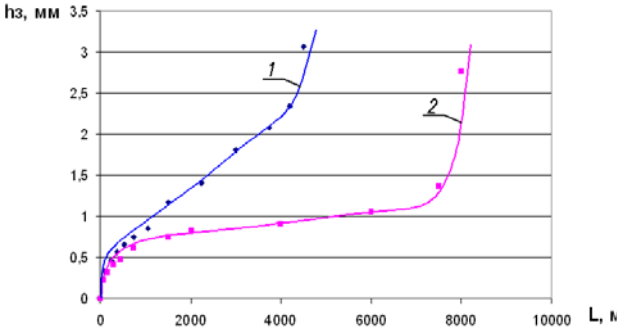
Рисунок 1 – Зависимость величины фаски износа по задней грани от пути резания (сталь 12Х18Н10Т, резец Т5К10, скорость резания 150м/мин; глубина резания 1мм; подача 0,128мм/об)

Очевидно, что выдвинутое предположение подтвердилось. Определим относительное увеличение периода стойкости инструмента по приведенным графикам: для резца Т5К10 – в 1,9 раза; для резца ВК6 – в 1,3 раза; для резца ТН20 – в 1,9 раза.



1 – без предварительного деформирования; 2 – после деформирования под нагрузкой 2000Н

Рисунок 2 – Зависимость величины фаски износа по задней грани от пути резания (сталь 12Х18Н10Т, резец ВК6, скорость резания 150м/мин; глубина резания 1мм; подача 0,128мм/об)



1 – без предварительного деформирования; 2 – после деформирования под нагрузкой 2000Н

Рисунок 3 – Зависимость величины фаски износа по задней грани от пути резания (сталь 12Х18Н10Т, резец ТН20, скорость резания 150м/мин; глубина резания 1мм; подача 0,128мм/об)

Таким образом, есть основание констатировать устойчивую количественную связь между величиной термо-ЭДС и интенсивностью износа. Данный факт служит основой для перспективного построения математической модели интенсивности износа твердосплавного инструмента при резании нержавеющих сталей с опережающим пластическим деформированием.

Литература

1. Полянчиков Ю.Н. Совершенствование получистового и чистового точения нержавеющих и жаропрочных сталей путем использования опеежающего

пластического дефомирования / Ю.Н. Полянчиков, Д.В. Крайнев, П.А. Норченко, А.Р. Ингеманссон; Науч. ред. А.П. Бабичев; ВолгГТУ – Тольятти: ЗАО «ОНИКС», 2012 – 155 с.

2. Плотников, А. Л. Управление режимами резания на токарных станках с ЧПУ: монография / А. Л. Плотников, А. О. Таубе; ВолгГТУ. – Волгоград: РПК “Политехник”, 2003. – 180 с.

УЛУЧШЕНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛЕЙ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Полянчиков Ю. Н., Крайнев Д. В., Ингеманссон А. Р., Бондарев А. А, Нгуенг Тхань Хунг

Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрена возможность улучшения качества обработанной поверхности при применении способа опережающего пластического деформирования при точении сталей аустенитного, ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов.

Improvement of microgeometry of the processed surface when turning by stalya with advancing plastic deformation. Polyanchikov Y. N., Krainev D. V., Ingemansson A. R., Bondarev A. A., Nguyen Thanh Hung

Possibility of improvement of quality of the processed surface is considered at application of a way of advancing plastic deformation when turning austenitic, ferritic, martensitno-ferritic and martensitic steel.

Как уже давно установлено, качество обработанной поверхности и в том числе ее шероховатость определяет эксплуатационные свойства деталей машин. Соответственно вопросы управления качеством выпускаемых изделий является одним из приоритетных.

Однако под управлением подразумевается не только планирование и прогнозирование качества обработки поверхностей, но и его, качества, повышения. Так как данная проблематика является достаточно обширной, то остановимся в данной статье на вопросе улучшения микрогеометрии обработанной поверхности.

Шероховатость поверхности зависит от множества факторов, среди которых выделяют: причины, связанные с геометрией процесса резания; пластической и упругой деформациями обрабатываемого материала и возникновением вибраций режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

С технологической точки зрения режущие возможности инструмента, возможности металлорежущего оборудования имеют вполне объяснимые ограничений и пределы своей эффективности на данном уровне развития. Для дальнейшего повышения эффективности процессов механической обработки необходимо изменить свойства обрабатываемого материала. Это позволит найти дополнительные ресурсы по управлению качеством продукции. Подобная идея не нова, и уже существует ряд методов повышения обрабатываемости сталей и сплавов.

Одним из способов повышения эффективности процесса обработки коррозионно-стойких сталей является способ резания с опережающим пластическим деформированием (ОПД) по обрабатываемой поверхности, который совмещает в себе два приема – поверхностное пластическое деформирование, создающее необходимые

глубину и степень наклепа, и последующий съем предварительно деформированного металла в виде стружки. Применение ОПД обеспечивает комплексное повышение эффективности процесса точения.

Исследования влияния ОПД на микрогеометрию обработанной поверхности проводились для продольного точения на получистовых и чистовых режимах в широком диапазоне скоростей резания. В качестве обрабатываемого материала использовался прокат коррозионно-стойких сталей аустенитного, ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов.

Было установлено, что применение ОПД при точении способствует улучшению параметров шероховатости обработанной поверхности (см. рисунок 1) [1,2], обеспечивает снижение значений параметров *Ra*, *Rmax*, *Rz*, *Sm* получаемой поверхности. В частности, происходит снижение значения среднего арифметического отклонения профиля *Ra* до 2-х раз по сравнению с обычной обработкой. Выявлены резервы существенного повышения производительности процесса. Одинаковые значения *Ra* получались при традиционном точении на одних подачах и при резании на бóльших подачах предварительно продеформированного металла.

При точении с ОПД происходит уменьшение размеров очага разделения металла по линии среза за счет снижения напряжений, действующих в зоне резания, а разрушение в нем протекает более стабильно, в том числе, благодаря снижению неустойчивости пластического деформирования в условиях циклического стружкообразования.

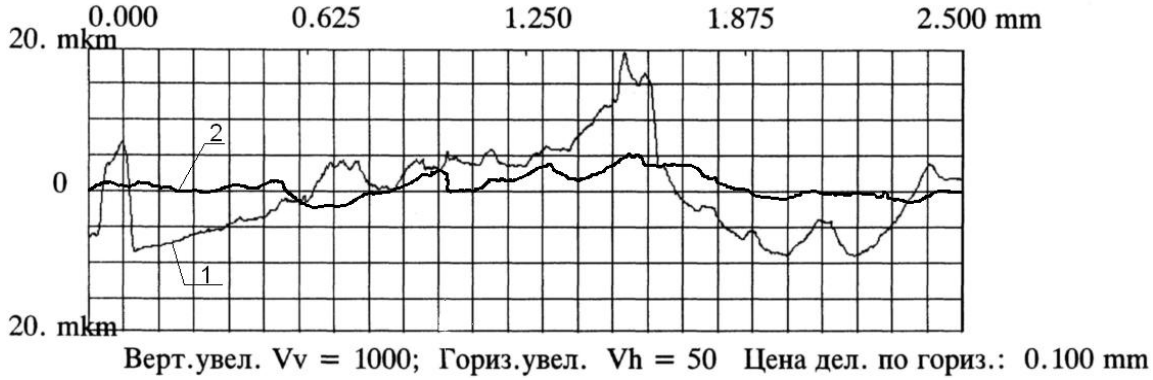


Рисунок 1 – Профилограмма обработанной поверхности (сталь 12Х18Н10Т – ВК6; скорость резания v=120 *м/мин*; глубина резания t=1 *мм*; продольная подача S_o=0,128 *мм/об*). 1 – традиционное резание; 2 – резание с ОПД ($К_{ОПД}$ = 2)

Литература

1. Повышение эффективности процесса резания труднообрабатываемых коррозионно-стойких сталей при использовании опережающего пластического деформирования / Полянчиков Ю. Н., Крайнев Д. В., Ингеманссон А. Р., Нгуен Тхань Хунг // Изв. ВолгГТУ. Серия "Прогрессивные технологии в машиностроении". Вып. 8 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. - Волгоград, 2012. - № 13 (100). - С. 47-49.

2. Эффективные технологии дорнования, протягивания и деформирующе-режущей обработки: коллектив. моногр. / С. К. Амбросимов, А. Н. Афонин, А. Р. Ингеманссон, А. Н. Исаев, А. В. Киричек, Д. В. Крайнев, А. Р. Лебедев, В. Ф. Макаров, А. В. Морозова, П. А. Норченко, Ю. Н. Полянчиков, Д. Л. Соловьев. – М. : Издат. дом «Спектр», 2011. – 328 с.

АВТОБАЛАНСИРОВАЧНОЕ УСТРОЙСТВО ЖИДКОСТНОГО ТИПА ДЛЯ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ОТЖИМОМ

Желтушкин Л.С., Алехин С.Н.
г. Шахты, Ростовская обл., «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»

В данной статье рассматривается конструкция стиральной машины с жидкостным автобалансировачным устройством пассивного действия. Предлагаемая конструкция обеспечивает эффективное снижение виброактивности машин при центробежном отжиме.

Avtobalansirovachnoe liquid-type device for washing machines with a centrifugal spinning. Zheltushkin L.S., Alekhin S.N.
The article deals with the design of the washing machine with liquid autobalancing device of passive action. The proposed design provides effective reduction of machines vibration in centrifugal spin.

Стиральные машины выполняют важную функцию по механизации тяжелого ручного труда, связанного со стиркой и отжимом текстильных изделий в домашнем хозяйстве и сфере коммунальных услуг. Наиболее совершенными и распространенными стиральными машины являются машины барабанного типа, совмещающие процессы стирки и отжима белья в одном барабане [1]. Однако, машины данного типа являются наиболее виброактивными изделиями бытовой и коммунальной техники.

Значительные динамические нагрузки, возникающие в конструктивных элементах стиральных машин при отжиме, приводят к снижению их надежности и долговечности, росту энергопотребления, ухудшению условий при обслуживании и эксплуатации машин.

Для снижения значительных вибраций, возникающих при отжиме в стиральных машинах барабанного типа с системой виброизоляции, используют дополнительно противовесы, устанавливаемые на баке машины. Однако, это приводит к значительному увеличению массы машины и росту динамических нагрузок, возникающих в подшипниковой опоре барабана.

Устранение недостатков, возникающих при использовании системы виброизоляции в стиральных машинах, обеспечивается применением автобалансировочных устройств (АБУ).

Авторами данной статьи было разработано оригинальное конструктивное решение АБУ, позволяющего эффективно снижать колебания стиральных машин при отжиме.

Предлагаемая стиральная машина состоит из корпуса, в котором упруго подвешен моечный узел, состоящий из коаксиально расположенных стирального бака и барабана 1 (рис.1). Боковая поверхность барабана имеет продольные изгибы, образующими таким образом гребни 10 (Рис.2), обращенные своей выпуклой частью внутрь барабана 1, и зоны перфорации боковой поверхности, расположенные между гребнями 10.

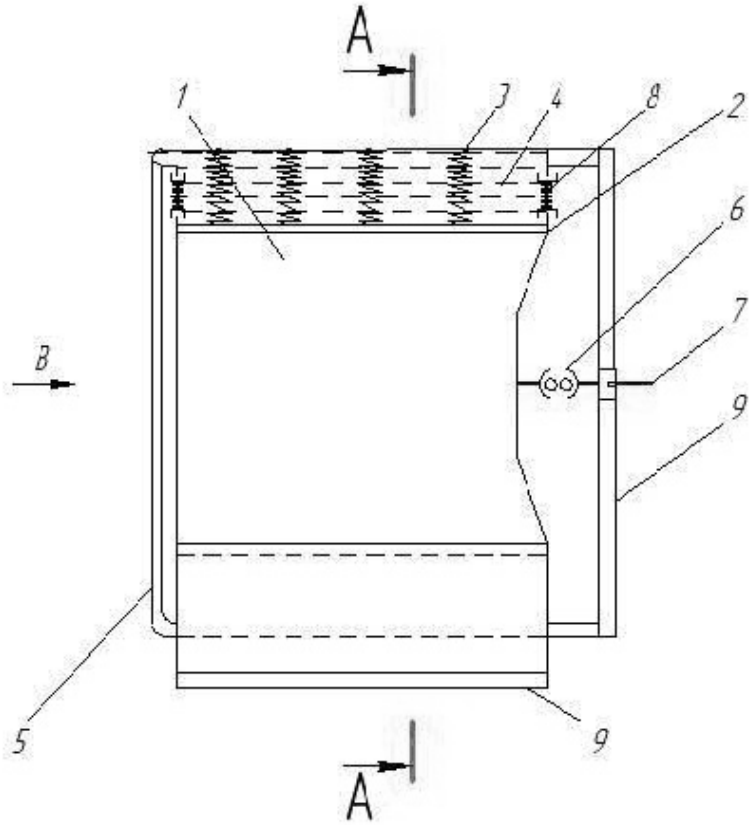


Рис. 1 – Барабан стиральной машины с АБУ в продольном разрезе.
1 – барабан, 2 – задняя стенка барабана, 3 – упругие элементы, 4 – рабочая жидкость, 5 – полое металлическое кольцо, 6 – шарнир, 7 – вал,
8 –эластичные герметичные элементы, 9 – крестовина

Задняя стенка барабана 2 соединена посредством шарнира 6 с крестовиной 9, установленной на валу 7 с возможностью вращения вокруг горизонтальной оси. Барабан 1 соединен с помощью упругих элементов 3 с металлическими жесткими пластинами 11 (рис.2), расположенными с наружной стороны вдоль вогнутых поверхностей гребней 10 и образующими жесткий каркас путем неподвижного соединения металлических жестких пластин 11 с одной стороны с направляющими крестовины 9, а с другой стороны с полым металлическим кольцом 5 (рис 3), расположенным вдоль передней стенки барабана 1.

Образованные таким образом полости между вогнутой поверхностью гребней 10 и металлическими жесткими пластинами 11 ограничены эластичным герметичным элементам 8, которые заполнены рабочей жидкостью 4 и соединены между собой через полое металлическое кольцо 5, образуя, таким образом, единую замкнутую герметичную систему.

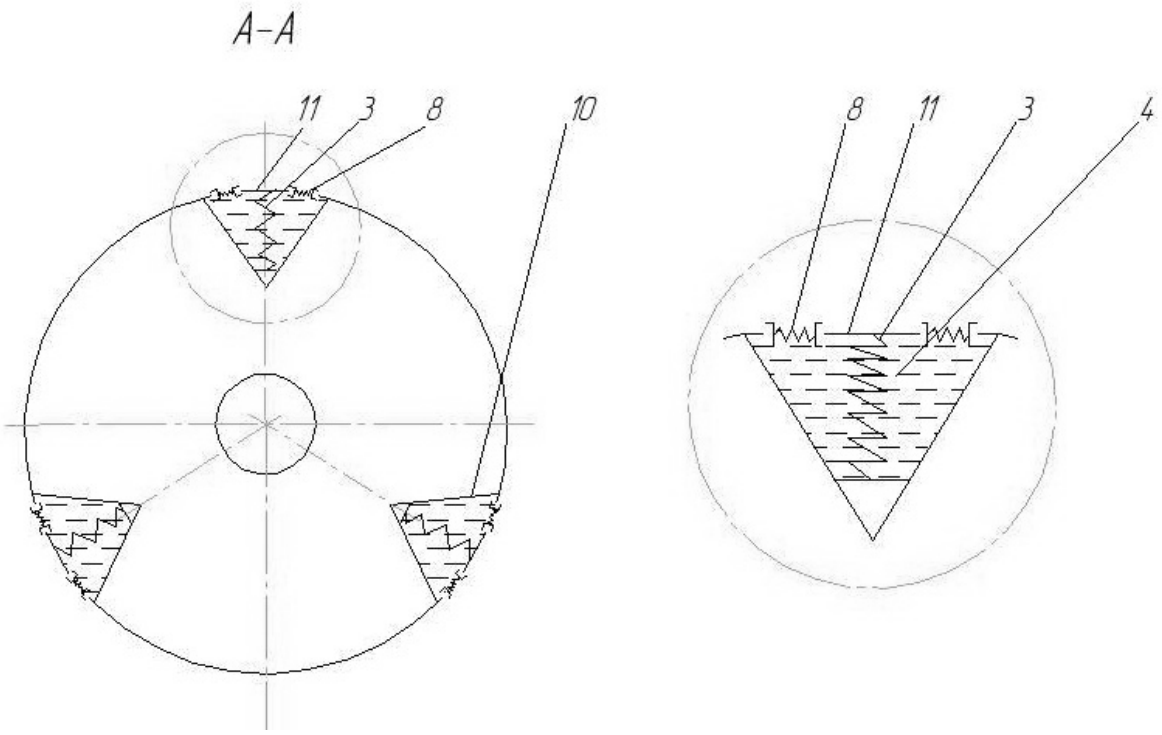


Рис. 2 – Барабан стиральной машины с АБУ в поперечном сечении.
3 – упругие элементы, 4 – рабочая жидкость, 8 –эластичные герметичные элементы, 10 – гребень, 11 – металлические жесткие пластины

Принцип работы стиральной машины с АБУ заключается в следующим. В барабан 1 закладываются текстильные изделия, подлежащие обработке. После включения машины происходит подача моющего раствора в бак. Через отверстия перфорации моющий раствор поступает внутрь барабана 1 к обрабатываемым изделиям и смачивает их. Барабан 1 приводится во вращение двигателем через вал 7 и шарнир 6. После окончания процесса стирки производится центробежный отжим изделий путем увеличения частоты вращения барабана 1 до величины, способствующей интенсивному удалению влаги из изделий. При этом, в период разгона барабана 1 происходит распределение изделий по его обечайке. Так как практически всегда распределение изделий осуществляется неравномерно, то это приводит к образованию неуравновешенной массы, являющейся источником возникновения значительных центробежных сил, направленных со стороны неуравновешенной части изделий на обечайку барабана 1. Это приводит к смещению барабана 1 в поперечной плоскости, сжатию упругих элементов 3 в полости, в направлении которой действуют центробежные силы, и вытеснением части рабочей жидкости 4 из этой полости через полое металлическое кольцо 5 в те полости, которые увеличиваются в объеме за счет смещения барабана 1. В результате этого большая часть рабочей жидкости 4 сосредотачивается в полостях, находящихся противоположно участку расположения неуравновешенных масс изделий в барабане 1, тем самым, уравновешивая их. Вследствие этого барабан 1 практически не испытывает динамических нагрузок при отжиме.

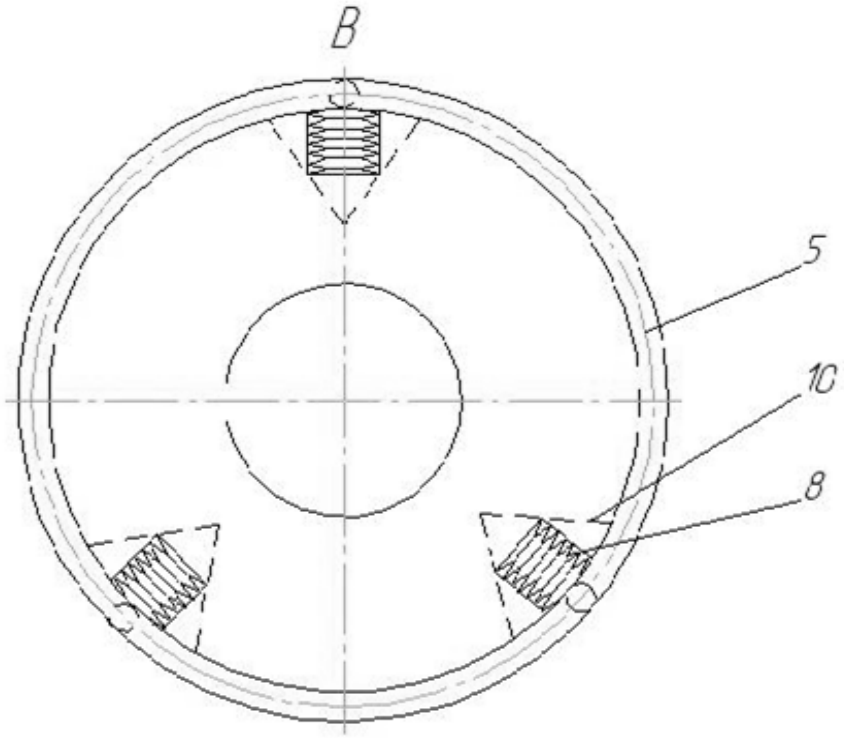


Рис. 3 – Барабана стиральной машины с АБУ вид спереди.
3 – упругие элементы, 4 – рабочая жидкость, 8 –эластичные герметичные элементы, 10 – гребень, 11 – металлические жесткие пластины

Таким образом, предлагаемая конструкция стиральной машины с жидкостным АБУ пассивного действия обеспечивает эффективное снижение виброактивности машины при отжиме, имеет более простое конструктивное решение по сравнению с известными конструкциями [2], отличается технологичностью при сборке и меньшими габаритными размерами.

Литература.

1. Петросов, С.П. Ремонт и обслуживание бытовых машин и приборов / С.П. Петросов, В.А. Смоляниченко, В.В. Левкин, А.В. Кожемяченко, С.Н. Алехин – М.: Издательской центр «Академия», 2003.– 320 с.

2. АС СССР 1581795, МПК^5 D 06 F 37/00 Машина для стирки и отжима белья / Малыхин В.И., Алехин С.Н.; заявитель и патентообладатель Московский технологический институт; № 4442163, заявл. 15.06.1988, Бюл. № 28. – 12 с.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ РЕАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Журавлев И.Н, Кечиев Л.Н., Крючков Н.М., Савин Ю.В.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ, кафедра РЭТ

Дается обоснование разработки и описана методика применения автономного малогабаритного измерителя электромагнитного поля, который устанавливается внутри

испытуемого экранированного блока, для оценки эффективности экранирования реальных конструкций.

Описанный прибор можно использовать как в исследовательских, так и в учебных целях для проведения лабораторных работ.

The specialized field intensity meterto measure the efficiency real construction shielding. Zhuravlev I.N., Kechiev L.N., Kryuchkov N.M., Savin Y.V.

The substantiation of development and describe the methodology of autonomous compact measuring instrument the electromagnetic field, which is installed inside a shielded test block to evaluate the effectiveness of the screening of real structures.

Described instrument can be used both for research and for teaching purposes for laboratory works.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Введение

Неуклонный рост быстродействия электронных средств приводит к повышению их чувствительности к воздействию внешних электромагнитных полей. Так же за последние десятилетия существенно расширился рабочий диапазон частот и возросли уровни мощности электромагнитных воздействий, увеличилось число источников помех самой разнообразной природы. Интеграция рынка и расширение действия стандартов ЭМС заставляют производителей все больше уделять внимания методам и средствам обеспечения ЭМС. Экранирование является одним из основных методов защиты электронной аппаратуры от внешних дестабилизирующих электромагнитных воздействий или устранения повышенных уровней помехоэмиссии от аппаратуры. По этим причинам экранирование является одним из важнейших факторов обеспечения ЭМС [1-3].

Оценка эффективности экранирования реальных конструкций

При разработке специальных технических средств, в области информационной и функциональной безопасности экранированию уделяется особое внимание. Экран должен предотвращать утечку информации путем перехвата излучаемого от технического средства электромагнитного поля. С другой стороны, такого рода технические средства нуждаются в защите от преднамеренных мощных сверхширокополосных электромагнитных воздействий.

Известно, что эффективность электромагнитного экранирования к сигналам разных частот определяется не только выбором материала (его проводимости и толщины), но и конструкцией экрана: наличием щелей, отверстий и других неоднородностей. Теоретическая оценка эффективности экрана носит весьма условный характер, поскольку трудно получить объективную модель экрана с учетом реальной конструкции [1-3]. При проектировании и изготовлении различных экранов и экранирующих корпусов необходимо количественно оценивать эффективность экранирования реальной конструкции. Существующие методики и средства измерения не позволяют достоверно измерить эффективность экранирования реальных конструкций, т.к. производится с помощью моделирования и/или математического расчета по известным формулам.

Концепция измерения эффективности экранирования

Наиболее достоверно и просто оценить эффективность электромагнитного экранирования можно с помощью измерений напряженности поля вне экрана и внутри экрана и дальнейшему вычислению количественной оценки эффективности экранирования.

Эффективность экранирования электрической составляющей поля вычисляется по формуле:

$$S = 20\lg(\frac{E}{E_{sh}}),\text{дБ} \quad (1)$$

где E – напряженность электрического поля в некоторой точке пространства до установки экрана (В/м); Esh – напряженность электрического поля в той же точке пространства после установки экрана (В/м).

Эффективность экранирования магнитной составляющей поля вычисляется по аналогичной формуле:

$$S = 20\lg(\frac{H}{H_{sh}}),\ \text{дБ}, \quad (2)$$

где H – напряженность магнитного поля в некоторой точке пространства до установки экрана (А/м); H_{sh} – напряженность магнитного поля в той же точке пространства после установки экрана (А/м).

Из вышеперечисленного следует, что для наиболее достоверной оценки эффективности экранирования реальных конструкций необходимо специализированное устройство, измеряющее электромагнитное поле внутри экранированных блоков. Поэтому на кафедре РТУиС МИЭМ (С 1 июля 2012 года кафедра РЭТ МИЭМ НИУ ВШЭ) был разработан и изготовлен макет автономного малогабаритного измерителя электромагнитного поля, который устанавливается внутри испытуемого экранированного блока (рис. 1, 2) [5, 6].

Основные узлы прибора (рис. 1), выпускаются в интегральном исполнении и малогабаритных корпусах, что позволило реализовать такое устройство в миниатюрном исполнении. Размеры первого образца составляют 95×25×10 мм, но после проработки схемотехники и конструкции в последующих исполнениях объем изделия можно уменьшить не менее чем на 30–40 %.

Описание измерителя

На рис. 1 изображена структурная схема измерителя (на схеме не отражены цепи и элементы, отвечающие за питания узлов измерителя).

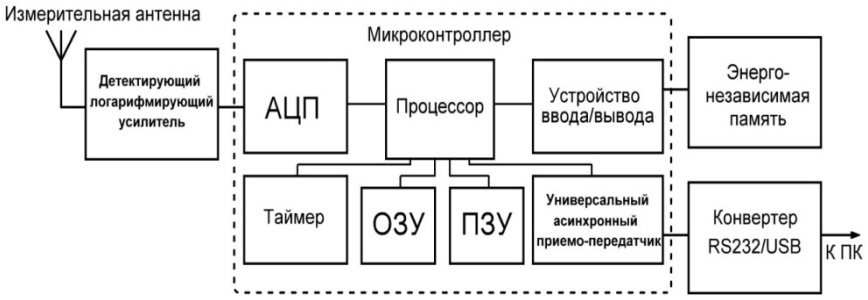


Рис. 1. Структурная схема измерителя напряженности поля

Сигнал, наведенный в антенне, поступает на вход детектирующего логарифмического усилителя. Благодаря использованию детектирующего логарифмического усилителя измеритель имеет широкий динамический диапазон [4]. Это особенно важно для данного применения, поскольку заранее сложно оценить влияние реальной конструкции на эффективность экранирования и соответственно уровень остаточного поля внутри экранированного блока.

Измерения производятся в децибелах, что удобно для вычисления численного значения эффективности экранирования, которую принято выражать в децибелах.

Входной каскад выполнен на логарифмическом детектирующем усилителе с полосой частот от 10 Гц до 500 МГц и имеет динамический диапазон около 90 дБ.

Схема проведения измерения

На рис. 2 изображена схема проведения измерения напряженности поля внутри экранированного блока с помощью такого устройства.

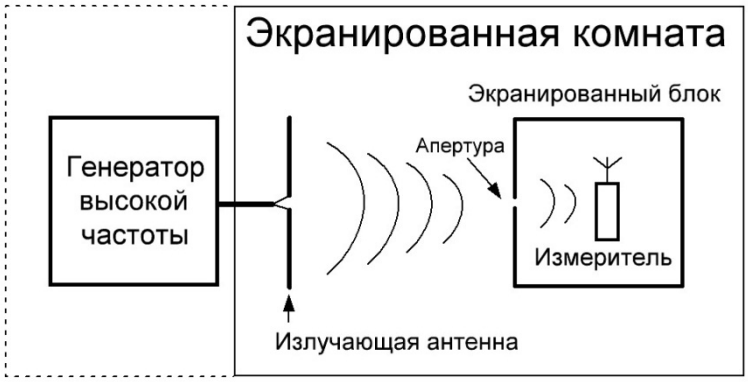


Рис. 2. Схема проведения измерения поля внутри экранированного блока

Устройство производит цикл измерений с сохранением значений в собственную энергонезависимую память. Каждому измерению присваивается свой порядковый номер. По окончанию цикла измерений устройство извлекается из испытуемого объекта и подключается к персональному компьютеру (ПК) для считывания результатов измерений. На основе полученных данных по формуле 1 вычисляется значение эффективности экранирования.

Для получения зависимости эффективности экранирования от частоты необходимо в процессе испытания менять частоту воздействия с определенным шагом через фиксированные интервалы времени. Зная период сохранения значений в память и период перестройки частоты, можно установить какой частоте воздействия какие номера измерений соответствуют. Далее для каждой частоты вычисляется эффективность экранирования и по полученным значениям строится зависимость эффективности экранирования от частоты.

Преимуществом данного способа измерения является то, что измерительное устройство находится внутри испытуемого блока, таким образом, отпадает необходимость кабельной линии от измерительной антенны к измеряющему блоку, которая может создать дополнительную не штатную апертуру в испытуемом блоке.

По возможности испытания рекомендуется проводить в безэховой или полубезэховой камере, обеспечивающей область однородного поля.

Заключение

Описанная выше методика и специализированный измеритель напряженности поля позволяют измерять напряженность поля внутри блоков и шкафов электронной аппаратуры, на основе чего не сложно посчитать эффективность экранирования данной конструкции. Так же стоит отметить ряд существенных преимуществ.

Принципиальным преимуществом измерителя является широкий динамический диапазон (благодаря применению логарифмического детектирующего усилителя). Это особенно важно для описанного выше применения, поскольку заранее сложно оценить влияние реальной конструкции на эффективность экранирования и, соответственно, уровень остаточного поля внутри экранированного блока.

Кроме того, измерения напряженности поля производится в децибелах, что удобно для определения значения эффективности экранирования, которая может изменяться в широком диапазоне и поэтому ее принято выражать в децибелах.

Не требуются вывода проводной линии от измерительного прибора к показывающему устройству, что потребовало бы дополнительных отверстий в испытуемом блоке или не плотного прилегания кожухов, но в таком случае на высоких частотах резко ухудшатся экранирующие свойства корпуса, пропадает объективность измерений.

С помощью данной методики и описанного измерителя можно измерять эффективность экранирования как электрической, так и магнитной составляющей. Для измерения эффективности экранирования магнитной составляющей необходимо использовать антенну магнитного типа (в виде замкнутого контура или на основе ферритового стержня) и оказывать испытательное воздействие магнитным полем, располагать испытуемый блок в ближней зоне излучающей антенны магнитного типа.

В настоящее время ведется отработка методики измерения эффективности экранирования с помощью измерителя на описанном выше стенде. На измеритель получен патент на полезную модель [5].

Литература

1. Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. – М.: ООО "Группа ИДТ", 2010. – 470 с.

2. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. – М.: Издательский дом "Технологии", 2003. – 540 с.

3. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах. – М.: Издательство "Мир", 1979. – 310 с.

4. Михалев П. Микросхемы современных логарифмических усилителей для радиочастотных приложений. Журнал "Компоненты и технологии", 2008, выпуск 10, с.23-26.

5. Патент на полезную модель №118442 зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Российской федерации 20.07.2012. Авторы: Журавлев И.Н, Кечиев Л.Н., Крючков Н.М., Савин Ю.В., Лафишев М.А.

6. Журавлев И.Н. Диссертация на соискание степени магистра техники и технологии. "Разработка специализированного измерителя напряженности электромагнитного поля и исследование с помощью него влияния апертур на эффективность экранирования реальных конструкций" по специальности 210200.68 – "Проектирование и технология электронных средств". Руководитель: профессор, д.т.н. Кечиев Л.Н., консультанты: инженер I категории Савин Ю.В., старший преподаватель Крючков Н.М.

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ

Лисенков М.А., Внуков А.А.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В статье рассматриваются вопросы параллельных вычислений с использованием высокопроизводительных систолических полей. Предлагается

вариант построения спроектированной вычислительной архитектуры с использованием множества процессорных элементов. Данная система позволяет существенно ускорить выполнение модульных алгоритмов решения прямой и обратной задач динамики промышленного манипуляционного робота. Предложена методика выполнения алгоритмов на разработанной процессорной структуре с общей памятью.

Model for data-parallel computing for solving coordinate transformation tasks in industrial manipulation robot. Lisenkov M.A., Vnukov A.A.

This article provides a description of data-parallel computing and some parallel computing environments. We review the systolic architectures which increase performance in labor-intensive computing and Systolic Multipliers which used to accelerate calculations in matrix multiplication.

Введение

Проблемы распараллеливания и распределения вычислений сегодня являются одним из основных и крайне важных аспектов при построении программных и аппаратных комплексов. Сегодня неуклонно растет внимание к использованию всех возможностей многоядерных и многопроцессорных систем.

Большинство задач робототехники обладают высокой вычислительной сложностью и требуют соответствующих высокопроизводительных вычислительных ресурсов. Одним из решений этой проблемы является распараллеливание вычислений, как на аппаратном, так и на программном уровне. Функциональные и распределенные вычисления обладают огромной важностью в сфере робототехники. Реализация режима масштаба реального времени для многих технических систем на современном этапе невозможна без разработки специальных специализированных устройств, значительно ускоряющих процесс вычислений (спецвычислителей).

Для производственных механизмов (например, промышленный робот-манипулятор) эффективными методами определения функции положения в пространстве являются векторный метод и метод преобразования координат. Для реализации такого программного обеспечения требуются системы с высоким быстродействием, а возможности современных вычислительных систем часто ниже требующихся.

1. Цель исследования

Программная система последовательно должна решать две динамические задачи для 6-ти осевого манипулятора. Прямая задача по заданному закону движения определяет обобщённые силы звеньев, обратная задача – по известным обобщённым силам – закон движения в заданных промежутках времени. Цель: ускорить выполнение алгоритма программы. Разработка эффективного параллельного алгоритма обработки данных, в частности для решения задачи перемножения матриц.

2. Модель шестизвенного промышленного робота-манипулятора

Манипулятором называют разомкнутую механическую систему (цепь), состоящую из твердых тел, которые последовательно соединены между собой при помощи шарниров, или призматических (телескопических) сочленений. Способность воспроизводить движения, подобные движениям рук человека, достигается приданием манипулятору нескольких степеней свободы (рис. 1), по которым осуществляется управляемое движение с целью получения заданного движения рабочего органа - схвата. Число степеней свободы - это число возможных перемещений системы. Оно равно числу обобщенных координат, под которыми понимают независимые переменные, однозначно определяющие положение манипулятора в пространстве.

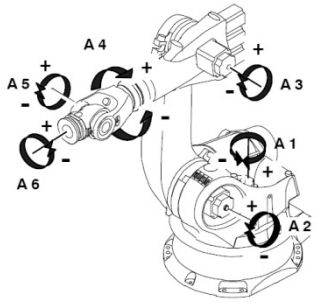


Рис.1. Робот-манипулятор с шестью степенями свободы.

При рассмотрении динамической модели будем использовать уравнения динамики, необходимые для динамического управления роботами. Целью динамического управления является получение требуемого динамического отклика управляемого от ЭВМ манипулятора, чтобы этот отклик соответствовал некоторому заранее определенному множеству критериев. Эти критерии могут быть выражены через импульс и силы реакции и инерции, воздействующие на схват, либо на объект. В общем случае проблема управления заключается в получении основных уравнений динамики робота-манипулятора в форме динамической модели физического манипулятора и в последующем определении законов управления, позволяющих достичь желаемого динамического отклика.

3. Прямая и обратная задачи динамики манипулятора

Прямая задача динамики формулируется так: задано движение механической системы, требуется определить обобщенные силы, обеспечивающие это движение. В манипуляторе обобщенные силы Q_i - это проекции сил (например, силы привода) на оси кинематических пар моментов (если пары вращательные) и сил (если эти пары поступательные). Движение определяется изменением во времени обобщенных координат q_i, которыми являются углы поворота во вращательных и смещения - в поступательных кинематических парах. Для ее решения нам необходимо получить уравнение, связывающее обобщенные силы и движение механической системы.

Обратная задача динамики состоит в определении закона движения по заданным обобщенным силам. Здесь известными считаются обобщенные силы и значения обобщенных координат и их скоростей в начальный момент времени.

Решение обратных задач динамики позволяет определить основные требования, которые должны быть наложены на систему, чтобы движение с заданными свойствами было возможным, а также законы изменения и структуру управляющих сил. Особенностью обратных задач динамики является то, что решение для управляющих сил находится в форме зависимости от состояния системы, т.е. от обобщенных координат и их производных, в отличие от прямой задачи динамики, когда эти значения определяются в функциях времени.

4. Разработка вычислительной архитектуры

Для наиболее эффективной реализации алгоритмов решения задач динамики, была разработана вычислительная архитектура (ВА) на СБИС (сверхбольшая интегральная схема). Рассмотрим такой класс вычислительной архитектуры, как систолическая ВА. Данная архитектура является специализированной и позволяет эффективно реализовать узкий класс алгоритмов. В процессоре систолической ВА записываются достаточно простые вычислительные модули (программы), которые в дальнейшем не изменяются. Данная ВА представляет собой совокупность

процессорных элементов (ПЭ) (рис. 2), которые имеют постоянные неизменяемые соединения между собой и, таким образом, обеспечивается вычислительная сеть.

В качестве ПЭ могут использоваться систолические чипы, транспьютеры и подобные им цифровые сигнальные процессоры (ЦСП).

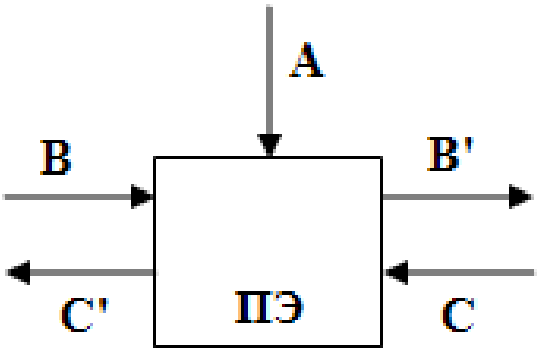


Рис. 2. ПЭ систолического поля для вычисления C=A*B, где A – матрица, B – вектор.

Процессорное поле состоит из одинаковых типов ПЭ, которые имеют одинаковые внешние интерфейсы для передачи и приема данных. Такое процессорное поле будет однородным. В нем не требуется использование между ПЭ дополнительных устройств и интерфейсных схем для согласования форматов данных и характеристик электротехнических сигналов, это упрощает (удешевляет) процессорную сеть, делает ее более надежной и быстрой, так как отсутствуют дополнительные промежуточные устройства. Расстояние между ПЭ должны быть одинаковыми или желательно, чтобы были практически одинаковыми. В этом случае время на передачу данных и электрических сигналов между всеми ПЭ сети на процессорной плате или кристалле заказной СБИС будет одинаковым. Процессорный элемент является определенным с точки зрения его топологических характеристик, входных и выходных потоков данных (входов и выходов ПЭ) и процессорных функций (операции, которые выполняет ПЭ), которые в данном случае являются одинаковыми для всех ПЭ.

Реализация аппаратного вычислителя-ускорителя осуществляется на встроенных в ПЭВМ платах: вычислитель рассматривается в качестве сопроцессора вычислительной системы, который аппаратно заменяет выполнение соответствующего программного обеспечения на ЦП. При этом время вычислений сокращается на 1~3 порядка.

Для модели управления задаются длительности фаз коммуникации, вычислений и иногда длительность собственно фазы управления, во время которой на процессорное поле подается один поток команд. Один поток команд – это команды, которые поступают разом на все ПЭ. Для подключения платы процессорного поля к вычислительной или технической системе необходима интерфейсная система. Интерфейсная система рассматривается главной вычислительной системой, как внешнее устройство. Главная вычислительная система и интерфейсная система могут функционировать одновременно.

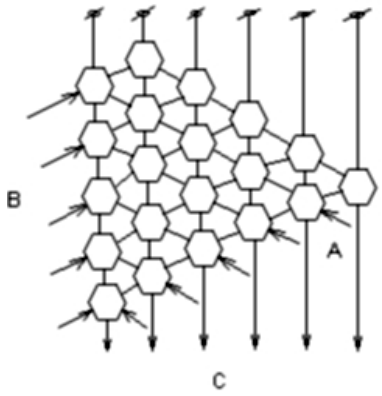


Рис. 3. Систолическое поле, состоящее из 20 ПЭ.

5. Разработка последовательного и параллельного алгоритма для многопроцессорной системы

Одним из основных элементов решения прямой и обратной задач динамики, поддающихся распараллеливанию, является элемент перемножения матриц. Матричное умножение хорошо иллюстрирует различные способы реорганизации вычислений для согласования с архитектурой ЭВМ, на которой этот алгоритм должен выполняться. Умножению матриц присуща большая степень параллелизма, чем в случае вычисления одиночной суммы.

Ускорение работы последовательного алгоритма осуществляется с помощью создания специального высокопроизводительного вычислительного блока. На основе разработанной структуры можно собрать заказную СБИС, в которой будет реализовано процессорное поле с 20 ПЭ с постоянными соединениями, как показано на рис. 3.

При каждом перемножение матриц будем использовать разработанное систолическое поле, которое будет являться спецвычислителем, обеспечивающим параллельную обработку данных вместо последовательного алгоритма выполнения программы. Таким образом, модернизируем последовательный алгоритм умножения матриц. Последовательный алгоритм аналогичен параллельному, однако не использует вычислительных блоков для аппаратного умножения матриц преобразования, а все операции выполняются последовательно на одном сложном процессоре.

Заключение

Для реализации параллельного алгоритма решения прямой и обратной задач динамики решено использовать процессорную структуру, показанную на рис. 3. Стоит отметить, что разработанная модель СБИС (соответственно и алгоритм параллельной обработки данных) является универсальной и может использоваться не только в качестве блока робота-манипулятора, также может быть встроена в различные технические устройства для ускорения вычислений. Элемент перемножения матриц встречается не только в сфере робототехники, в частности в 3D-графике и видеообработке. Разработанное программное и аппаратное обеспечение является крайне полезным для обработки больших массивов данных, позволяет существенно увеличить быстродействие.

Литература

1. Гергель В.П., Стронгин Р.Г. Принципы построения параллельных вычислительных систем. Учебное пособие. — Нижний Новгород, 2003.

2. Попов Е. П. Управление роботами-манипуляторами. Техника, кибернетика, 1974.N6, С. 51—56.

3. Фролов К. В. Механика промышленных роботов. Том 1. Кинематика и динамика. Под редакцией К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. — М.: “Высшая школа”, 1989.

4. Шахинпур М. Курс робототехники. Под редакцией С. Л. Зинкевича. — М.: “Мир”, 1990.

5. Шпаковский Г. И. Организация параллельных ЭВМ и суперскалярных процессоров. — Минск, 1996. — С. 219—256.

6. Лисенков М.А. Внуков А.А. Разработка алгоритма параллельной обработки данных в многопроцессорных системах на примере решения задач динамики промышленных манипуляционных роботов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». — 2010. — №4. — С. 60—72.

7. Лисенков М.А. Внуков А.А. Разработка алгоритма параллельной обработки данных в реальном времени для решения задач динамики роботов-манипуляторов // Труды Девятого Международного симпозиума / Под ред. К.А. Пупкова. — М.: РУСАКИ, 2010. — С. 232—235.

8. Лисенков М.А. Внуков А.А. Разработка алгоритма параллельной обработки данных в многопроцессорных системах на примере решения задач динамики промышленных манипуляционных роботов // Труды конференции «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения». УКИ’ 2010. — М.: ИПУ РАН, 2010. — С. 291—302.

9. Лисенков М.А. Внуков А.А. Параллельный алгоритм обработки данных на примере решения основных задач динамики роботов-манипуляторов // Доклады Пятой международной конференции. «Параллельные вычисления и задачи управления». — М.: ИПУ РАН, 2010. — С. 1025—1036.

10. Лисенков М.А. Внуков А.А. Параллельный алгоритм обработки данных для решения задач динамики роботов-манипуляторов // Труды Международной научно-практической конференции «Инженерные системы-2011». Москва, 5—8 апреля 2011г. — М.: РУДН, 2011.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ УСЛУГАМИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Лисова Е.А.
Тольятти, Поволжский государственный университет сервиса

В статье выявляются и оцениваются критерии уровня удовлетворенности и важности запросов потребителей, путем поискового исследования, позволяющего производителям улучшить качество услуг.

Processing technology and analysis services consumer satisfaction. E.A. Lisova. Togliatti, Volga Region State University of Service

The article identifies and assesses the criteria for satisfaction and importance of customer needs through exploratory research, which allows producers to improve the quality of services.

Успех любой компании на рынке в большей степени зависит от качества оказываемых услуг, повысить уровень которых возможно путем разработки методов

измерения удовлетворенности потребителей. Исследование удовлетворенности потребителей представляет собой одну из важнейших задач предприятий-производителей. Без анализа степени удовлетворенности менеджеры не могут принимать эффективных решений по улучшению деятельности компании, в целях повышения качества продукции (услуг). Чем выше уровень удовлетворенности потребителей услугами, тем выше вероятность повторного обращения. Именно исследование факторов, влияющих на удовлетворение потребителя, является центральным моментом в современных маркетинговых исследованиях.

Прежде чем рассматривать существующие подходы к проведению исследования, необходимо определить, что кроется за самим понятием «удовлетворенность потребителей». Удовлетворенность потребителей определяется как восприятие потребителями степени выполненности своих требований [1].

На сегодняшний день существует множество методов осуществления взаимоотношений с потребителем, позволяющих получить информацию о степени удовлетворенности и требованиях потребителей.

Важной отправной точкой для проведения измерения удовлетворенности потребителя является поисковое исследование с помощью анкетирования, позволяющее потребителю определить те основные аспекты, которые делают его удовлетворенным или неудовлетворенным. Только в том случае, когда анкета составлена с позиции потребителя, исследование позволит измерить, насколько удовлетворенным чувствует себя потребитель. Если же анкета составлена с позиции организации, то исследование определит, насколько хорошо организация работает в избранных областях, но не выявит удовлетворенность потребителя.

Поисковое исследование является качественным, а не количественным. Качественное исследование связано с получением большого количества информации от небольшого числа потребителей. Большое количество информации необходимо, поскольку на этом этапе действительно необходимо понять, что для потребителей является важным, чтобы включить в разрабатываемую анкету правильные вопросы [2].

Для проведения поискового исследования, предваряющего измерение удовлетворенности потребителей, необходимо побеседовать с несколькими потребителями. Объектом исследования было выбрано Муниципальное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов, Центр информационных технологий городского округа Тольятти, для которого было принято решение провести глубинное интервью.

Поскольку поисковое исследование не имеет статистического веса, нет необходимости использовать сложную технологию для формирования небольшой выборки. Достаточно использовать здравый смысл и обеспечить наличие представителей различных типов потребителей. Так как на предприятии МОУ ДПОС Центр информационных технологий потребителями являются организации, во время выборки необходимо обеспечить следующее:

- сочетание потребителей из различных географических зон;
- сочетание представителей образовательных учреждений различных профилей;
- сочетание ряда лиц, представляющих различные административные круги.

Последний пункт является важным, так как если потребителями являются другие организации, то обычно имеется ряд лиц, связанных с услугой тем или иным образом, и эти лица будут общаться друг с другом формально или неформально, чтобы выяснить, удовлетворен тот или иной потребитель или нет. Для того чтобы быть точным, поисковое, а затем и основное исследование должны охватить весь спектр этих лиц.

Специалист из Центра связывается со всеми потребителями, у которых планируется взять интервью, получает их согласие и договаривается об удобном времени встречи. Затем всем участникам высылается письмо с подтверждением договоренностей и с кратким изложением цели интервью.

Во время проведения глубинного интервью было опрошено десять респондентов. Опрашиваемые выделили ряд факторов, являющихся важнейшими в удовлетворении их потребностей:

- срок выполнения услуги;
- обратная связь до, после и вовремя оказания услуги;
- полнота информации по запросам;
- доступность баз данных;
- оснащение программным обеспечением организации-потребителя;
- механизм предоставления отчета в Центр;
- сохранность личных данных;
- этика общения с потребителем.

После выявления данных факторов было принято решение внести их в список вопросов анкеты.

Во время разработки анкеты было принято решение разделить ее на два основных раздела: удовлетворенность и важность. С учетом факторов, выявленных во время проведения глубинного интервью, был разработан перечень критериев удовлетворенности потребителей:

- время выполнения услуги;
- цена выполняемой услуги;
- полнота информации о выполнении услуги;
- полнота информации по запросам;
- возможность обеспечения конфиденциальности;
- оснащение организации-потребителя программным обеспечением;
- этика общения с потребителями;
- отработка механизма предоставления отчета в Центр;
- степень подготовки квалифицированных кадров;
- уровень удовлетворенности взаимоотношениями с Центром, сложившимися на данный момент.

В анкетировании приняли участие семьдесят респондентов. Сегментация опрошенных потребителей по территориальному местонахождению и профилю образовательного учреждения представлена в таблице 1.

Для анализа удовлетворенности потребительской базы были выполнены статистические расчеты. А именно рассчитаны: среднее арифметическое, стандартное отклонение, максимальная оценка, минимальная оценка и база.

В результате анкетирования и обработки данных значение стандартного отклонения по каждому из критериев не выходило за границы заданного предела. Это означает, что разброс оценок относительно их среднего арифметического значения не высок.

Таблица 1 - Сегментация опрошенных потребителей

Профиль образовательного учреждения	Территориальное местонахождение (район)	Количество образовательных учреждений в районе	Количество опрошенных респондентов
МОУ СОШ	Автозаводский	51	10

НДОУ	Автозаводский	31	10
МОУ СОШ	Центральный	20	10
НДОУ	Центральный	40	20
МОУ СОШ	Комсомольский	20	10
НДОУ	Комсомольский	24	10

Несмотря на то, что вопросы по удовлетворенности предшествуют в анкете вопросам по важности, отчет по оценкам важности размещают первым, так как понимание приоритетов потребителя - это логическая отправная точка.

В результате исследования была построена диаграмма сводных данных о важности и удовлетворенности (рисунок 1).

Диаграмма сводных данных о важности и удовлетворенности позволяет провести анализ расхождений между степенью важности и удовлетворенностью, в свою очередь дающий возможность определить приоритеты для улучшения качества услуг, оказываемых МОУ ДПОС Центром информационных технологий. Анализ расхождений показывает, что если полоса, соответствующая удовлетворенности, короче полосы, соответствующей важности, то в организации существуют проблемы в исследуемой области.

Анализируя диаграмму, можно отметить, что имеется ряд областей, в которых МОУ ДПОС Центр информационных технологий в достаточной мере удовлетворяет потребителей, а именно:

- оперативность реагирования на запросы потребителей;
- время выполнения услуги;
- степень подготовки квалифицированных кадров.

Также имеются критерии, по которым уровень удовлетворенности выше, чем уровень важности:

- цена выполняемой услуги;
- этика общения с потребителями;
- уровень удовлетворенности взаимоотношениями с Центром на данный момент.

Наибольшую важность представляют те критерии, по которым Центру не удалось удовлетворить запросы потребителей. Такие критерии являются приоритетными для улучшения качества услуги. К ним относятся:

- полнота информации по запросам потребителей;
- простота пользования базами данных;
- отработка механизма предоставления отчета в Центр;
- оснащение организации-потребителя программным обеспечением;
- возможность обеспечения конфиденциальности.

После анализа опроса респондентов был рассчитан общий коэффициент удовлетворенности, свидетельствующий о том, что МОУ ДПОС Центр информационных технологий удовлетворяет своих потребителей на 79,2%.

Для успешной работы Центра необходимо, чтобы коэффициент удовлетворенности регулярно пересчитывался. Это позволит повышать удовлетворенность потребителей и выполнять контроль в течение многих лет, при этом вопросы в анкете, возможно, будут изменяться, в связи с изменением запросов потребителей, при условии, что количество показателей будет неизменно.

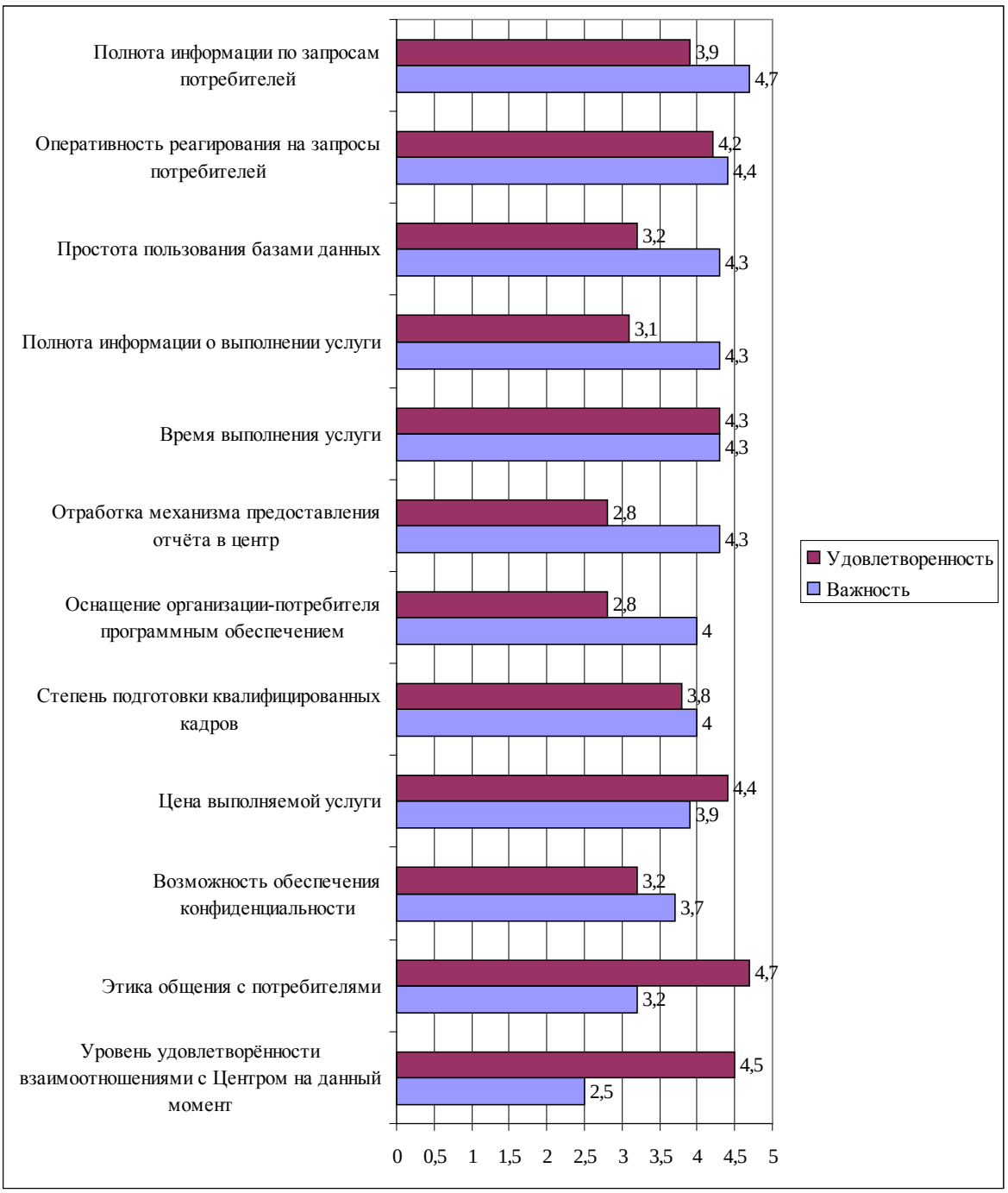


Рисунок 1 - Диаграмма сводных данных о важности и удовлетворенности

В будущем анкету необходимо редактировать в результате изменения приоритетов потребителей, а коэффициент удовлетворенности все же останется весомой мерой измерения.

Разработанный метод измерения удовлетворенности потребителей должен обеспечить непрерывное обновление информации о требованиях потребителей.

Литература

1. Салимова, Е. А. Управление качеством [Текст] : учеб. по специальности «Менеджмент организации» / Т. А. Салимова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательство «Омега-Л», 2008. – 414с.

2. Измерение удовлетворенности потребителя по стандарту ИСО 9000-2000 [Текст] / Н. Хилл, Б. Сельф, Г. Роше - М.: Издательский Дом «Технологии», 2004. - 192 с.

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, обусловливает 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 своими классификационными 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	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф*i*	Ф*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 Яndex 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.

2 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).

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.

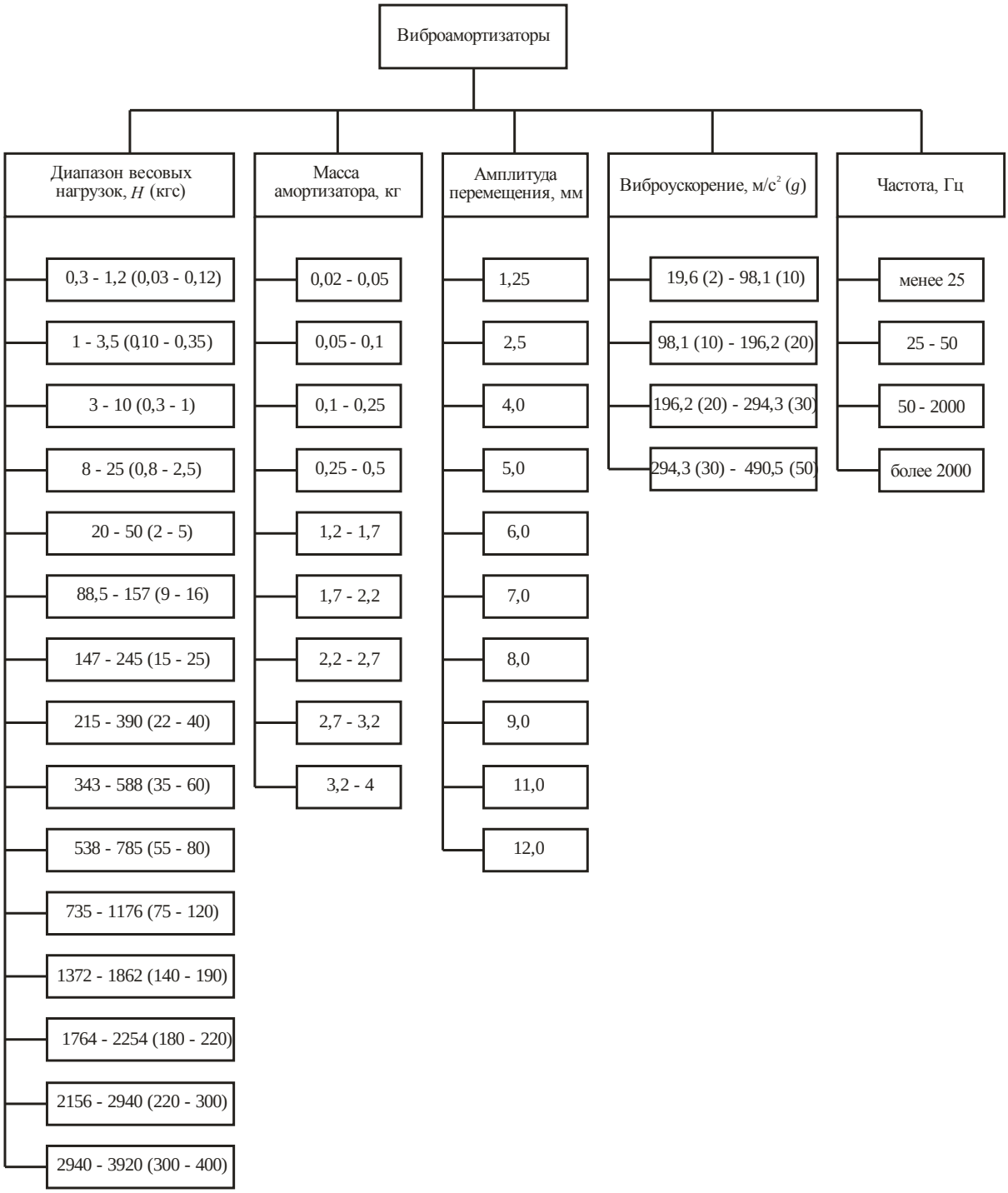


Рисунок 3 – Классификация амортизаторов, применяемых для защиты РЭА

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 приделах, 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.

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].

3 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 аналогов (MV, ElE, Isoflex, K17, SP, V3CA, V1).

Разработана база данных имеющихся амортизаторов, предложенная классификация была доведена до программной реализации, позволившей инженеру-конструктору выбрать оптимальный класс амортизаторов, использую 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;

2 Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Россстандарт) [Электронный ресурс] Каталог стандартов. Режим доступа: http://www.gost.ru/wps/portal/pages.CatalogOfStandarts;

3 ГОСТ 21467-81 – Амортизаторы бортового оборудования летательных аппаратов. Типы, основные параметры, размеры и технические требования.

4 ГОСТ 17053.1-80 – Амортизаторы корабельные АКСС-М. Технические условия.

5 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

6 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.

7 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.

8 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.

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НГДУ «Фёдоровскнефть» ОАО «Сургутнефтегаз»

*Макаровский П.Ю., Бушмелева К.И.
*Сургут, *ОАО «Сургутнефтегаз», Сургутский государственный университет*

Рассмотрены организационно-функциональная модель и интерфейс автоматизированной системы пожарной сигнализации и пожаротушения цеха комплексной подготовки нефти НГДУ «Фёдоровскнефть» ОАО «Сургутнефтегаз». Отражена эффективность от внедрения данной системы на нефтегазовом предприятии.

Development of an automated fire alarm system and fire an example NGDU «Fedorovskneft» OAO «Surgutneftegas». Makarovskiy P., Bushmeleva K.

Organizational and functional model and the interface of an automated fire alarm system and fire department complex oil NGDU «Fedorovskneft». Reflects the effectiveness of the introduction of the system in the oil and gas company.

В нефтяной и газовой промышленности далеко не последнюю роль играет проблема пожарной безопасности. Производство, связанное с горючими и взрывоопасными материалами и веществами не может обходиться без систем пожарной сигнализации и пожаротушения. Цех комплексной подготовки нефти НГДУ «Фёдоровскнефть» не является исключением. Это стратегический объект, в котором конечную подготовку проходит сырье перед тем, как отправить его по трубопроводу потребителям.

Данная работа направлена на повышение эффективности работы существующей системы пожарной сигнализации и пожаротушения НГДУ «Фёдоровскнефть» посредством внедрения программного комплекса (ПК) (в виде автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора) «Центральная станция», который внедряется в качестве средства управления и контроля верхнего уровня (рис. 1.) для системы пожарной автоматики данного предприятия.

Эффективность внедряемой системы выражается в повышении контроля по выполнению противопожарных мероприятий. Система направлена на предотвращение чрезвычайных ситуаций за счет наглядности и простоты графического интерфейса и как следствие оперативности обнаружения и реагирования на поступление тревожных сигналов. Следствием чрезвычайных ситуаций могут стать большие материальные потери, поэтому величину экономического эффекта точно оценить невозможно.

За счет удобного графического интерфейса ПК обеспечивается быстрое определения места возгорания, что позволяет незамедлительно сообщать об этом в пожарную часть и принять меры к тушению пожара. Кроме того, уменьшается время определения ложных срабатываний, что позволяет избежать выездов пожарной охраны. Журнал событий дает возможность анализировать работу системы за определенный период, принимать меры к своевременному устранению неисправности и улучшению работы системы.

ПК «Центральная станция» разрабатывается на базе программного обеспечения научно-производственной фирмы «Свит» и предназначен для:

- приема информации от приборов пожарной сигнализации;
- приема информации от приборов охранной сигнализации;
- приема информации от прочих систем;
- управления работой подключаемых систем;
- отображения состояния подключенных к компьютеру систем и их компонентов на экране монитора;
- отображения планировки защищаемого объекта;
- звукового оповещения о возникающих событиях;
- регистрации событий в журнале с указанием времени возникновения, адреса и типа события;
- печати журнала событий.
-



Рис. 1. Структура системы пожарной автоматики

Организационно-функциональная модель системы пожарной автоматики разработана средствами BPwin.

На рис. 2 представлена система как единый агрегат. На вход системы подаются сигналы от пожарных извещателей и фиксируется состояние оборудования пожаротушения. Управляющие воздействия оказывают технолог и персонал по обслуживанию охранно-пожарной сигнализации.

Далее в процессе декомпозиции было выделено три процесса в системе: контроль поступления сигналов, обработка, регистрация в АРМ (рис. 3).

Процесс контроля поступления сигналов содержит три подпроцесса: контроль шлейфов сигнализации, контроль пожаротушения, управление пожаротушением. Процесс регистрации был разбит на два подпроцесса: визуализация состояний и регистрация событий.



Рис. 2. Организационно-функциональная модель системы

На выходе системы формируется:

- графическая информация о состоянии системы;
- тревожные сигналы в режиме реального времени;
- журнал событий с регистрацией даты, времени и места события.

На рис. 4 изображен интерфейс внедряемой системы. Основные элементы: мнемосхема защищаемого объекта, структура системы пожарной автоматики объекта, журнал событий, возможные состояния выделенного элемента (здание, зона), команды объекта (блока сигнализации, блока управления задвижкой).

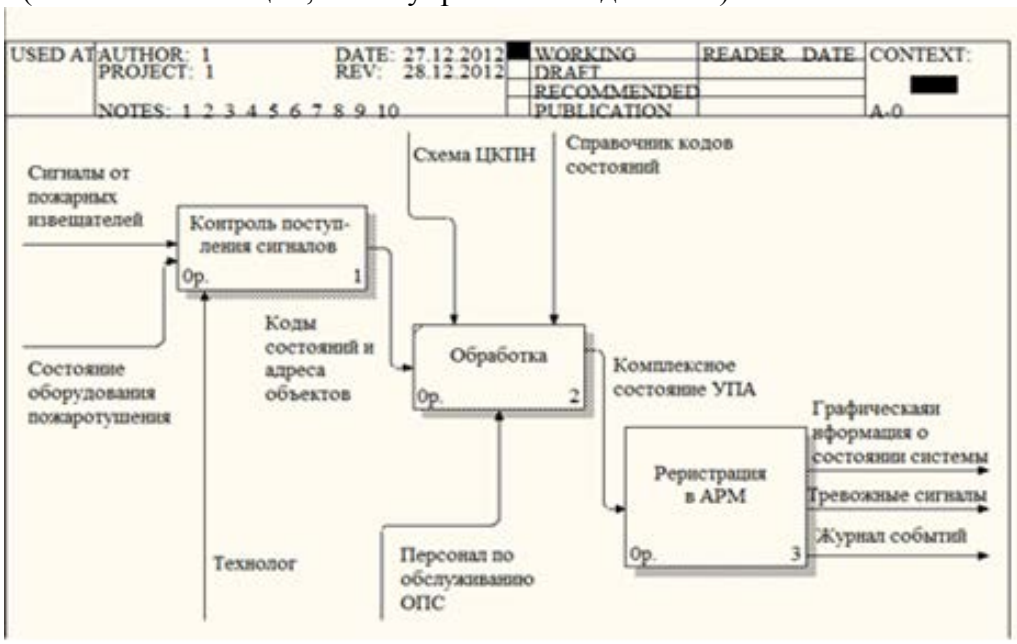


Рис. 3. Основные процессы, происходящие в системе

На рис. 4 представлен момент, когда в систему поступает сигнал «Пожар в нефтяной насосной станции №1». В строке состояния появляется индикатор «Пожар», в

окне состояний объекта «Пожар» подсвечивается красным цветом, на мнемосхеме здание нефтяной насосной станции загорается красным цветом.

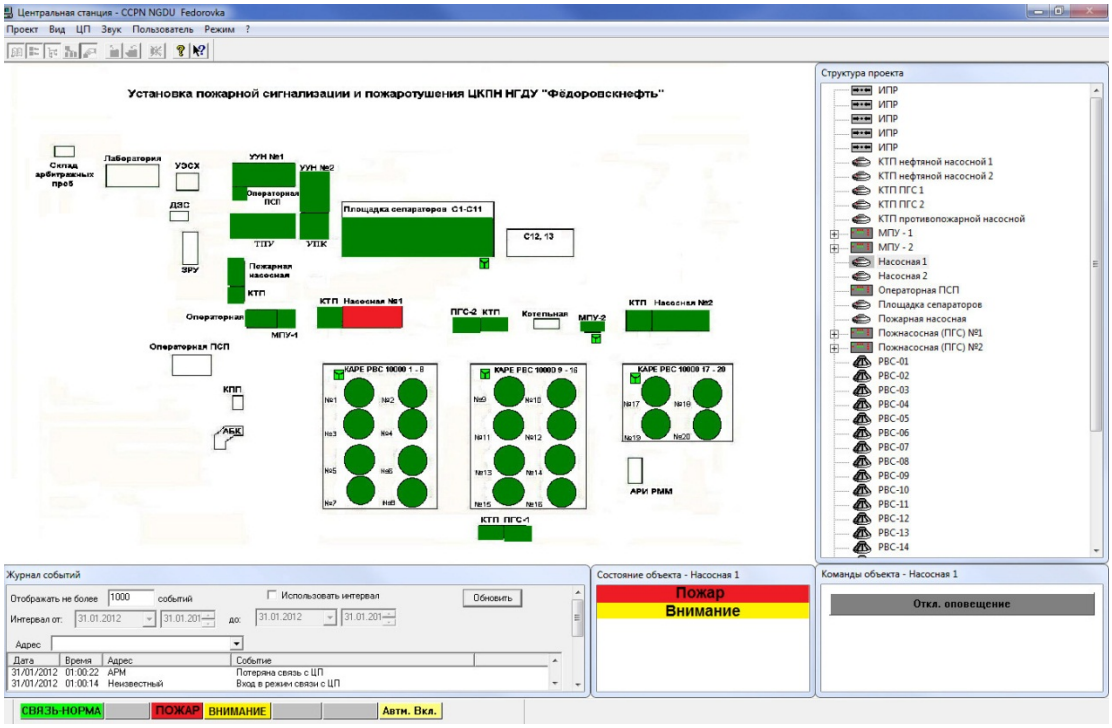


Рис. 4. Интерфейс системы

В качестве заключения можно отметить, что внедрение ПК позволяет: при помощи визуализации оптимизировать мониторинг состояния системы пожарной сигнализации с целью оперативного реагирования на изменение состояния установки (сбои в работе, сигналы о несанкционированном доступе, неисправностях, сигналы о возникновении пожара); своевременно устранять неисправности и улучшать работу системы; упростить управление системой пожарной сигнализации и пожаротушения с помощью персонального компьютера (не требует навыков работы с приборами пожарной автоматики); работать с системой при помощи удалённого доступа, осуществляя удалённый мониторинг с базы автоматизации НГДУ «Фёдоровскнефть».

ИНФОРМАЦИЯ – ОСНОВОПОЛАГАЮЩАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СОВРЕМЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭРГОНОМИКИ

Маков П.В.
Московская область, г. Протвино, университет «Дубна», Филиал «Протвино»

Расширяется понятие системы «Водитель – Автомобиль – Дорога – Окружающая среда» (ВАДС). Информация рассматривается как ключевая составляющая эргономики современного автомобиля.

Information – the fundamental component of modern automobile ergonomics. Makov P.

The concept of system «Driver – Car – Road – Environment» (DVRE) extends. Information is considered as a key component of the ergonomics of a modern car.

Основоположник кибернетики Норберт Винер, дал следующее основное определение информации: информация – это обозначение содержания, полученное нами из внешнего мира в процессе приспосабливания к нему нас и наших чувств.

Большая советская энциклопедия трактует информатику как термин происходящий от соединения двух слов – информация и автоматика и представляющий собой науку о методах и процессах сбора, хранения, обработки, анализа и оценивания информации, обеспечивающих возможность её использования для принятия решений.

Международная Ассоциация Эргономики (IEA) в 2010 году сформулировала следующее определение термина эргономика: научная дисциплина, изучающая взаимодействие человека и других элементов системы, а также сфера деятельности по применению теории, принципов, данных и методов этой науки для обеспечения благополучия человека и оптимизации общей производительности системы.

Современная эргономика подразделяется на микроэргономику, мидиэргономику и макроэргономику.

Микроэргономика занимается исследованием и проектированием систем «человек – машина».

Мидиэргономика занимается изучением и проектированием систем «человек – коллектив», «коллектив – организация», «коллектив – машина», «человек – сеть».

Макроэргономика исследует и проектирует систему в целом, учитывая все факторы: технические, социальные, организационные; как внешние к системе, так и внутренние. Целью макроэргономики является гармоничная, согласованная, надежная работа всей системы и всех элементов системы.

Известная система «Водитель – Автомобиль – Дорога – Окружающая среда» на первое место ставит водителя или, по крайней мере, уравнивает каждую составляющую. Это заключается в удобстве расположения водителя в салоне (в плане посадки), в удобстве пользования кнопками, рычагами и т.д., одним словом, в создании комфортного управления автомобилем. Конечно же, помимо удобства, данные мероприятия непосредственно увеличивают и степень безопасности управления.

Однако в современных автомобилях роль водителя в плане управления автомобилем уменьшается, и на первый план выходят интеллектуальные системы автомобиля принимающие, обрабатывающие, хранящие, передающие огромный поток информации и самостоятельно воздействующие на автомобиль. Примером являются системы стабилизации, активного круиз-контроля, самопарковки, слежения за дорожной разметкой, и т.д. Интеллектуальные системы автомобиля также расширяют видимость водителя (как пример – системы ночного видения).

Таким образом, ключевой составляющей эргономики современного автомобиля, а значит и современной системы ВАДС становится уже не водитель, как было раньше, а информация, которая является связующим звеном между автомобилем, водителем и окружающей средой. Но более значимым фактором информационной эргономики становится взятие на себя автомобилем функций выполняемых водителем.

Это связано с одной стороны, с понятием «человеческий фактор» (возможность принятия водителем ошибочных или алогичных решений в конкретных ситуациях) влияющим на безопасность и экономичность управления, а с другой, с возможностью снижения на водителя нагрузки (физической, умственной, моральной и т.д.). Причиной появления ошибок водителя могут быть отсутствие или недостаточность информационной поддержки. Особенно сильно эта проблема проявляется в экстремальных ситуациях и в условиях дефицита времени на принятие решения.

Исходя из этого, и система ВАДС и современная интеллектуальная система относятся к понятию макроэргономики, так как нацелены на создание гармоничной, согласованной и надежной работы всей системы и всех её элементов.

Однако есть один существенный момент.

Классическая система ВАДС в качестве среды рассматривает объекты, расположенные в относительной близости от автомобиля. Современные же автомобили имеют связь с объектами, расположенными за пределами видимости водителя (спутниковые охранные системы, системы навигации, Internet). Более того, развиваются системы оповещения водителей о пробках или ДТП на маршруте движения и предлагающих альтернативные пути объезда с указанием их на средствах отображения (экранах, мониторах), системы передающую информацию об ухудшении самочувствия водителя или неисправности автомобиля в службу спасения или службу технической помощи и т.д.

Для обеспечения возможности работы таких систем необходимо обрабатывать большой поток информации об автомобиле, водителе и окружающей среде, что под силу только интеллектуальным информационным системам.

Таким образом, современную интеллектуальную систему правильней было бы рассматривать как макроэргономику, состоящую из основной системы и двух подсистем. В состав первой подсистемы входит водитель и автомобиль. В состав второй подсистемы входит автомобиль и среда. В состав основной системы входит две подсистемы и окружающая среда. Такое деление объясняется способностью автомобиля взаимодействовать с водителем, без участия водителя управлять самим собой и взаимодействовать с окружающей средой (как с близко расположенными объектами, так и с удалёнными информационными серверами).

В заключении важно заметить, что проектирование интеллектуальных систем автомобиля построенных на принципах приёма, обработки и передачи информации не только способствует повышению безопасности и экономичности на автомобильном транспорте, но и способствует развитию информационных технологий в целом, которые могут применяться в различных сферах деятельности человека.

Литература

1. Автомобили и тракторы. Основы эргономики и дизайна: Учебник для студентов вузов/ И.С. Степанов, А.Н. Евграфов, А.Л. Карунин, В.В. Ломкин, В.М. Шарипов; под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 230 с.
2. http://ru.wikipedia.org/wiki/Информация
3. http://bse.sci-lib.com/article121728.html

МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ САЖЕВЫХ ФИЛЬТРОВ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Нефедов В.Н., Мамонтов А.В.
Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики (НИУ ВШЭ)

Направление, по которому выполнена данная статья, посвящено актуальной на сегодняшний день проблеме – регенерации сажевых фильтров дизельных двигателей путем использования СВЧ – энергии. Это связано с тем, что при сжигании дизельного топлива, образуется много твердых сажевых частиц, которые отрицательно воздействуют на здоровье людей и окружающую среду, нарушают нормальную работу приборов и механизмов. В работе проведен анализ по отечественным и зарубежным научным публикациям существующих методов очистки сажевых частиц. А так же

представлены экспериментальные исследования, подтверждающие возможность использования СВЧ энергии для регенерации сажевых фильтров дизельных установок.

Microwave devices for the soot filters regeneration in diesel plants. V.N. Nefedov, A.V.Mamontov. National Research University Higher School of Economics

The article is devoted to an actual problem of today - to soot filters regeneration in diesel engines by use of microwave energy. This attributes to the negative influence of hard sooty fractions generated by the diesel fuel burning on people's health and ecological environment, operation of devices and mechanisms. In this work the analysis of domestic and foreign scientific publications of existing methods for sooty fractions treatment is presented. The experimental research results confirming the possibility of the microwaves' use for the sooty filters regeneration are submitted.

При сжигании дизельного топлива в транспортных энергетических установках, на промышленных предприятиях и тепловых электростанциях образуется много твердых сажевых частиц, которые отрицательно воздействуют на здоровье людей и окружающую среду, нарушают нормальную работу приборов и механизмов.

В ряде зарубежных стран, в частности, в Европе (Германии, Франции, Швеции, Италии и других) введены в действия стандарты, регламентирующие нормативы предельно допустимых выбросов твердых сажевых частиц.

Существующие системы очистки отработавших газов от твердых сажевых частиц содержат, как устройство улавливания частиц с использованием волокнистого или пористого фильтра из диэлектрического материала, так и систему удаления поглощенных сажевых частиц путем нагрева сажи до температуры воспламенения.

Поскольку углерод горит при температуре порядка 600ºС, и находится внутри диэлектрического фильтра, то при использовании традиционных способов нагрева углерода необходимо нагревать и сам фильтр. Существующие методы нагрева твердых сажевых частиц состоят в следующем:

- повышение температуры выхлопных газов путем модификации двигателя, либо за счет их пропускания через дроссель, однако, не на всех ездовых режимах удается получить необходимые температуры отработанных газов на входе фильтра;
- снижение температуры воспламенения сажевых частиц путем введения катализатора в топливо, однако, при этом способе происходит забивание пор фильтра продуктами сгорания присадок, а катализаторы на базе благородных металлов (платины, рения, палладия и других), вводимые в состав фильтрующего элемента, удорожают очистку и приводят к выбросу в атмосферу сернистых соединений;
- введение дополнительной тепловой энергии с помощью газовой горелки с одновременным подводом дополнительного воздуха, но как показывает практика это очень дорого, а использование электронагревателей приводит к большой инерционности процесса нагрева;
- повышение температуры сажи путем использования СВЧ энергии, что обеспечивает высокую скорость очистки за счет объемного характера нагрева, безынерционность, экономичность (не нагревается материал фильтра, если он сделан из радиопрозрачного материала и не нагревается окружающий воздух). Именно этот метод является наиболее перспективным для нагрева и сжигания сажи.

Для экспериментального подтверждения общих принципов СВЧ регенерации сажевых фильтров дизельных двигателей в настоящей работе было использовано наиболее простое по конструкции СВЧ устройство очистки сажевого фильтра объемом 1 дм^3, показанное на рисунке 1.

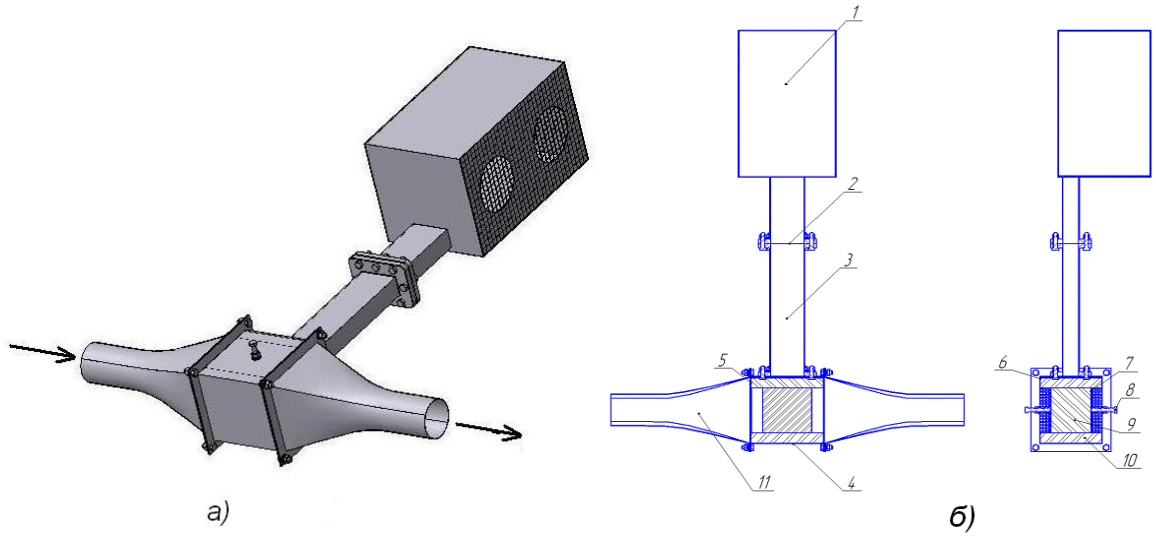


Рисунок 1 - Система регенерации сажевого фильтра резонаторного типа, общий вид (а) и вид в разрезе (б): 1 – источник СВЧ энергии, 3 – волновод, 2 – фторопластовая перегородка, 7 – подстроечная пластина, 4, 5, 6 – стенки резонаторной камеры, 8 – винт, 9 – фильтр, 10 – уплотнение, 11 - диффузор

Источник СВЧ энергии имел выходную мощность равную 0,65 кВт, рабочую частоту колебаний электромагнитного поля 2450 МГц и волноводный вывод энергии на волне типа H_{10} поперечным сечением (90х45) мм. СВЧ энергия по прямоугольному волноводу поступала в низкодобротный резонатор. Перед постановкой на испытательный стенд СВЧ система в месте подключения источника СВЧ энергии имела коэффициент стоячей волны по напряжению 1,2 на рабочей частоте 2450 МГц и не более 1,5 на частотах 2450±10 МГц и не более 2,1 на частотах 2450±20 МГц. Таким образом, были созданы необходимые условия для беспрепятственного поступления энергии электромагнитного поля от СВЧ источника в низкодобротный резонатор.

В боковых стенках резонатора были выполнены отверстия для прохода отработавших газов через фильтрующий элемент. Их диаметр и количество выбрано таким, чтобы с одной стороны отверстия не препятствовали проходу отработавших газов, а с другой стороны не пропускали электромагнитное поле из резонатора в диффузоры. Готовый фильтр состоял из собранных в пакет 28 фильтрующих пластин. Их плотное прилегание друг к другу обеспечивалось воротками. Фильтр был установлен в максимуме электромагнитного поля резонатора. Улавливающие сажу пластины размером (105х112х3) мм, изготовлены из материала ТЗМК-25. Этот материал имеет: химический состав SiO_2; волокнистую структуру; размер волокон 1 мкм; средний размер пор 20 *мкм*; пористость 90 – 92%; объемную плотность 0,25 г/см^3; прочность на сжатие 10 кг/см^3; температуру размягчения 1200ºС; коэффициент линейного расширения $5\cdot10^{-7}$ 1/^{o}К; коэффициент теплопроводности 0,1 Вт/м·^{o}К. В собранном состоянии фильтр имел объем 1 дм^3 и размеры (105х112х85) мм; фронтальную поверхность 55 см^2; плотность каналов 11 каналов/см^2; фильтровальную поверхность 0,4м^2; размеры каналов (2х2х105) мм; толщину стенок каналов 1 мм.

Экспериментальные исследования СВЧ системы для очистки сажевого фильтра проводились на испытательном стенде, который включал в себя дизельный двигатель Д-65 с объемом цилиндров 4,94 литра и мощностью 45 кВт; тормозную машину с пультом управления; сотовый фильтр с микроволновой системой для его регенерации и контрольно-измерительные приборы [1].

При различных начальных условиях работы дизеля была проведена многократная регенерация фильтра с помощью СВЧ энергии и при наличии некоторого количества кислорода в отработавших газах дизеля, который необходим для сжигания раскаленных частиц сажи. Общее время, за которое фильтр восстанавливает свои начальные параметры, составляло 3…5 минут.

По мере накопления сажи в фильтре давление на его входе медленно растет. После достижения критического давления включается источник СВЧ энергии и увеличивается содержание кислорода в отработавших газах. Сажа выгорает, и давление на входе фильтра резко падает. Затем начинается следующий цикл работы фильтра.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность использования СВЧ энергии для регенерации сажевых фильтров дизеля для автомобильного, водного и подземного транспорта, а также для силовых установок электростанций [2, 3]. Степень регенерации фильтра достигала 95%. Степень очистки отработавших газов от твердых сажевых частиц не менее 90%.

К фильтрующим элементам предъявляются требования малого сопротивления потоку очищаемого газа и большой емкости при накоплении сажевых частиц. Этим противоречивым требованиям удается удовлетворить, если изготавливать фильтрующие элементы с развитой поверхностью и малой толщиной материала в направлении прохождения газа, например, в виде пористых листов или труб. В зависимости от конфигурации фильтра и предъявляемых требований можно выбрать наиболее подходящую электродинамическую систему для СВЧ устройства: волновод, резонатор, традиционную конструкцию замедляющей системы или двумерно-периодическую замедляющую систему.

Если размеры частиц меньше, чем $10^{-4}\lambda$, то скорость нагрева резко падает, так как отношение объёма частицы к ее поверхности очень велико и тепло, выделяющееся в объеме частицы, легко отдается через большую поверхность в окружающее пространство. К примеру, в резонаторных системах на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц оказывается сложным сжигать частицы сажи размером один микрон и менее. Для того чтобы сжигать мелкие частицы эффективно необходимо увеличить мощность тепловых потерь, в частности, за счет увеличения напряженности электрического поля в области скопления углеродных частиц и именно эту задачу можно решить с использованием традиционных и двумерно-периодических конструкций замедляющих систем. Именно в замедляющих системах электромагнитное поле сконцентрировано вблизи поверхности и обладает высокой величиной амплитуды напряженности электрического поля.

В работах [2, 3] показано, что наиболее перспективными электродинамическими системами для очистки сажевых фильтров являются двумерно-периодические конструкции замедляющих систем. Целесообразность применения двумерно-периодических конструкций замедляющих систем связано с тем, что они позволяют эффективно нагревать материалы с малыми диэлектрическими потерями.

На рисунке 2 показаны основные элементы конструкции системы регенерации фильтра на базе двумерно-периодических замедляющих систем: трубы, подводящие и отводящие отработанные газы; керамический фильтр, улавливающий твердые сажевые частицы; торцевая стенка, направляющая отработанные газы в фильтр; источник СВЧ энергии; двумерно-периодическая замедляющая система; устройства согласования двумерно-периодической системы с волноводами; согласованная нагрузка, которая поглощает неизрасходованную СВЧ энергию; кожух, собирающий очищенные отработанные газы в выхлопную трубу.

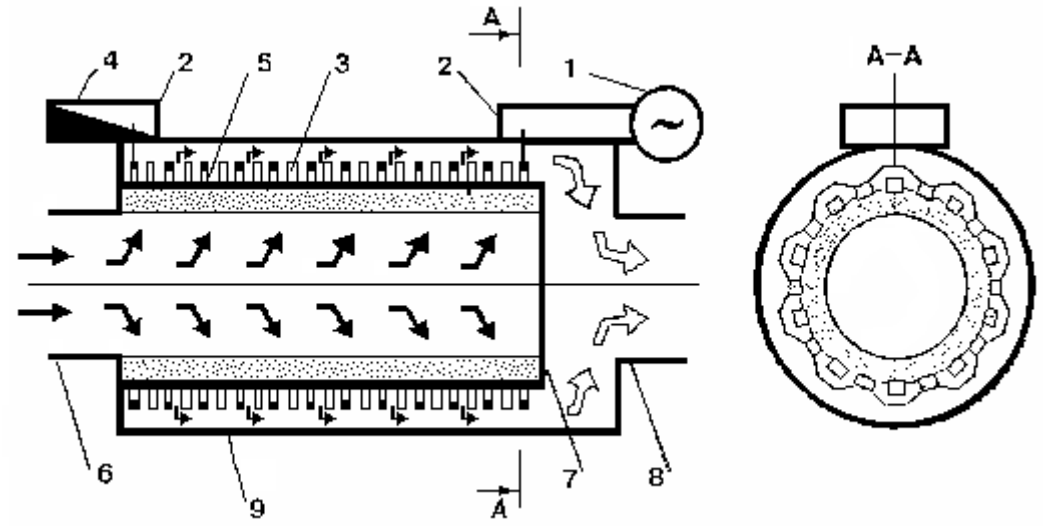


Рисунок 2. Система регенерации сажевого фильтра на основе двумерно-периодической замедляющей системы: 1- Источник СВЧ энергии; 2-волновод; 3 – двумерно-периодическая замедляющая система; 4 - согласованная водяная нагрузка; 5 – керамический фильтр для улавливания сажевых частиц; 6 – труба, подводящая отработанные газы; 7 – торцевая стенка, направляющая отработанные газы в фильтр; 8, 9 – кожух, собирающий очищенные отработанные газы в выхлопную трубу

Система регенерации фильтра работает следующим образом. Как только керамический фильтр заполняется сажей до уровня, установленного для регенерации, возрастает противодавление на входе фильтра. По сигналу датчика давления электронный контроллер выдает управляющий сигнал на включение источника СВЧ энергии. СВЧ энергия через согласующее устройство поступает в двумерно-периодическую замедляющую систему и концентрируется в области, занимаемой фильтром. Как только сажа сгорает, величина давления снижается до уровня, соответствующему чистому фильтру. По сигналу датчика давления контроллер выдает управляющий сигнал на выключение источника СВЧ энергии. Процесс регенерации прекращается.

Для высокой эффективности технологического процесса очистки керамических фильтров от твердых сажевых частиц можно использовать и плоские конструкции двумерно-периодических замедляющих систем.

Предложенную систему регенерации отличает высокая скорость и степень очистки фильтра, экономичность, простота и безынерционность управления, отсутствие движущихся деталей и механизмов.

Исследование осуществлено в рамках Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ» в 2013-2014 гг., проект № 12-01-0136

Литература

1. V.N. Nefyodov, Yu.V. Karpenko, S.V. Korneyev. “Microwave soot trap regeneration”. // Optical Monitoring of the Enviropment, 1993. Volume 2107, P. 517…528.

2. Патент РФ № 2084648 от 2.03.94. на ИЗОБРЕТЕНИЕ “Способ регенерации сажевого фильтра”. Авторы: Нефедов В.Н., Валеев Г.Г., Карпенко Ю.В., Корнеев С.В. и др. // Опубл. 20.07.97. Бюл. № 20.

3. Патент РФ № 2090764 от 30.12.92. на ИЗОБРЕТЕНИЕ “Устройство для очистки дымовых фильтров от сажи (варианты)”. Авторы: Нефедов В.Н., Валеев Г.Г., Корнеев С.В., Карпенко Ю.В. // Опубл. 20.09.97. Бюл. № 26.

ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Нефедов В.Н., Мамонтов А.В.
Национальный исследовательский университет Высшая Школа Экономики (НИУ ВШЭ)

В статье рассмотрен метод тепловой обработки изделий из бетона с использованием в качестве источника тепла энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот. Показаны преимущества микроволнового метода по сравнению с традиционной тепловлажностной обработкой бетона с использованием пара в качестве теплоносителя. В работе приведены результаты экспериментальных исследований по ускоренному твердению изделий из бетона. Показаны перспективы использования микроволнового излучения для ускоренного твердения бетона.

The concrete thermal treatment with the use of microwave radiation. Nefedov V.N., Mamontov A.V. National Research University Higher School of Economics

The article deals with the method of concrete products' thermal treatment using microwave electromagnetic energy as a source of heat. The advantages of microwave method are shown in comparison with traditionally used steam curing. The experimental research results of rapid concrete hardening are presented. The perspectives of the microwave radiation use for the rapid concrete hardening are shown.

При производстве изделий из бетона широко используются различные виды тепловой обработки. Одним из перспективных направлений тепловой обработки материалов является использование энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ – энергии) [1]. Научные исследования по использованию электрофизических методов с целью сокращения длительности термообработки материалов показали высокую эффективность использования энергии микроволнового излучения, так как достигаемый при этом объемный характер нагрева изделий позволяет значительно интенсифицировать процесс термообработки, повысить качество обрабатываемых материалов, уменьшить площадь, занимаемую нагревательными установками, повысить экономические показатели технологического процесса.

Основные преимущества микроволнового нагрева:

- микроволновый нагрев является экологически чистым методом нагрева;
- при микроволновом нагреве не происходит загрязнение обрабатываемого материала, так как энергия микроволнового излучения может подводиться к обрабатываемым материалам через защитные оболочки из твердых диэлектриков с малыми потерями (фторопласт, полипропилен и др.);
- микроволновый нагрев обладает тепловой безынерционностью, то есть возможностью практически мгновенного включения и отключения теплового воздействия на обрабатываемый материал, что обеспечивает высокую точность регулирования процесса и его воспроизводимость;
- возможность сочетания микроволнового нагрева материалов с другими методами, в частности с обработкой паром. В этом случае эффективный поверхностный нагрев достигается за счет использования пара, а глубинный нагрев - за счет микроволнового нагрева. Сочетание различных методов нагрева материалов

способствует созданию технологических процессов, обеспечивающих выпуск изделий наивысшего качества;

- высокий коэффициент полезного действия (КПД) преобразования энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот в тепловую энергию, выделяемую в объеме нагреваемого материала – не менее 80%. Тепловые потери в подводящих трактах обычно невелики, стенки волноводов и рабочих камер устройств остаются практически холодными, что создает комфортные условия для обслуживающего персонала.

Необходимость широкого использования СВЧ - энергии в промышленности диктуется не только соображениями экономического и экологического характера. Благодаря свойству микроволнового излучения проникать в диэлектрические материалы на значительную глубину обеспечивается равномерное распределение выделяющегося тепла по всему объему обрабатываемого изделия независимо от его теплопроводности. При традиционном же способе нагрев материала происходит первоначально с поверхности. Если теплопроводность материала низка, то термообработка объемного материала происходит медленно, с локальным перегревом поверхности, отчего возможно возникновение внутренних механических напряжений. Все это, в конечном счете, может привести к ухудшению качества обрабатываемого изделия.

Важнейшей технологической операцией при производстве бетонных и железобетонных изделий является термовлажностная обработка. Термообработку изделий обычно ведут до получения 50-85% проектной прочности бетона. Известно, что процесс твердения бетона может осуществляться при естественных, нормальных условиях (18-22 $^{\circ}C$) и при повышенной температуре (40-60 $^{\circ}C$). При этом сроки твердения бетона сокращаются в 8-10 раз [2].

Общая оптимальная продолжительность тепловой обработки бетона и железобетона на заводах железобетонных конструкций принята равной 12-13 часов при температуре 80 $^{\circ}C$ на портландцементах и 15-16 часов для шлакопортландцементов и сульфатостойких при температуре 90-95 $^{\circ}C$. Интенсивное твердение бетона при сокращенном режиме термообработки может быть обеспечено за счет применения быстротвердеющих высокопрочных портландцементов, жестких смесей с малым водосодержанием, а также ускорителей твердения.

Для высокого качества обрабатываемых изделий из бетона с использованием микроволнового излучения важное значение имеет как создание специального микроволнового устройства для подвода энергии к заданным участкам нагреваемого материала, так и разработка самого технологического процесса термообработки материала.

Известны два метода СВЧ нагрева изделий из бетона и пенобетона. В первом из них изделие облучалось подвижной рупорной антенной, во втором – изделие помещалось в камеру с источниками СВЧ энергии, действующую как объемный резонатор [1, 2]. Выводы, сделанные в результате в этих работ, показали, что микроволновая обработка изделий существенно ускоряет процесс гидратации и приводит к повышению прочности бетона.

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований по ускоренному твердению бетона с помощью микроволнового излучения. Целью работы являлось изучение основных особенностей микроволновой термообработки изделий из бетона с тем, чтобы в перспективе создать технологический режим ускоренного

изготовления бетонных изделий по производству тротуарной плитки, мелкоразмерных бетонных и железобетонных блоков.

Оборудование для проведения экспериментальных исследований включало в себя конвейерную установку СВЧ нагрева максимальной мощностью 5,0 кВт, набор форм для формовки бетона в виде кубов и плит, выполненных из радиопрозрачного материала, термометры для измерения распределения температуры по объему изделия.

Для определения прочности бетона на сжатие использовался пресс заводской лаборатории завода ЖБИ.

Установка СВЧ нагрева изделий из бетона состояла из камеры, выполненной из металла, размерами 600х600х600 мм. К камере присоединен источник СВЧ энергии, который имел волноводный вывод энергии, работал на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц и позволял изменять значение выходной мощности от 2 до 5 кВт. Рабочая камера имела по бокам два окна, связанные со шлюзовыми камерами, предназначенными для поглощения микроволнового излучения до безопасного уровня. При этом часть микроволнового излучения выходила из камеры через эти окна, что снижало значение коэффициента полезного действия установки.

С целью выявления основных особенностей ускоренного твердения бетона с помощью микроволнового излучения была проведена серия экспериментов с изделиями из пескобетона марки ПБ-300: кубов размерами 100х100х100 мм, плит размерами 304х217 х37 мм.

В результате исследований был найден оптимальный технологический режим термообработки изделий из бетона. Суммарное время общего цикла термообработки изделий из бетона для достижения проектной прочности 300 кг/см^2 составило 6 часов. Нагрев изделий из бетона проводился с периодической выдержкой изделия и последовательным снижением мощности источника СВЧ энергии: при 5 кВт – 2 мин, при 1,3 кВт – 7 мин, при 0,65 кВт – 33,4 мин. Суммарное время нагрева изделия из бетона составило 42,4 мин. В течение всего технологического процесса значение температуры изделия поддерживалась в диапазоне от 50 до 60 $^{\circ}C$.

Динамика роста прочности бетонной плиты размерами 304х217х37мм, обрабатываемой по описанной технологии, показана на рисунке 1.

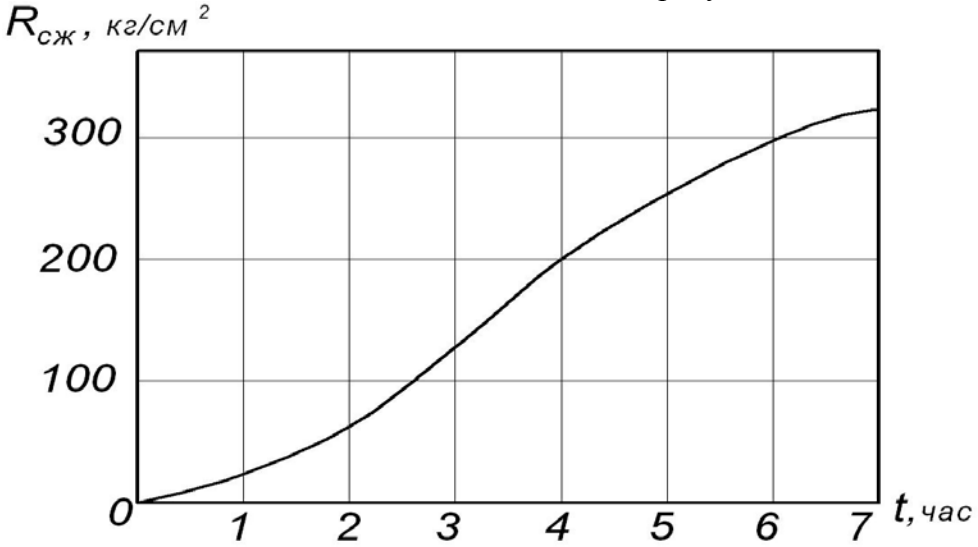


Рисунок 1. Динамика роста прочности бетонной плиты размером 304 х 217 х 37 мм (средняя температура плиты 53 $^{\circ}$С.

Функциональная схема СВЧ установки конвейерного типа в однокамерном варианте представлена на рисунке 2.

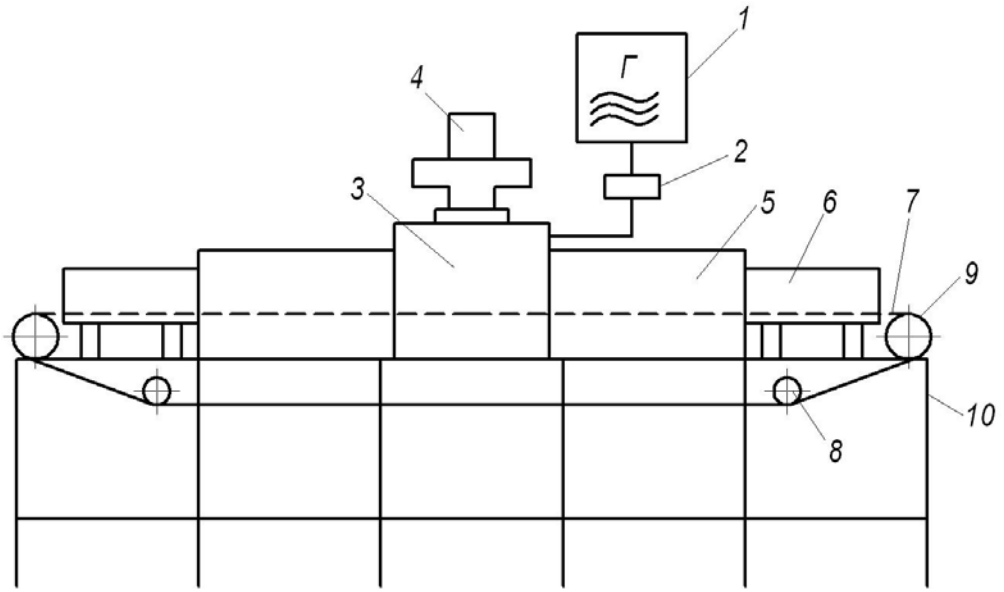


Рисунок 2. Функциональная схема СВЧ – установки конвейерного типа: 1 – источник СВЧ энергии; 2 – волновод; 3 – рабочая камера; 4 – вентилятор; 5 – шлюзовые камеры; 6 – загрузочно-разгрузочные столы; 7 – лента конвейера; 8 и 9 – барабан; 10 – подставка.

Перед рабочей камерой и после рабочей камеры установлены шлюзовые камеры – ловушки для поглощения неиспользованной микроволновой энергии. Внутри рабочей камеры и шлюзовых камер имеется канал, по которому движется конвейерная лента. Скорость конвейера может регулироваться в широких пределах.

В результате проведенных исследований показана перспективность использования микроволнового излучения для технологических процессов, связанных с ускоренным твердением бетона. Сравнение технико-экономических показателей микроволнового нагрева и традиционной тепловлажностной обработкой изделий из бетона приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение технико-экономических показателей термообработки бетона с помощью микроволнового излучения и с помощью пара.

Показатели	Термообработка	
	Тепловлажностная	Микроволновая
Время предварительного выдерживания, ч	1	0
Время подъема температуры, ч	3	0,07
Скорость подъема температуры, град/ч	60	600
Время полного цикла обработки, ч	10	6
Прочность после обработки по отношению к проектной, %	70	70
Деструктивные факторы при подъеме температуры	есть	нет
Инерционность управления	большая	Нет
Вид энергоносителя	пар	электричество
Энергетические затраты на 1 $м^3$ бетона, ГДж	1,072	0,325
Коэффициент полезного действия, %	14	32

Таким образом, микроволновая технология позволяет:

- в 2,5 раза сократить время изготовления изделий;
-улучшить качество получаемых изделий из бетона;
- повысить управляемость технологическим процессом;
- снизить энергетические затраты в 3,3 раза;
- повысить коэффициент полезного действия в 2,3 раза;
- сократить денежные затраты на энергоносители на 21%;
- использовать экологически чистые энергоносители (электричество вместо пара).

Получены результаты экспериментальных исследований ускоренного твердения изделий из бетона в виде кубической формы, объемом 1 $дм^2$.

В качестве СВЧ установки была использована камера лучевого типа, размерами 600х600х600мм, на верхней крышке которой расположен источник микроволновой энергии, мощностью 0,6 кВт, работающий на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц, как это показано на рисунке 3.



Рисунок 3. Фотография микроволновой установки лучевого типа с источником СВЧ энергии с помещенной в нее фторопластовой опалубкой.

При проведении экспериментов было использовано: опалубка из фторопласта объемом 1$дм^3$, бетонная смесь (портландцемент марки М500, песок, щебень фракции 5-30мм, вода), электронные весы, измеритель плотности потока энергии электромагнитного поля П3-33, пирометр, термопарный измеритель температуры.

На рисунке 4 показана фотография бетонного куба в опалубке из фторопласта.

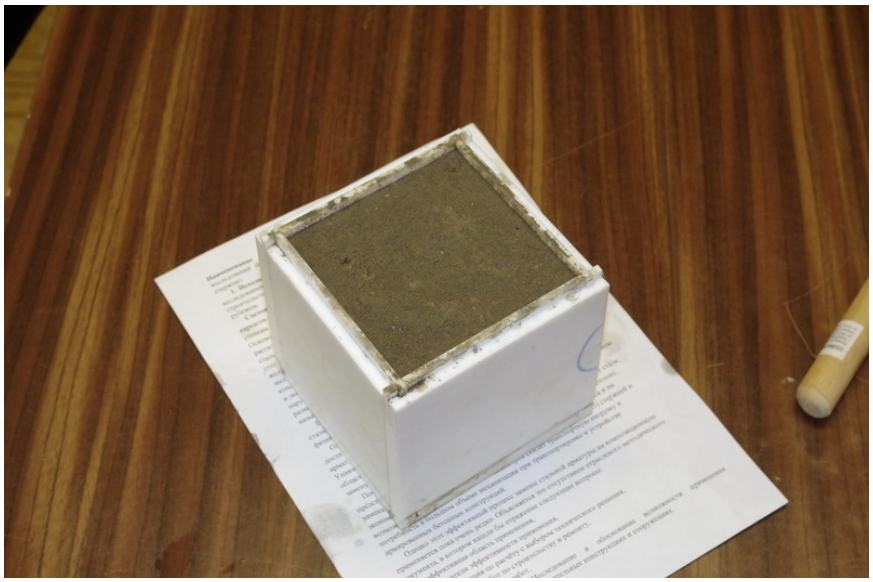


Рисунок 4. Фотография бетонного куба в опалубке из фторопласта

В процессе проведения эксперимента бетонный куб был нагрет с использованием микроволнового излучения до температуры $61^{\circ}C$ (начальная температура бетона соответствовала температуре $20^{\circ}C$) за 6,5 минут. Через 55 минут, после начала эксперимента, температура бетона составляла около 44-45$^{\circ}C$. К этому времени бетон набрал необходимую распалубочную прочность.

Изменение средней температуры бетонного куба в течении всего эксперимента представлено на рисунке 5.

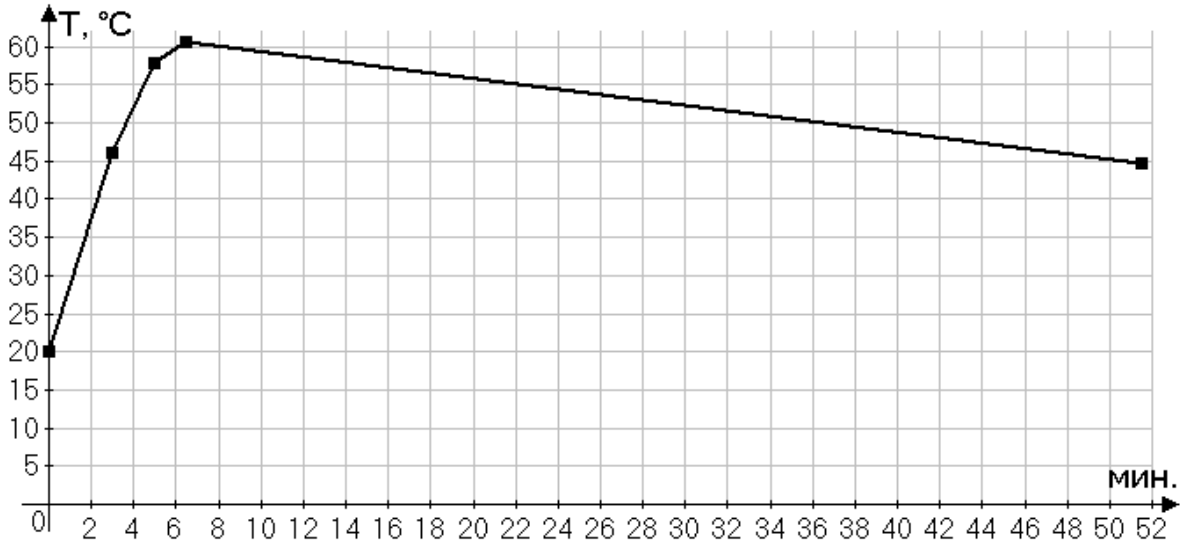


Рисунок 5. График изменения средней температуры бетонного куба с течением времени.

При этом коэффициент полезного действия составил не менее 50%. В настоящее время ведутся работы по повышению прочностных характеристик бетона за счет равномерного нагрева бетона, что способствует отсутствию внутренних напряжений и других дефектов структуры.

Исследование осуществлено в рамках Программы “Научный фонд НИУ ВШЭ” в 2013-2014 гг., проект № 12-01-0136

Литература

1. СВЧ – энергетика. Под ред. Э. Окресса, т. 2, Применение энергии сверхвысоких частот в промышленности. – М.: Мир, 1971, 272 с.
2. Пчельников Ю.Н., Карпенко Ю.В., Нефедов В.Н., Елизаров А.А. “Применение СВЧ – энергии для интенсификации технологических процессов тепловой обработки бетона”. Передовой опыт в строительстве Москвы. Реферативный сборник, № 2, 1992.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ СУПЕРЭВМ, ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ЮБИЛЕЙНОГО 40 СПИСКА TOP500

Манохин А.И.
МИЭМ НИУ ВШЭ

Проведен обзор развития суперЭВМ за последние 20 лет. В качестве основы для рассмотрения использовались международные рейтинги top500, начиная с первого (июнь1993) по юбилейный сороковой, последний на данный момент (ноябрь 2012)

A retrospective review of supercomputers, through the prism of the jubilee 40 TOP500 list . Manokhin A.I.

A review of the development of supercomputers over the past 20 years. As a basis for the consideration of the international ratings used top500, starting with the first (iyun1993) on the fortieth anniversary, the last to date (November 2012).

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Информация по высокопроизводительным компьютерам (вычислениям) (HPC-high-performance computers) представляют большой интерес для производителей и настоящих и потенциальных пользователей [1]. Ежегодные списки публиковались Hans Meuer начиная с 1986 года в университете Мангейма, но они основывались на данных производителя с соответствующей рекламной субъективностью. Новая статистика требовала универсальности в оценке суперкомпьютеров. Чтобы обеспечить эту новую статистическую основу в 1993 году создатели старого списка решили собирать и публиковать список 500 самых мощных вычислительных систем. Список составляется два раза в год с июня 1993 года с помощью HPC экспертов, профильных ученых, производителей, и интернет -сообщества в целом, которые отвечают на рассылаемый вопросник. Этот список называется TOP500. В нем компьютеры, расставлены по своей производительности на тесте LINPACK Benchmark Список находится в свободном доступе по адресу http://www.top500.org/.

В ноябре 2012 года был опубликован юбилейный сороковой TOP500. Окинем ретроспективным взором почти двадцатилетнюю историю данного http://www.top500.org/ рейтинга.

На рисунке снизу приведены графики показателей развития суперЭВМ по времени, где:

N=1 - производительность лучшего компьютера TOP500,

SUM - суммарная производительность всех компьютеров TOP500

N=500 - уровень минимальной производительности суперЭВМ для попадания в TOP500, т.е. производительность самой слабой суперЭВМ списка.



Рис. 1. Показатели развития производительности суперЭВМ за последние 20 лет

В ноябре в Top500 появился новый лидер Cray XK7, на 16 ядерных 16-ядерный процессорах Opteron 6274, 2.200GHz, Cray Gemini interconnect и видеокартах GPU NVIDIA K20x, с потребляемой мощностью 8209 КВт [6].

Таблица 1

40 рейтинг TOP 500 (ноябрь, 2012). «Горячая» пятерка

№	Местоположение	Состав	Ядер	Rмакс/ Rпик (TFlop/s)	Мощ н- ость (kW)
1	DOE/SC/ Национальная лаборатория, Окридж, США	**Titan** - Cray XK7 , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc.	560640	17590.0/ 27112.5	8209
2	DOE/NNSA/LLNL Ливермор, США	**Sequoia** - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom- IBM	1572864	16324.8/ 20132.7	7890
3	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Япония	**K computer**, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu	705024	10510.0/ 11280.4	12660
4	DOE/SC/ Национальная лаборатория, Аргон, США	**Mira** - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom- IBM	786432	8162.4/ 10066.3	3945
5	Исследовательский центр, Юлих, Германия	**JUQUEEN** - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.600GHz, Custom Interconnect -IBM	393216	4141.2/ 5033.2	1970

R макс/ R пик (TFlop/s) – максимальная/пиковая производительность ЭВМ, т.е практическая (на тесте) и пиковая теоретическая (расчетная) производительность. В общем случае, соотношение максимальной и пиковой производительности лежит в пределах 60 – 85 % . Пиковая производительность R пик определяется по формуле [2]:

$$R_{пик} = (F \cdot N \cdot n) / 10^6$$

где, F - тактовая частота процессора, МГц: N – число процессоров (ядер): n – число инструкций с плавающей запятой выполняемых процессором за один такт (4 для процессоров Core2, 2 операции Float Multiple Add; 8 для процессоров с AVX).

Таблица 2

Расчет пиковой производительности современных процессоров

Параметр	**Ед.**	**AMD Athlon 64**	**Intel Core 2 Duo**	**Intel Core i7-975 XE**
Год выпуска		2003	2006	2009
частота	МГц	2211	2400	3330
Ядер	Шт	2	2	4
На такт	шт	2	4	4
R пик	TFLOPS	0.008844	0.0192	0.05328
R пик	GFLOPS	8.844	19.2	53.28

Таблица 3

Первый рейтинг TOP 500 (лето 1993). «Грячая» пятерка

№	**Местоположение**	**Состав**	**Ядер**	**Rмакс/ Rпик (TFlop/s)**
1	Los Alamos National Laboratory США	CM-5/1024 Thinking Machines Corporation	1024	59.7/131.0
2	Minnesota Supercomputer Center США	CM-5/544 Thinking Machines Corporation	544	30.4/69.6
3	National Security Agency США	CM-5/512 Thinking Machines Corporation	512	30.4/65.5
4	NCSA США	CM-5/512 Thinking Machines Corporation	512	30.4/65.5
5	NEC Япония	SX-3/44R NEC	4	23.2/25.6

Как видим пиковая производительность современного процессора Intel Core i7-975 XE 53.28 сравнима с максимальной производительности лидера первого TOP 500 июня 1993 суперЭВМ CM-5/1024 установленной в Лос-Аламосе, США и имеющего более тысячи ядер.



CM-5/1024, июнь 1993



Titan - Cray XK7, ноябрь 2012

Рис. 2. Конструктивное исполнение самого мощного TOP 500 суперкомпьютера 1993 и 2012 года

На протяжении 20 лет основную борьбу за первое место в списке TOP 500 ведут США и Япония, хотя в списке №36 на первое место вклинился Китай.

Таблица 4

Национальная принадлежность первого места TOP 500 за последние 20 лет

Страна	**Номер списка (рейтинга) TOP 500**
США	1, 3, 9 - 18, 24 - 35, 39, 40
Япония	2, 4 - 8, 19 - 23, 37, 38
Китай	36

Номер списка (рейтинга) привязан к временной шкале по следующему правилу: год = 1993+{округл.вверх(N/2)}-1. Внутри года рейтинг привязан по правилу **июнь** для нечетных N, **ноябрь** для четных N. Например, Китай победил в 36 рейтинге TOP 500 , т.е. это четный номер рейтинга, т.е. **ноябрь** месяц, 1993+(36/2)-1 = **2010** год.

Результаты привязи для некоторых рейтингов сведены в таблицу.

Таблица 5

Привязка номера рейтинга TOP 500 ко времени его составления

№ списка	1	5	10	15	20	15	30	35	40
Год	1993	1995	1997	2000	2002	2000	2007	2010	2012

Рассмотрим подробнее энергетические показатели производительности суперЭВМ первого номера рейтинга TOP500 во времени. К сожалению, потребляемая мощность в рейтинге TOP500 стала приводиться, начиная где то с 20 списка (2002 г.)

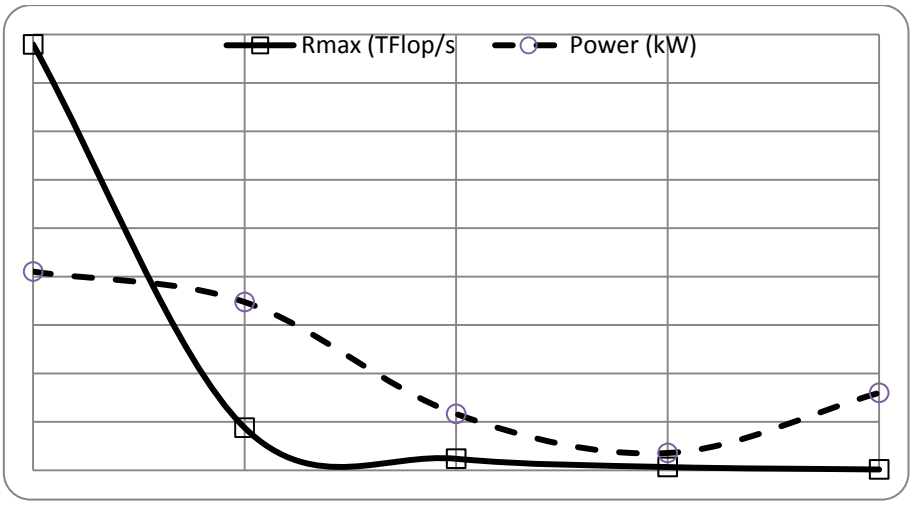


Рис. 3. Изменение максимальной производительности Rmax и энергопотребление Power первого номера TOP 500 с 20 (2002 г.) по 40 список (2012 г.)

Как видно за последние два года резко увеличилась максимальная производительность Rmax суперЭВМ

Общее энергопотребление суперЭВМ за эти годы росло, но меньшими темпами. Рассчитаем производительность относительно потребляемой мощности и построим график.

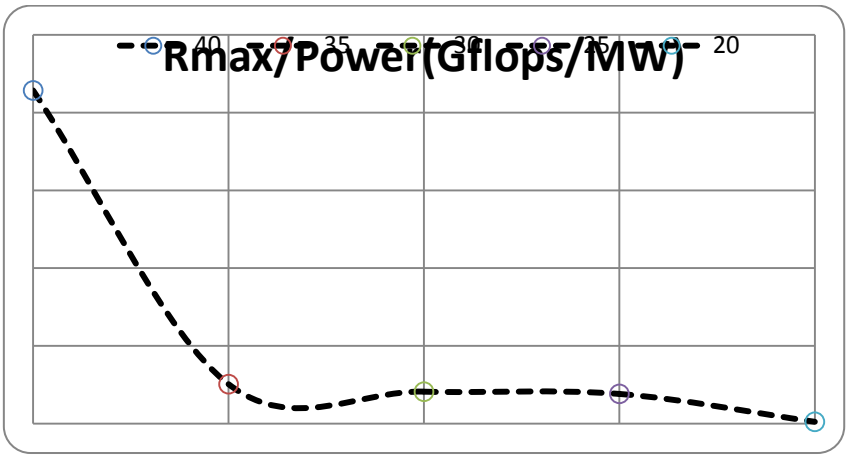


Рис. 4. Изменение энергетической эффективности суперЭВМ первого номера TOP 500 с 20 (2002 г.) по 40 список (2012 г.)

Как видно в последние 2 года резко увеличилась энергетическая эффективность суперЭВМ, что обусловлено новой элементной базой, которую рассмотрим позже.

За прошедшее время изменялась и архитектура суперЭВМ, что отражено на представленном ниже рисунке с пояснением примененных сокращений.

Single proc. (Single processor) - одиночный процессор;

SIMD (single instruction, multiple data) — одиночный поток команд, множественный поток данных, ОКМД) —широко используемый как в обычных так и особенно в векторных процессорах.

SMP (Symmetric Multiprocessing) – симметричные мультипроцессорные системы (SMP) ;

MPP (Massive parallel processing) – массово – параллельная архитектура;

Constellation - (Созвездие) кластер больших SMP узлов, в котором количество процессоров на узел больше, чем количество узлов (не путать с частным решением Constellation для суперЭВМ компании Sun) ;

Clusters – кластер группа компьютеров, объединённых высокоскоростными каналами связи и представляющая с точки зрения пользователя единый аппаратный ресурс;

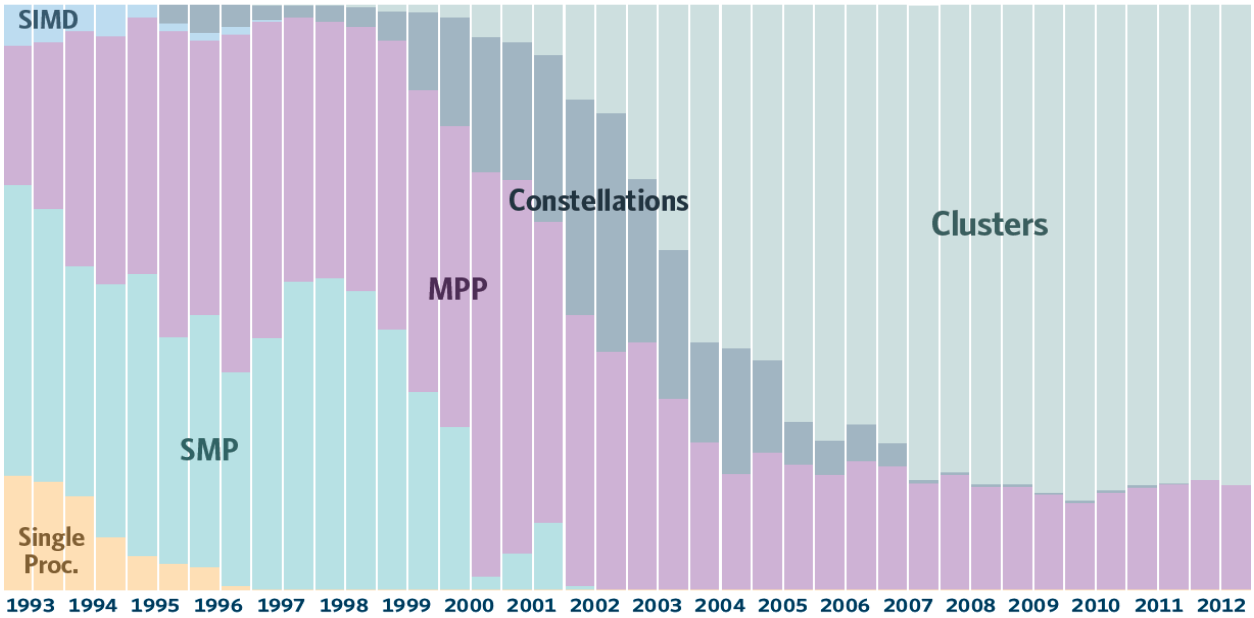


Рис. 5. Развитие архитектур суперЭВМ за последние 20 лет

Как видно мощный одиночный процессор **Single proc** для суперЭВМ оказался тупиком и сошел с дистанции. Симметричные мультипроцессорные системы **SMP** тоже к началу 3 тысячелетия потеряли свою роль. А вот массово – параллельная архитектура **MPP** продолжает работать все это время. Яркой звездой недавно вспыхнула и погасла Constellation архитектура.

А основной линией развития суперЭВМ с начала нулевых оказалась по настоящее время кластерная архитектура.

Виды фирменных процессоров суперЭВМ на протяжении рассматриваемого периода представлено на рисунке ниже, где используются следующие обозначения:

Процессоры фирм **Intel** и **AMD** – основных игроков на рынке процессоров широкого применения;

HP - фирма Hewlett-Packard на базе процессоров PA-RISC (до 2008 года), **Alpha** (до 2007 года);

IBM International Business Machines) основные процессоры серии **Power PC** и **Cell**

MIPS(Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages) — микропроцессор, разработанный компанией MIPS Computer Systems (в настоящее время MIPS Technologies) в соответствии с концепцией проектирования процессоров RISC (то есть для процессоров с сокращенным набором команд).

SPARC (Scalable Processor ARChitecture — масштабируемая архитектура процессора) — архитектура RISC-микропроцессоров компании Sun Microsystems. Архитектура SPARC является открытой, Развитием архитектуры SPARC занимается независимая некоммерческая организация SPARC International, Inc., основанная в 1989 году

DEC **Alpha** — 64-разрядный RISC микропроцессор, первоначально разработанный и произведённый компанией DEC,

PROPRIETARY – частные закрытые процессорные решении некоторых компаний к настоящему времени практически канувшие в Лету

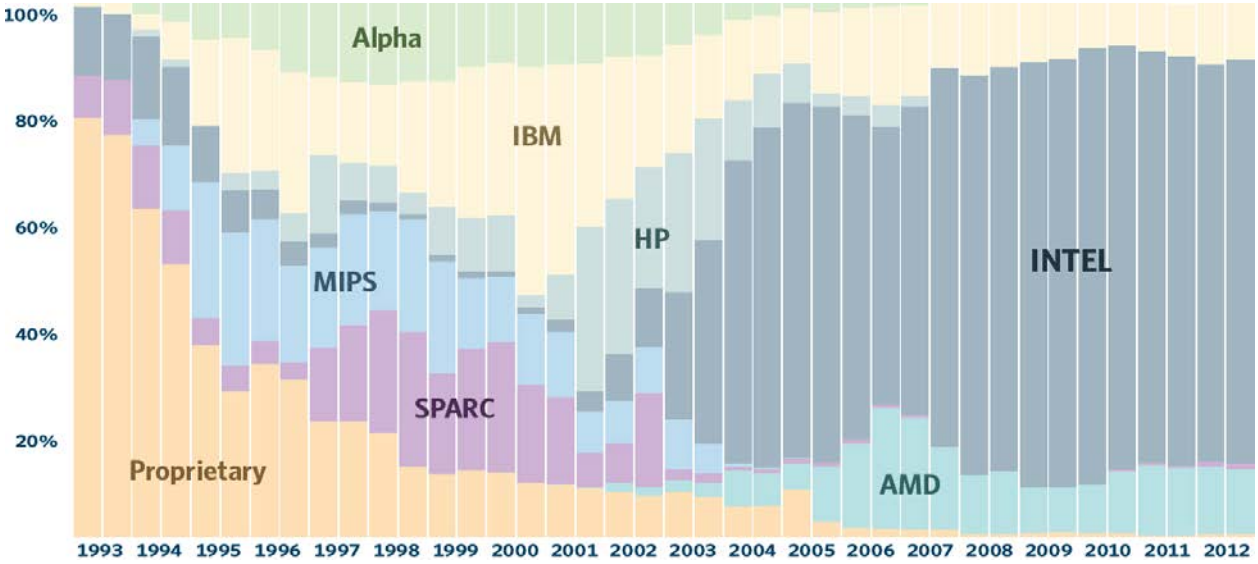


Рис. 6. Типы процессоров суперЭВМ за последние 20 лет

Как видно в начале 90-х годов в суперЭВМ использовалось большой количество типов процессоров, причем современные гранды Intel и AMD не были представлены в данном сегменте, так как были маломощны, по сравнению с ними. Но постепенно мощность процессоров **x86** (*Intel 80x86*) & x86-64 росла, и финансовые неудачи прежних лидеров привели к переделу рынка.

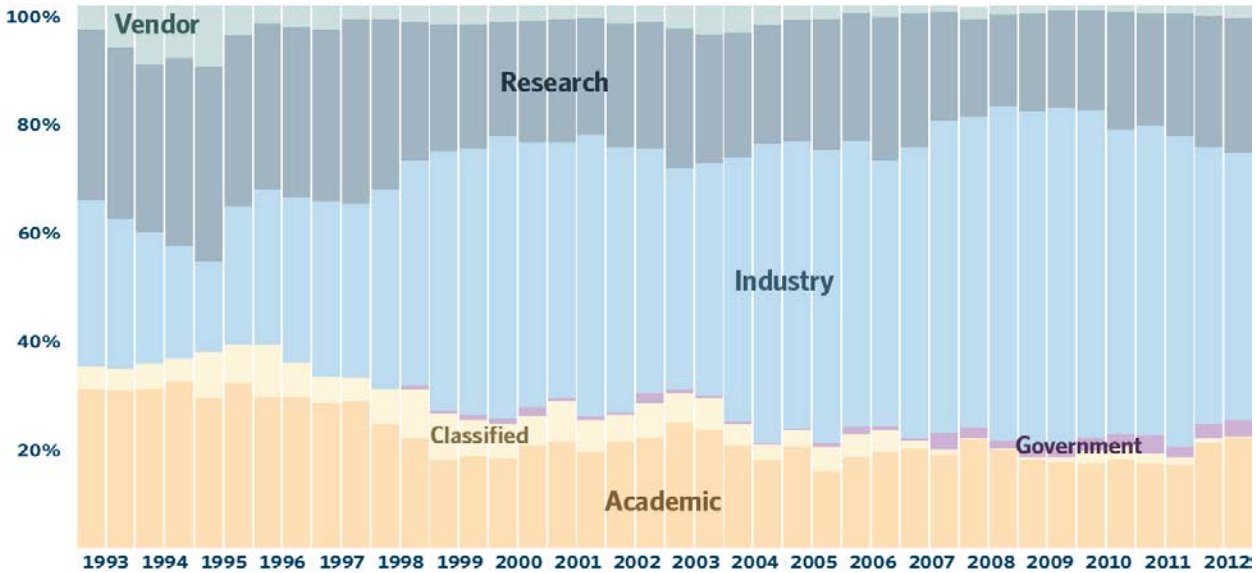


Рис. 7. Область применения суперЭВМ

В настоящее время основными игроками на процессорном поле суперЭВМ остались фирмы Intel, AMD и IBM, а другие архитектуры или резко уменьшили долю рынка, или вообще практически сошли с дистанции. Хотя в последнем TOP 500 и есть в пятерке лучших одна японская суперЭВМ на процессорах SPARC64.

Динамика и развитие областей применения суперЭВМ на протяжении рассматриваемого периода представлено на рисунке ниже, где используются следующие обозначения: **Research** научные исследование; **Industry** – промышленность; **Academic** - академические учреждения; **Government** - правительственные организации; **Vendor** – торговля; **Classified** – неустановленные области применения.

Как видно из графика процентные соотношения областей использования суперЭВМ практически не меняется. Можно отметить появление на рубеже веков нового сектора применения суперЭВМ - государственные структуры, но в процентном отношении это пока мизер.

Тенденцией последних лет стало применение в составе суперЭВМ ускорителей расчетов в виде сопроцессоров и графических процессоров.

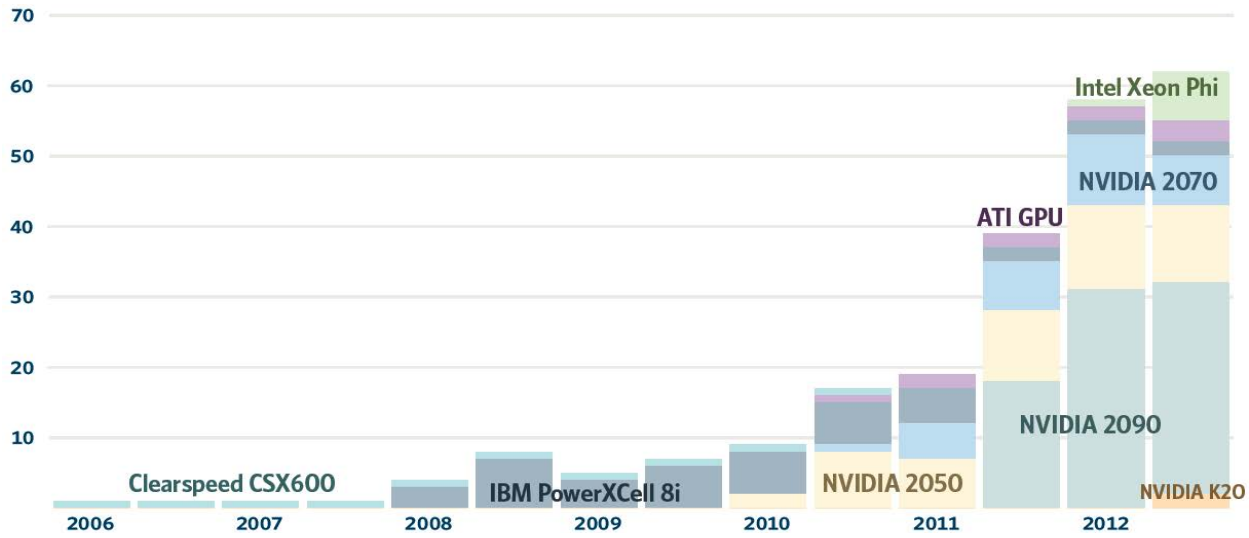


Рис. 8. Количество систем суперЭВМ TOP500 использующих ускорителей/со-процессоры

Первым удачным примером было использование сопроцессора Clearspeed CSX600 вышедшего в конце 2005 года. Он состоял из 96 ядер, каждое из которых имело 6 Кб КЭШа, и имело 128 Кб общего кэша, используемого всеми ядрами. Энергопотребление решения Clearspeed не превышает 10 Вт.

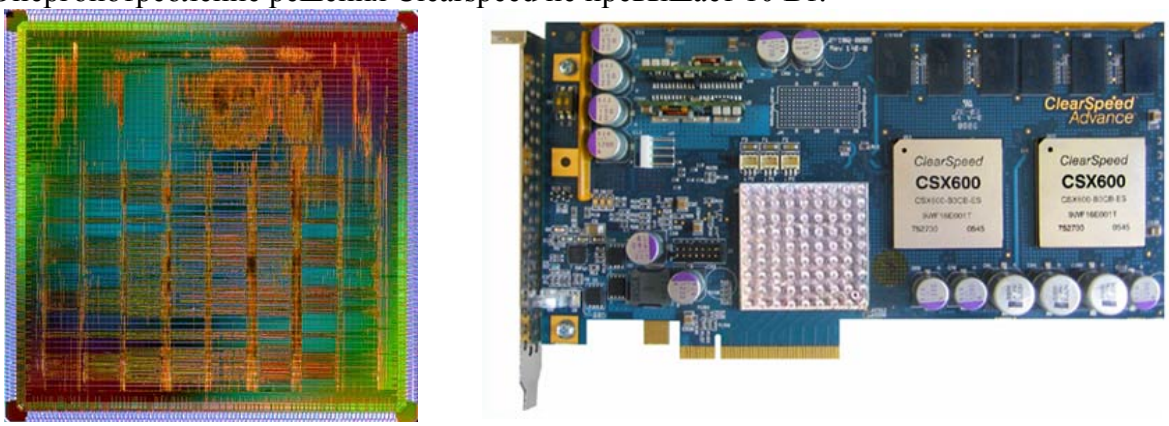


Рис. 9. Сопроцессора Clearspeed CSX600 и PCI Express плата на его основе

Потом вышло удачное решение от фирмы IBM PowerXCell 8i —процессор для серверов модельного ряда Cell.

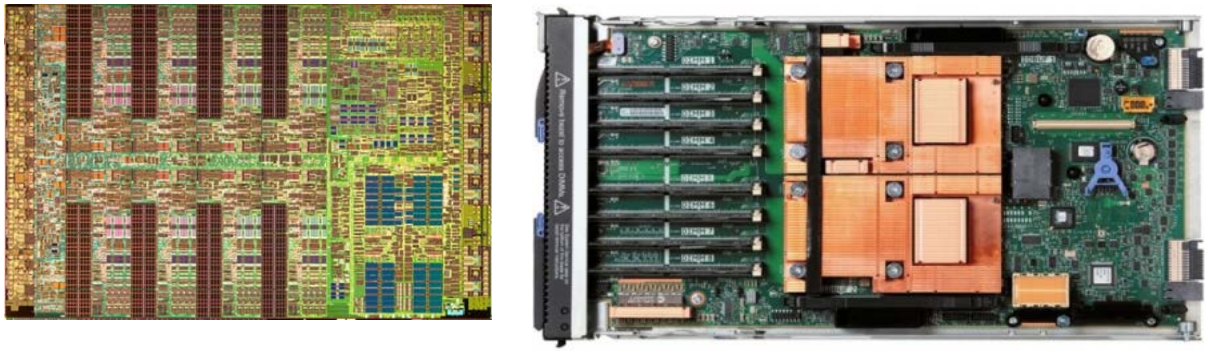


Рис. 10. Процессор Cell с двумя общими и 8 вспомогательными процессорами и блейд сервер на основе PowerXCell

Данное решение используется во второй на сегодняшний день (TOP500) суперЭВМ Sequoia - BlueGene/Q, IBM Ливермор, США

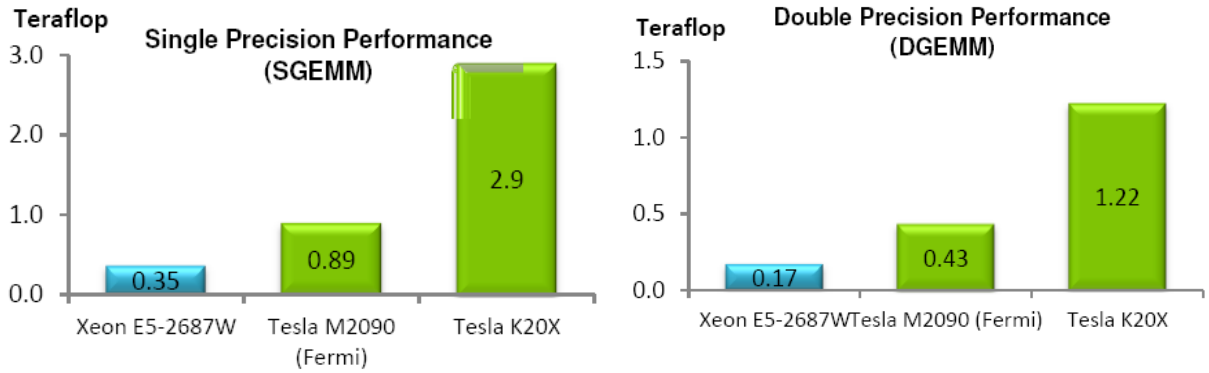
Дальше на сцену вышли разработчики графических ускорителей ATI (AMD)[4] и Nvidia [3]. Причем особенно отличилась фирма Nvidia со своей специализированной линейкой NVIDIA Tesla, которые предназначены только для вычислений и поэтому даже не имеет графического выхода, в отличии от близкой им серии NVIDIA Quadro. GPU NVIDIA Tesla – это массивно параллельные ускорители, основанные на платформе параллельных вычислений NVIDIA CUDA®.



Рис. 11. Графические ускорители NVIDIA Tesla и AMD FirePro

Например, в самой мощной на сегодняшний день суперЭВМ Titan установленной в Oak Ridge National Lab используется свыше 18 000 GPU NVIDIA Tesla K20.

Как уж отмечалось раньше, использование графических ускорителей позволяет резко повысить производительность, Приведем сравнительные данные, правда самой фирмы производителя NVIDIA.



Вычисления с одинарной точностью Вычисления с двойной точностью

Рис. 12. Сравнение производительности CPU и GPU при вычислениях с одинарной и двойной точностью

Как видим наблюдается повышение производительности по сравнение с CPU Xeon E5-2687W в 2.5. раза на GPU предыдущего поколения Tesla M2090 (Fermi) и в 8 раз на новых ускорителях GPU Tesla K20X.

В последнее время на сцену ускорителей - сопроцессоров вышла фирма Intel [5] со своим давно вынашиваемом продуктом Сопроцессор Intel® Xeon Phi™. Его особенностью является то, что в качестве сопроцессора используются хорошо зарекомендовавшие себя модернизированные процессоры архитектуры x86, которые выпускались еще по технологии 600 нм, а теперь переведены на 22 нм Это позволило установить на одну плату боле 50 процессоров. Очевидное достоинство- использование в качестве сопроцессора процессоров x86,что уменьшит затраты на создание программ.

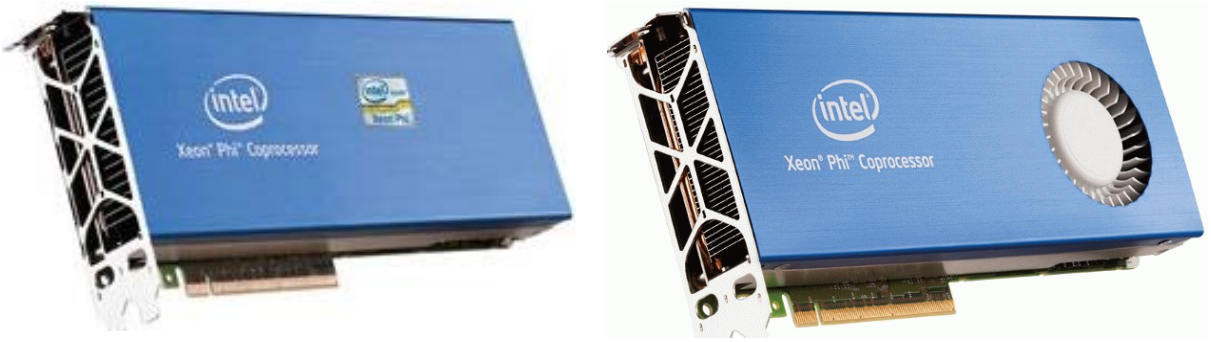


Рис. 13. Ускорители Intel Xeon Phi на PCI CARD серия 5110P с пассивным охлаждением и серия 3100 с активным охлаждением

Таблица 6

Параметры Intel Xeon Phi

Сопроцессор	**TDP, Вт**	**Производительность, TFlops/с двойная точность**
Intel Xeon Phi 3100	300	> 1.000
Intel Xeon Phi 5110P	225	1.011
Intel Xeon Phi SE10X,P	300	1.073

В ноябрьском выпуске списка самых мощных суперкомпьютеров (список №40) уже присутствуют семь систем на базе сопроцессоров Intel Xeon Phi. И это без учета использования других видов сопроцессоров, ранее появившихся на рынке. Что еще раз

подтверждает наметившуюся тенденцию широкого использования в суперЭВМ не только процессоров общего назначения, но и ускорителей/сопроцессоров.

Литература

1. TOP500- http://www.top500.org/
2. Википедия: http://ru.wikipedia.org/
3. Nvidia http://www.nvidia.ru/
4. AMD http://www.amd.com/ru/
5. Intel http://www.intel.ru/
6. Cray http://www.cray.com/

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Молоканов Д.Ю.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

В данной работе произведен анализ проблем функционирования электрических сетей энергосистем в зимний период, подробно рассмотрена проблем гололедообразования на воздушных линиях, приведена сравнительная характеристика функционального состава современных автоматизированных информационных систем мониторинга состояния воздушных линий электропередачи, а также предложено описание архитектуры автоматизированной информационной системы контроля гололедной нагрузки на воздушных линиях электропередачи.

Information system of ice formation detection in electric power system networks. Molokanov. D.

The problems of exploitation the electric power system networks in the winter are analyzed, ice formation on air power lines problem is considered in details, a comparative functional characterization of advanced automated systems monitoring of air power lines is performed and architecture of the automated information system of ice formation on electric power lines detection is described.

Воздушные линии (ВЛ) электропередач в Волгоградской области находятся в четвертом и пятом особых районах по гололеду, и подвержены образованию сверхрасчетных гололедных отложений (изморози, мокрого снега) на проводах в зимнее время и в межсезонье. При этом возможен обрыв проводов контактной сети, падение опор, что ведет к снижению надежности работы электрических сетей. Гололедообразование на проводах ВЛЭП возможно в период с октября по апрель. Оно происходит на границе холодных и теплых влажных воздушных масс воздуха при температуре от -2 до -5°С [3]. Для устранения гололеда используется специализированный метод плавки, когда часть энергосистемы отключается от передачи энергии потребителям и на нее подаются нагрузочные токи, приводящие к разогреву линий и плавке льда. Процедура плавки является сложной и дорогостоящей, что означает необходимость минимизации ее использования.

Эффективно выполнить задачу мониторинга ВЛЭП может только автоматизированная, т.к. информация, поступающая с устройств телеметрии достаточна, своевременна и точна. Анализ существующих аппаратно-программных систем контроля гололедной нагрузки, результат которой представлен в таблице 1, дает

нам основания утверждать, что существующие решения не в полной мере отвечают современным тенденциям развития информационных технологий, а также не отвечают всем потребностям пользователей системы (в первую очередь диспетчерам). В результате этого было принято решение о создании автоматизированная информационная система контроля гололёдной нагрузки (АИСКГН) и внедрении ее в сетях Волгоградской области.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика функционального состава АС

Критерии	Система мониторинга ВЛ ЛЭП (ООО «НТЦ Инструмент-микро» г. Энгельс)	АИСКГН (ООО «Спец КБП и СА» г. Невинномысск)
Определение метеопараметров на ВЛ	да	да
Информирование об аварийном режиме ЛЭП	да	да
Встроенные возможности мониторинга состояния ВЛ при плавке	да	да
Обнаружение образования гололеда	да	да
Работа на ВЛ 500 кВ	нет	да
Прогнозирование образования гололеда	нет	нет
Определение вероятности «пляски проводов»	да	нет
Поддержка резервных серверов	нет	нет
Использование системы вне локальной сети	нет	нет
Поддержка подключения высокоточных метеостанций	нет	нет
Возможность опроса датчиков в режиме реального времени (до 1 раза в секунду)	нет	нет
Работа в тонком клиенте (браузере)	нет	нет
Поддержка аутентификации в корпоративной Active Directory	нет	нет

АИСКГН «Энергощит» включает в себя следующие подсистемы [2]:

- подсистема пунктов контроля, устанавливаемых на опорах ВЛ;
- подсистема метеостанций, устанавливаемых на территории подстанций Волго-Донского ПМЭС;
- подсистема сбора, обработки и хранения данных;
- подсистема отображения информации.

На каждой ЛЭП на некоторые опоры устанавливаются шкафы мониторинга, которые собирают информацию о погодных условиях и состоянии грозотроса. В настоящий момент в системе предусмотрен сбор следующих параметров с опор ВЛ:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость ветра;
- направление ветра;

- нагрузка, создаваемая грозотросом в точке подвеса;
- температура грозотроса.

Метеорологические данные, полученные платой сбора данных, кодируются, дополняются контрольной суммой и передаются по запросу по беспроводным каналам связи на серверы системы.

Подсистема метеостанций помимо измерения таких же параметров, как и шкафы мониторинга на опорах (температуры воздуха, давления воздуха, относительной влажности воздуха, скорости ветра, направления ветра) обеспечивает измерение следующих параметров:

- интенсивности дождя;
- накопление дождя;
- интенсивность града;
- накопление града.

Устройство метеостанции снабжено цифровым интерфейсом RS-485, по которым осуществляется передача измеренных значений метеопараметров на GSM-модем, который осуществляет трансляцию данных по беспроводных каналам данных.

Серверов сбора и хранения данных может быть несколько и между ними настроена синхронизация данных для увеличения надежности функционирования системы. Также данная автоматизированная система выполняет: аутентификацию пользователей системы в службе каталогов Active Directory; разграничение доступа к объектам базы данных, настройкам системы и отчетам на основании ролей; протоколирование действий пользователей системы; репликацию баз данных между основным и резервным серверами системы; автоматическую организацию опроса пунктов контроля и метеостанций резервным сервером АИСКГН при неисправности основного сервера.

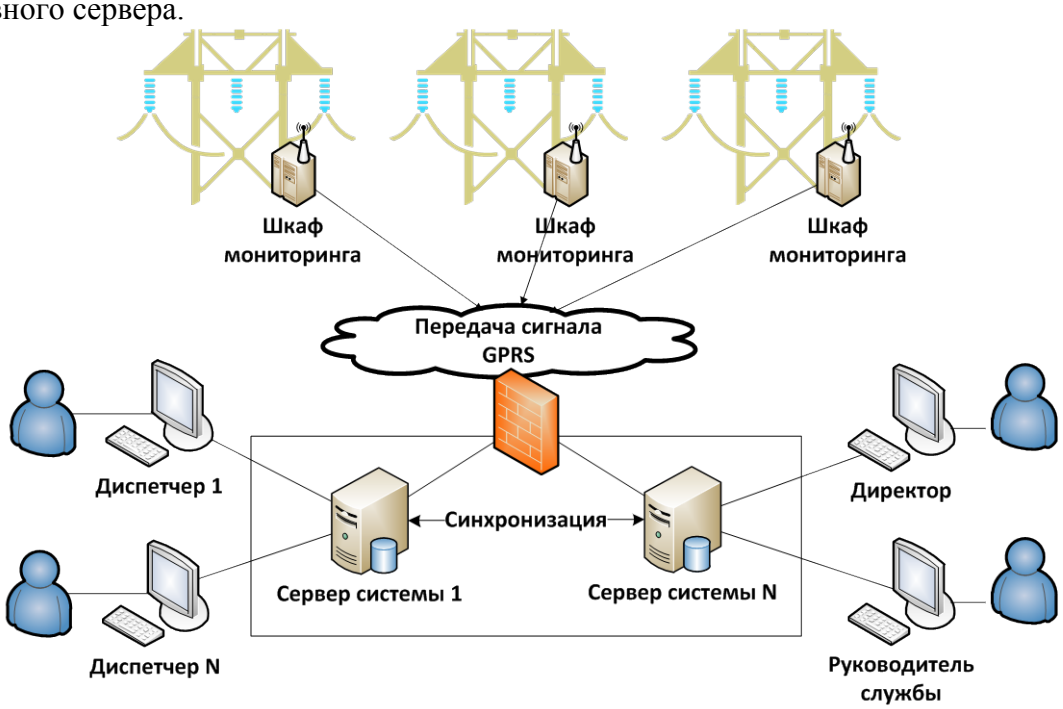


Рисунок 1. Схема функционирования АС.

Серверов сбора и хранения данных может быть несколько и между ними настроена синхронизация данных для увеличения надежности функционирования системы. Также данная автоматизированная система выполняет: аутентификацию

пользователей системы в службе каталогов Active Directory; разграничение доступа к объектам базы данных, настройкам системы и отчетам на основании ролей; протоколирование действий пользователей системы; репликацию баз данных между основным и резервным серверами системы; автоматическую организацию опроса пунктов контроля и метеостанций резервным сервером АИСКГН при неисправности основного сервера.

Автоматизированные рабочие места пользователей представлены Web-ориентированным программным обеспечением, обеспечивающим отображение результатов измерений пользователям системы, построение отчетов по измеренным параметрам за указанный временной интервал в виде графиков и таблиц, отображение информации шкафов мониторинга на карте местности, построение отчетов по действиям пользователей системы, визуальное и звуковое оповещение об опасности гололедообразования на ВЛ, визуальное и звуковое оповещение о несанкционированном доступе в шкаф мониторинга. Схема функционирования данной АС показана на рисунке 1.

В настоящий момент разработанная АИСКГН проходит внедрение в филиале ОАО «ФСК ЕЭС» - Магистральные электрические сети Центра (МЭС Центра) в Волгоградской области. В данную АИСКГН были подключены 16 метеостанций, расположенных на узловых распределительных подстанциях, и 84 пункта контроля, которые были установлены на критических участках электрической сети Волгоградской области, наиболее часто подвергающихся опасным метеорологическим испытаниям. Со всех источников с заданным интервалом времени (1 мин, 5 мин, 15 мин, 1 час) круглосуточно в режиме реального времени происходит сбор данных и их отображение на клиентской части АИСКГН. На рисунке 2 показан снимок главного окна клиента автоматизированной системы.

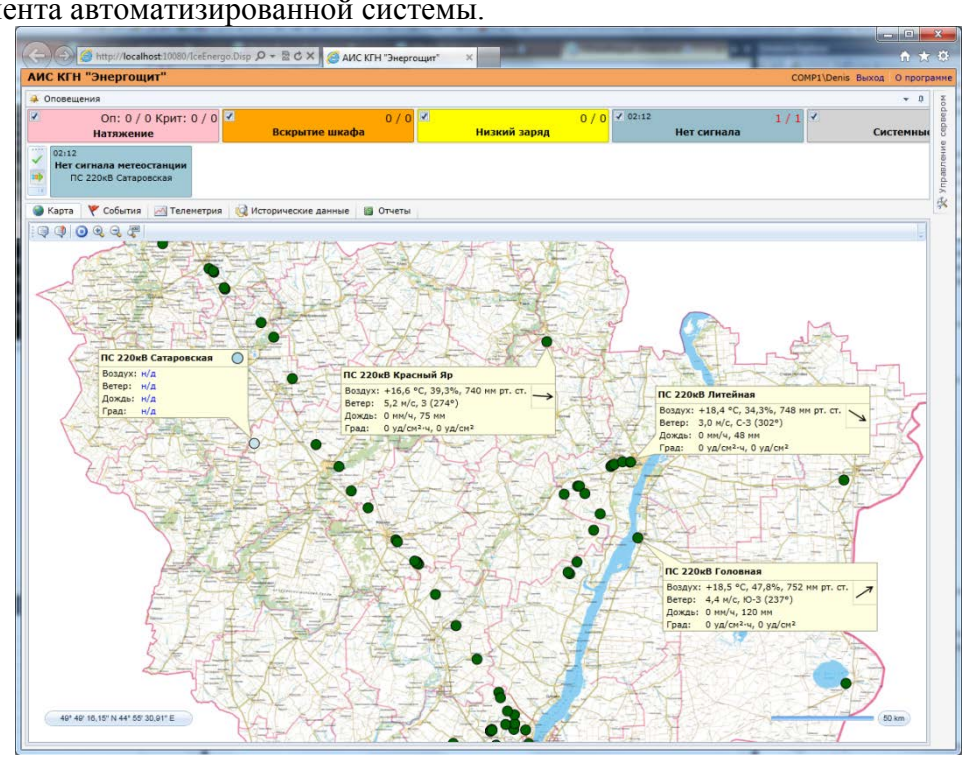


Рисунок 2. Отображение состояния метеорологических параметров на распределительных подстанциях на карте.

В результате разработки автоматизированной информационной системы контроля гололедной нагрузки «Энергощит» удалось повысить надежность и

отказоустойчивость ВЛ, снизить среднегодовую стоимость эксплуатации ВЛ за счет сокращения затрат на техническое обслуживание и ремонт ВЛ в результате аварий, вызванных гололедом. В настоящее время ведется активная работа по разработке математической модели для прогнозирования образования гололедной нагрузки на ВЛ, которая позволит не только выполнять мониторинг состояния опор на ВЛ и определять факт образования гололеда, но и производить расчет вероятности его возникновения на основе собранных метеорологических данных, а также заранее планировать порядок и длительность плавки.

Литература

1) Камаев, В.А. Анализ методов оценки качества функционирования и эффективности систем защиты информации на предприятиях электроэнергетики // В.А. Камаев, В.В. Натров, // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 1(60) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.1). – С. 74-76.

2) Молоканов, Д.Ю. Автоматизированная информационная система контроля гололёдной нагрузки на воздушных линиях электропередачи / Д.Ю. Молоканов, П.П. Кудряшов, А.М. Герасимов, С.А Фоменков. // Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 15(102) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. (Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып.15). – С. 52-57.

3) Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». Методические указания по применению сигнализаторов гололёда (СГ) и прогнозированию гололёдоопасной обстановки. – ОАО «ФСК ЕЭС». – 2012.

4) Хабибулли, М. С. Опыт усовершенствования и разработки новых принципов телеизмерений гололедных нагрузок на проводах ВЛ-110 500 кВ. // Вторая научно-технической конференция молодых специалистов электроэнергетики. – Москва, 1999.

КОНСТРУКТИВНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЫЛЕОЧИСТКИ В МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ АСПИРАЦИИ

Морозова Н.Р.
Балаковский институт техники, технологии и управления (филиал) ФГБОУ ВПО Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Конструктивная интенсификация процесса пылеочистки в мобильных аспирационных системах состоит в том, что загрязненный поток воздуха первой ступенью очистки поступает в противоточный циклон со струевыпрямителем, где очищается от крупных частиц (стружки, опилки), после чего поступает на вторую ступень очистки – систему базальтовых фильтров. Применение конструктивной интенсификации процесса пылеочистки в мобильных системах аспирации - эффективное удаление отходов и возвращение очищенного воздуха в цех.

Constructive intensification of the process of dust cleaning in mobile systems of aspiration. Morozova N.

Constructive intensification of the process of dust cleaning in mobile aspiration systems consists in the fact that contaminated air flow the first step of cleaning comes in противоточный cyclone with струевыпрямителем, where is cleared of large particles

(chips, sawdust), after which enters the second stage of cleaning - system of basalt filters. The use of constructive intensification of the process of dust cleaning in mobile systems of aspiration - effective waste disposal and return of the purified air in the workshop.

Мобильная система аспирации применяется как на малых производствах, так и на больших. Основным преимуществом данной системы аспирации является мобильность. Мобильные аспирационные установки можно легко перемещать по всей площади цеха, тем самым использовать одну установку сразу для нескольких станков. Для больших предприятий мобильные аспирационные установки дают возможность подключать небольшие позиционные станки «по месту» и не привязывать их к централизованной аспирационной системе предприятия.

Оптимальные конструкции известных распространенных мобильных систем аспирации различных модификаций и исполнений, представляют собой комплекс (моноблок), который включает в себя: транспортный вентилятор или режущий модуль, сепаратор и бункер для сбора отходов. Недостатком данных мобильных систем аспирации является то, что быстро скапливающиеся в мешке отходы снижают площадь фильтрации, что приводит к уменьшению объема аспирируемого воздуха вплоть до нуля.

Конструктивная интенсификация мобильной системы аспирации состоит в том, что загрязненный поток воздуха первой ступенью очистки поступает в противоточный циклон со струевыпрямителем, где очищается от крупных частиц (стружки, опилки), после чего поступает на вторую ступень очистки – систему базальтовых фильтров. Назначение двухступенчатой системы очистки - эффективное удаление отходов и возвращение очищенного воздуха в цех.

Данное конструктивное оформление мобильной системы аспирации позволяет снизить потребление электроэнергии за счет установки на входе в выхлопную трубу струевыпрямителя, и позволит повысить степень очистки за счет использования двухступенчатой системы пылеочистки.

Изменение режима движения очищенного газа в выхлопной трубе циклона с закрученного (каким он продолжает оставаться, при выходе из циклона) на организованно-направленный достигается за счет установки на входе в выхлопную трубу струевыпрямителя, который позволяет направить поток газа, выходящий из первой ступени очистки (циклона) на вторую ступень – систему базальтовых фильтров, без потери скорости потока, следовательно, без уменьшения производительности данной мобильной системы аспирации. Поток воздуха, проходящий через струевыпрямитель, из закрученного преобразуется в прямолинейный. При этом, режим движения потока газа переходит в организованно направленный, что снижает затраты на его перемещение.

Для определения оптимальной конструкции струевыпрямителя были проведены экспериментальные исследования путем создания струевыпрямителей различных типоразмеров, которые показали следующие результаты (рис.1, рис.2)

Данные эксперимента доказали снижение энергозатрат за счет применения конструктивной интенсификации процесса обеспыливания в мобильной системе аспирации.

Конструктивная интенсификация мобильных систем аспирации дают возможность снизить запыленность процессов до ПДК с меньшими расходами воздуха.



Рис.1

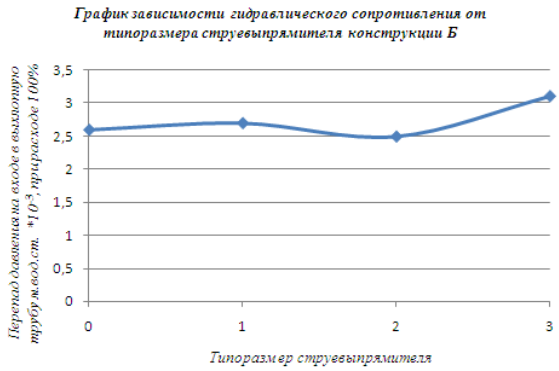


Рис.2

ДВУХЭТАПНАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЕБ-САЙТА ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Новиков О.В.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассматривается способ улучшения производительности рекомендательных систем при помощи предварительного выделения групп пользователей с похожим поведением. Для разбиения пользователей на группы используются алгоритм k-средних и алгоритм canopy для определения начальных центроидов.

Two-step clustering of web usage data for highload recommendation systems. Novikov O.

This article represents a new technique for collaborative filtering based on pre-clustering of website usage data. The key idea involves using two-step clustering to define groups of different users.

Количество информации, представленной в сети интернет, достигло огромных размеров и продолжает быстро расти. Посетителям веб-сайтов зачастую сложно найти интересующие их данные. Совершенно разные пользователи видят одни и те же страницы, и из всего объема материалов, представленных на них, конкретному человеку будет интересна лишь малая часть. Не найдя нужную информацию, люди уходят с сайта, считая, что её там нет, и больше на него не возвращаются. Генерация рекомендаций в реальном времени на основе пользовательских данных является очень ресурсоемкой задачей, что особенно актуально для высоконагруженных веб-сайтов. Коллаборативная фильтрация по пользователям является одним из наиболее эффективных рекомендательных алгоритмов, но обладает рядом недостатков. Среди них - невозможность генерировать рекомендации для новых пользователей и плохая масштабируемость. Первая проблема может быть решена при помощи использования коллаборативной фильтрации по схожести страниц. Значительно улучшить производительность позволит предварительное выделение групп пользователей с похожим поведением. При этом дистанцию между двумя пользователями, входящими в разные группы, можно будет считать бесконечной.

Существуют различные способы получения рекомендаций, среди них можно выделить основанные на правилах и фильтрации.

1. Рекомендации на основе вручную задаваемых правил

Такой подход позволяет веб-мастеру задавать набор правил, определяющих логику рекомендаций. Для этого необходим человек, хорошо знакомый с предметной областью. Этот тип рекомендаций представляет собой гибкий инструмент для настройки маркетинговых кампаний и может применяться для перекрестных продаж. Правила определяют, что человеку, только что купившему товар А, следует предложить товар Б. Так, после покупки мобильного телефона можно рекомендовать чехол для него. Данный тип рекомендаций может быть совмещен с подходами на основе фильтрации.

2. Фильтрация

Рекомендации, использующие фильтрацию, анализируют мета-данные о пользователе для выделения наиболее интересного для него контента. Можно выделить фильтрацию по группам, по содержимому страниц и коллаборативную фильтрацию.

В случае с фильтрацией по группам, пользователи или страницы делятся на группы, каждой из которых соответствует определенная версия содержимого сайта. Пользователей можно разделять на классы по разным признакам - география, источник, время и частота посещений и т.д. При этом информация, предоставляемая сайтом, будет ориентирована именно на пользователей из конкретного класса. Например, можно отфильтровывать новости из конкретного города или же посетителям, пришедшим из социальных сетей, предлагать авторизацию с их помощью; активным пользователям - предлагать продвинутый функционал, новых - знакомить с основными возможностями сайта и т.д.

Подходы, основанные на фильтрации по контенту, базируются на анализе содержимого страниц. Делаются предположения, что если человек посещает страницы определенной тематики, то ему будет интересно просмотреть другие материалы по той же теме. Способ анализа страниц сильно зависит от их содержимого. Это может быть выделение наиболее значимых слов и составление обратного индекса для текстовых документов. Если у страниц есть теги, подбор материалов может осуществляться по принципу максимального пересечения тегов у двух страниц.

Коллаборативные методы накапливают данные о предпочтениях пользователей с помощью явных и не явных методов, для того чтобы находить пользователей с похожими интересами. В отличие от контентных методов, ищутся не страницы, похожие на те, которые были просмотрены, а пользователи с похожим поведением.

Алгоритмы коллаборативной фильтрации можно разделить на два класса: анамнестические (memory-based) и модельные (model-based). Анамнестические алгоритмы сравнивают поведение текущего пользователя со всеми остальными, о которых есть данные, для того чтобы определить n наиболее похожих на него пользователей. Похожесть пользователей x и x’ может определяться при помощи различных метрик, таких как евклидово или манхэттенское расстояние. Как правило, для определения схожести двух страниц или пользователей используется коэффициент корреляции Пирсона.

У всех подобных алгоритмов есть два существенных недостатка: разреженность данных о поведении пользователей и плохая масштабируемость. Большинство пользователей посещает всего несколько страниц из всего множества материалов сайта, поэтому матрица пользователей-страниц заполнена нулями. Следовательно, точность такого подхода не высока.

Модельные алгоритмы используют разделение пользователей на группы, основываясь на их поведении. Для составления рекоммендаций определяется наиболее близкая пользователю группа. Среди таких алгоритмов можно выделить основанные на сетях Байеса и кластеризации.

Большое количество различных веб-сайтов с разными целями требует разных способов генерации рекомендаций. Так, новостному сайту и энциклопедии нужны разные подходы к персонализации, из-за того что новости быстро становятся неактуальными, в отличие от статей. Таким образом, ни один из существующих методов не может удовлетворить потребности всех сайтов. Выбор подхода засисит от множества факторов - назначения сайта, его устройства, ресурсов и т.д. Система, использующая и развивающая лучшие из современных подходов, позволит создать гибкий инструмент, подходящий для широкого круга пользователей.

Подходы, основанные на вручную задаваемых правилах и выделении групп пользователей, предоставляют широкие возможности по персонализации и при этом не требуют больших трат на разработку и сопровождение.

Фильтрация по контенту лучше всего работает в ситуациях, когда содержимое страниц легко поддается анализу. Рекомендации ограничены по тематике, т.к. основываются только на том контенте, который просмотрел пользователь. В некоторых случаях подобный анализ содержимого невозможен (например, нельзя найти схожие по тематике видеоролики или аудиозаписи). Но даже при работе с текстовыми документами возникает множество проблем, связанных с неоднозначностями в тексте. При таком подходе каждый документ рассматривается как вектор слов, где каждому слову соотвествует определенный вес. Документы кластеризуются в группы в соответствии с какой-либо метрикой расстояния между векторами. Но одно и тоже слово может иметь различный смысл в зависимости от контекста, что не учитывается в контентной фильтрации.

В случае с интернет-магазинами, коллаборативная фильтрация лучше всего подходит для рекомендации схожих однотипных товаров. Это вызвано тем, что схожесть объектов измеряется при помощи некоторой метрики, отражающей дистанцию между двумя объектами, представленными в виде вектора оценок. Таким образом, чем больше у пользователей одинаково оцененных товаров, тем они ближе.

Методы составления рекомендаций, основанные на коллаборативной фильтрации, позволяют обрабатывать данные о десятках тысяч пользователей со скоростью, достаточной для того, чтобы показывать рекомендации пользователю, который в данный момент находится на сайте. Но популярные интернет-магазины и медиа нуждаются в рекомендательных системах, которые будут способны обрабатывать данные о десятках миллионов пользователей, чтобы найти других посетителей с похожим поведением. Существующие алгоритмы имеют проблемы с производительностью, особенно для пользователей, о которых есть много данных. Например, если в качестве информации о поведении посетителей используется список страниц, которые они посетили, то для наиболее активных пользователей длина такого списка может составлять тысячи записей. Это снижает скорость обнаружения похожих пользователей и ухудшает масштабируемость системы. Другой проблемой является улучшение качества рекомендаций для пользователей. Система должна предоставлять точные предположения, отражающие интересы пользователей. Иначе, посетители, воспользовавшиеся рекомендательной системой и неудовлетворенные ее работой, не станут использовать ее в дальнейшем, что приведет к снижению продаж или числа показов рекламных материалов. Поэтому улучшение скорости работы системы не должно стать причиной ухудшения качества рекомендаций.

Для получения рекомендаций при использовании коллаборативной фильтрации по пользователям требуется сравнить данные о поведении нового пользователя с данными о поведении всех остальных пользователей, которые посещали веб-сайт. Очевидно, что это может занять слишком продолжительное время, и рекомендации будут получены, когда пользователь уже покинет сайт. Одним из способов решения

этой проблемы является переход от персональных рекомендаций к групповым, когда пользовали заранее (например, раз в сутки) распределяются по кластерам. При этом рекомендации делаются уже не для каждого конкретного посетителя, а для группы. Таким образом, нового посетителя нужно сравнивать не со всеми пользователями, о которых есть информация, а с группами, которых значительно меньше. Такой подход снижает точность рекомендаций, но позволяет сильно снизить нагрузку. Кроме того, появляется возможность кеширования рекомендаций, т.к. одни и те же рекомендации будут запрашиваться многократно разными пользователями.

Производительность может быть повышена путем снижения размерности исходных данных. Это может быть сделано при помощи предварительного выделения групп схожих пользователей и выполнения алгоритма коллаборативной фильтрации внутри групп. Это позволит решить проблему с разреженностью исходных данных и улучшить масштабируемость. При использовании коллаборативной фильтрации совместно с выделением групп пользователей, данные о поведении посетителей по прежнему должны быть кластеризованы, но рекомендации будут сгенерированы специально для конкретного человека. Для этого сначала определяется наиболее подходящая группа пользователей, а затем используется коллаборативная фильтрация, но сравнение производится только с пользователями, входящими в эту группу.

Алгоритм составления рекомендаций может быть представлен следующим образом:

1)Выделить группы пользователей

2)Для текущего пользователя определить наиболее близкую ему группу

3)Среди пользователей, входящих в эту группу, определить n наиболее похожих на текущего пользователя посетителей

4)Среди всех тегов, материалы по которым просмотрели данные пользователи, выделить те, контент по которым еще не видел текущий пользователь

Кластеризация пользователей с помощью алгоритма k-средних

Алгоритм получает данные о поведении пользователей в виде векторов и число кластеров k. Первым шагом первые k пользователей выбираются в качестве центроидов кластеров. Затем, для каждого из оставшихся пользователей определяется ближайший центроид. После этого, значения центроидов рассчитываются заново, как среднее арифметическое по координатам векторов, входящий в каждый кластер.

В каждой итерации алгоритма требуется совершить N операций сравнения векторов, где N - число пользователей. Таким образом, вычислительная сложность алгоритма $O((k^2)*N)$. Схожесть двух пользователей определяется коэффициентом корреляции Пирсона.

Определение центроидов для алгоритма k-средних

Алгоритм Canopy позволяет значительно сократить число операций по вычислению расстояния между элементами, разделив исходные данные на пересекающиеся подмножества, после чего расстояние рассчитывается только между элементами, входящими в одно подмножество. Для кластеризации сначала используется быстрая и неточная метрика измерения расстояния, а затем более сложная.

На первом шаге создаются подмножества элементов, которые удалены от центра кластера не дальше, чем какое-то заранее известное пороговое значение. При этом один и тот же элемент может входить сразу в несколько таких подмножеств, и каждый элемент входит как минимум в одно подмножество.

Предполагается, что элементы из разных подмножеств достаточно удалены, чтобы не оказаться в одном кластере. При использовании быстрой и неточной меры расстояния это свойство может не выполняться, но т.к. подмножества могут

пересекаться, а пороговое значение может быть выбрано достаточно большим, можно считать данное предположение истинным. После этого может быть выполнен алгоритм k-средних с более точной мерой для измерения расстояния между пользователями. При этом расстояние между двумя элементами, входящими в разные подмножеста, может быть принято за бесконечность.Если же все пользователи окажутся достаточно похожими и окажутся в одном подмножестве, то по сути, будет выполнен обычный алгоритм k-средних.

Таким образом, алгоритм Canopy позволяет решить сразу несколько проблем алгоритма k-средних - определяется число кластеров и расположение начальных центроидов, а также значительно сокращается время выполнения.

При этом, предварительное разбиение дынных на подмножества не изменит итогового результата кластеризации. В случае алгоритма k-средних, где расстояние до кластера измеряется как расстояние до его центроида, точность кластеризации сохранится если для каждого итогового кластера найдется такое подмножество, в которое будут входить все элементы итогового кластера. В качестве меры расстояния для первого шага кластеризации должна быть выбрана метрика, время на вычисление которой минимально. При анализе поведения пользователей веб-сайта такой метрикой может быть, например, число общих тегов, материалы по которым просмотрели пользователи.

Процесс разбиения пользователей на группы может быть сильно ускорен при решении основных проблем алгоритма кластеризации K-средних, связанных с выбором начальных центроидов и количества кластеров. Для этого может быть использован алгоритм Canopy, который разделяет исходные данные о пользователях на пересекающиеся подмножества. Кластеризация может выполняться параллельно в несколько потоков, что позволяет решить основную проблему алгоритмов коллаборативной фильтрации — плохую масштабируемость и невозможность их использования на высоконагруженных веб-сайтах.

Литература

1) Новиков О.В. Сегментация пользователей веб-сайта на основании данных о их поведении. Ежегодная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ. Тезисы докладов. МИЭМ, 2011.

2) Andrew McCallum, Kamal Nigam, Lyle H. Ungar. *Efficient clustering of high-dimensional data sets with application to reference matching.* Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, 2000.

3) Sarwar, Badrul M., et al. Recommender systems for large-scale e-commerce: Scalable neighborhood formation using clustering. Proceedings of the fifth international conference on computer and information technology. Vol. 1. 2002.

4) Gabor Takacs, Istvan Pil´aszy, Bottyan N´emeth, Domonkos Tikk. Scalable Collaborative Filtering Approaches for Large Recommender Systems. Journal of Machine Learning Research, 2009.

САМОУПРАВЛЯЕМЫЙ АВТОМОБИЛЬ КАК ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Палагута К.А.
ФГБОУ ВПО "Московский государственный индустриальный университет"

Рассмотрены вопросы повышения безопасности автотранспортных средств путем развития концепции самоуправляемого автомобиля.

THE SELF-STEERED CAR AS A POSSIBLE WAY TO INCREASE THE SAFETY OF VEHICLES

Palaguta K.A.
FGBOU VPO "Moscow State Industrial University"

There are considered the problems of improving the safety of vehicles through the development of the concept of self-steered car.

Последние годы всё более активно рассматривается перспектива освобождение человека от многих функций, реализуемых водителем автомобиля. На рис. 1 показано, как эта идея может выглядеть в реальной жизни.



Рис. 1. Человек за рулем самоуправляемого автомобиля

По некоторым прогнозам, представленным, например, доктором Альберто Броджи (Alberto Broggi) из института IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) в Парме, Италия, к 2040 году 75% автомобилей будут управляться автопилотом.

Уже сейчас «беспилотные» автомобили — далеко не фантастика. Подразделение Cadillac в составе GM планирует наладить массовое производство частично автономных машин к 2015 году, а полностью «беспилотных» — к 2020. Audi и BMW уже успели выдать прототипы полностью автономных автомобилей. А Google тем временем развивает собственный проект: целая группа ее полностью автономных

гибридов Toyota Prius (рис. 2) уже накатала свыше 480 000 километров без единой аварии.

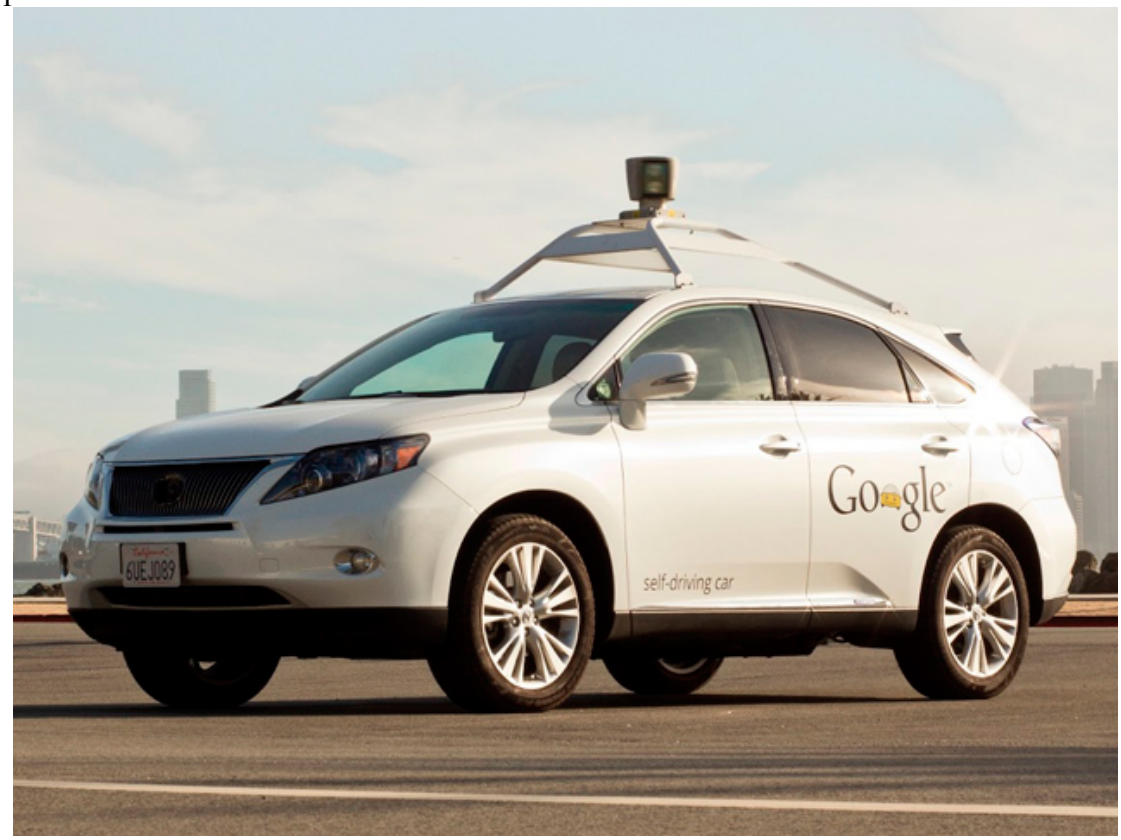


Рис. 2. Полностью автономный автомобиль Toyota Prius

Аналогичный проект существует и у команды доктора Броджи. В 2010 году два беспилотных автомобиля успешно совершили автопробег длиной 8 000 миль из Пармы в Шанхай. Профессор убежден: подобные беспилотники намного меньше зависят от инфраструктуры, чем обыкновенные автомобили.

Машины Google используют для навигации очень точные карты и для ориентировки пользуются технологией LIDAR. Машинам команды доктора Броджи, покрывшим расстояние от Пармы до Шанхая, карты не нужны — их система навигации построена на камерах. В обоих случаях инфраструктура практически не нужна.

Впрочем, полностью отказаться от поддержки со стороны инфраструктуры не получится. Как полагает Борджи, еще до того момента, когда число беспилотников превысит число обычных автомобилей, будет введена единая коммуникационная служба, которая позволит связать всех участников дорожного движения воедино.

У самоуправляемых автомобилей есть масса преимуществ. Они могут обнаруживать препятствия, избегать их, а также они всегда придерживаются намеченного маршрута. Но эффективное регулирование такого автоматического движения возможно только тогда, когда эти машины будут координировать свои действия друг с другом (рис. 3).

Подобная система информационного взаимодействия автомобилей друг с другом (V2V; vehicle-to-vehicle) как раз тестируется на полигоне NHTSA в Энн Эрбор. Входящие в нее машины обмениваются данными о своих координатах, маршруте и о дорожной ситуации, чтобы избежать столкновений.



Рис. 3. Иллюстрация функционирования системы V2V

Тем временем фирма Volvo испытывает в Европе собственную разработку — «дорожные поезда» (рис. 4). Как полагает профессор Броджи, автопоезд, машины в составе которого движутся очень близко друг к другу, обеспечивает большую пропускную способность на дороге, меньшее количество вредных выбросов и меньший расход топлива.

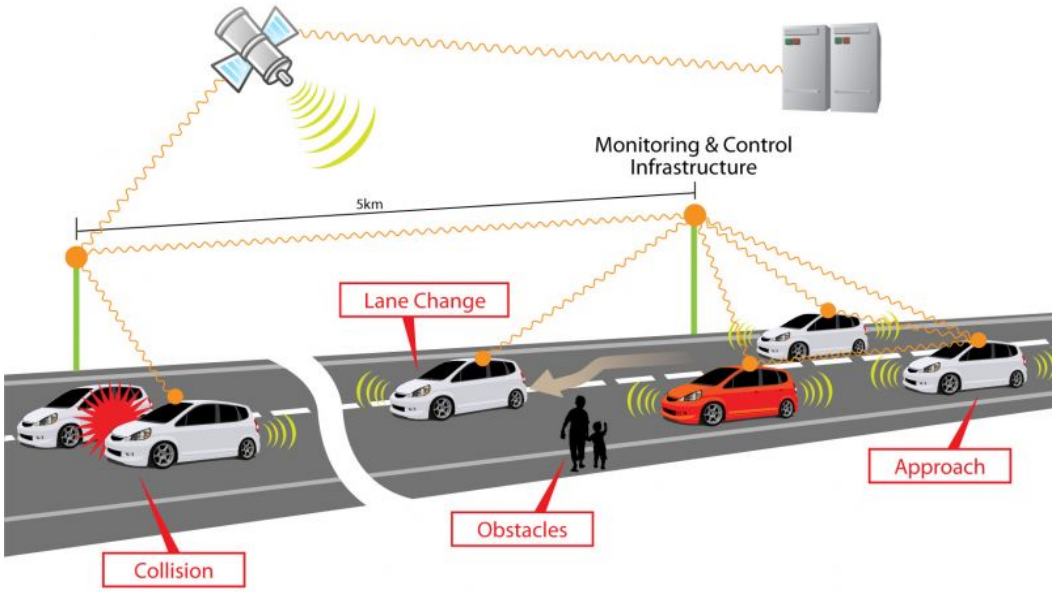


Рис. 4. «Дорожный поезд»

Коммуникация «автомобиль-инфраструктура» (V2I) также позволит машинам обмениваться данными о своих координатах, направлении и предполагаемом маршруте с центральной станцией. Это позволит координировать информацию о дорожной ситуации и в соответствии с этим корректировать поведение автомобилей.

Предположим, что все автомобили связаны с центральной станцией, которой известны точные координаты и направление движения каждого из них. Станция может корректировать скорость каждого автомобиля на перекрестке таким образом, чтобы они одновременно пересекали его и при этом не сталкивались. В этом случае светофоры будут не нужны, поскольку координирование потока будет осуществляться на более высоком уровне. Аналогичная разработка уже тестируется в Европе: система совмещает в себе коммуникацию V2V и V2I и известна как V2X (рис. 5).



Рис. 5. Иллюстрация работы системы V2X.

IEEE предсказывает, что такие автомобили будут доступны людям с любыми физическими ограничениями. Тем более что массовое применение «беспилотников» может сделать бессмысленным такое понятие как водительские права. Азим Эскандариан (Azim Eskandarian), директор Центра по разработке интеллектуальных систем IEEE аргументирует эту точку зрения тем, что людям не нужно никаких лицензий, чтобы сесть в трамвай или автобус. То же самое происходит и в беспилотном автомобиле, когда вмешательство водителя в процесс управления будет исключено. Так что не потребуется никаких особых навыков, чтобы использовать такой вид транспорта.

В IEEE уверены, что общество воспримет идею самоуправляемого транспорта положительно, но только в случае постепенного ввода системы в эксплуатацию. По мере того как автоматам будут все чаще передаваться такие функции, как параллельная парковка или торможение, люди начнут все больше доверять этим технологиям. Так что к 2040 году беспилотные автомобили будут уже широко распространены и, вполне вероятно, составят большинство машин на дорогах.

Перспективы повышения безопасности автотранспортных средств путем перехода к самоуправляемым автомобилям имеют под собой вполне реальные основания, но остаются проблемы, решение которых еще далеко от завершения:

- надежность работы технических средств и программного обеспечения, используемых как в автомобиле, так и в специально создаваемой инфраструктуре;
- поведение автотранспортных средств при резком уменьшении объема информации, поступающей от системы датчиков состояния окружающей среды, например, легковой автомобиль в окружении большегрузных автомобилей;

- труднопредсказуемое поведение таких участников движения, как пешеходы, велосипедисты, мотоциклисты и другие, где управление движением не обеспечивается автоматической системой.

Таким образом, количественная оценка повышения безопасности автотранспортных средств при широком внедрении самоуправляемых автомобилей остается актуальной задачей.

Литература

1. Autonomous Ground Vehicles, Umit Ozguner, Tankut Acaramn, Keith Redmill, © Copyright 2011 Artech House, 685 Canton Street, Nordwood, MA 06026
2. R. Bossom et al., “D31 European ITS Communication Architecture - Overall Framework,” COM-eSafety System Architecture, Oct. 2008. [Электронный ресурс] URL: http://www.comesafety.org.
3. “National ITS Architecture Version 6.1”, © Copyright 2009 Iteris, Inc., [Электронный ресурс] URL: http://www.iteris.com/itsarch.
4. ISO/TC 204 "Intelligent transport systems”, [Электронный ресурс] URL: http://www.tiaonline.org/standards/secretariats_tags/iso_tc204.
5. NGO ITS-Russia, [Электронный ресурс] URL: http://www.its-russia.net.

A. Schmid et al., “D.CVIS.3.2 High Level Architecture”, 2007, [Электронный ресурс] URL: http://www.cvisproject.org.

6. The dynamic module system for java, March 2009. [Электронный ресурс] URL: http://www.osgi.org.
7. ITU-T, “Intelligent Transport Systems and CALM,” Technology Watch Briefing Report # 2, Nov. 2007; [Электронный ресурс] URL: http://www.itu.int/oth/T3201000001.
8. R. Ramirez-Iniguez, Optical Wireless Communications “IR for Wireless Connectivity”, Glasgow Caledonian University, Scotland, CRC Press, 2008.
9. Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), “Broadband Mobile Communications Towards a Converged World, Emerging Technology Scenario: What Are The Future Broad-band mobile Services?”, © ITU, February 2004, [Электронный ресурс] URL: http://www.etri.re.kr/e_etri/index.php.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА АВТОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

К.А. Палагута, Л.А. Широков
ФГБОУ ВПО "Московский государственный индустриальный университет"

Рассмотрена иерархическая структура автотранспортной системы, позволяющая перейти от усредненных показателей к показателям конкретных групп.

Hierarchical structure of the road transport system. Palaguta K.A., Shirokov L.A.

Considered hierarchical structure of the road transport system that allows a switch of the average to the indicators of specific groups.

Применительно к транспортному процессу структурную схему системы эксплуатации автомобилей принято представлять состоящей из четырех основных блоков: «водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС) (рис.1). Такая схема позволяет анализировать как систему в целом, так и отдельно подсистемы.

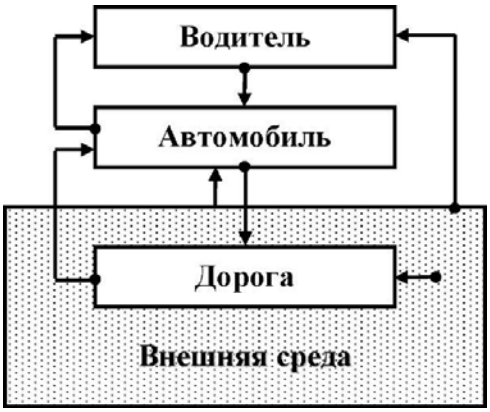


Рис. 1. Структурная схема системы эксплуатации автомобильной техники

В приведенной структурной схеме можно выделить следующие основные подсистемы: 1 – внешняя среда – водитель; 2 – водитель – автомобиль; 3 – автомобиль – дорога; 4 – внешняя среда – дорога; 5 – дорога – автомобиль; 6 – автомобиль – водитель; 7 – внешняя среда – автомобиль.

Анализ взаимодействия подсистем имеет большое значение при определении эффективности эксплуатации транспорта.

Подсистема «внешняя среда – водитель» является информационной моделью транспортного процесса. Она базируется на психологических особенностях взаимодействия водителя с условиями движения. Внешняя среда представляет собой информационное поле, которое формирует у водителя эмоциональное напряжение. Водитель, анализируя внешнюю среду, избирает такую ориентацию, которая обеспечивает безопасность движения и минимальное эмоциональное напряжение. В этом сущность взаимодействия компонентов данной подсистемы.

Подсистема «водитель-автомобиль» – эргономическая модель, базирующаяся на физиологических возможностях водителя и исполнительных механизмах автомобиля. Получив от внешней среды информацию и проанализировав ее, водитель взаимодействует с исполнительными механизмами, управляет движением автомобиля, задает ему рациональные режимы движения. При сочетании движения автомобилей на дороге создается транспортный поток. Исследование подсистемы «водитель – автомобиль» имеет большое значение для решения отдельных задач по эксплуатации автомобилей, в том числе и задачи обеспечения безопасности движения,

Подсистема «автомобиль – дорога» представляет собой механическую модель транспортного процесса. Основное внимание в этой подсистеме уделяется взаимодействию автомобиля через подвеску и колеса с дорожным покрытием. При движении автомобиль воздействует на проезжую часть, в результате чего в дорожном покрытии возникают напряжения, влияющие на его прочность и долговечность. Исследование рассматриваемой подсистемы позволяет разработать различные мероприятия (содержание и ремонт) по поддержанию дорог в хорошем техническом состоянии.

Подсистема «внешняя среда – дорога» – сложная тепломассообменная модель. Она базируется на анализе воднотеплового воздействия географических комплексов (климата, рельефа местности, грунтов, гидрологии, гидрогеологии и т.д.) на дорогу. Так, например, воздействие атмосферных осадков ухудшает эксплуатационные качества покрытий. Исследование данной подсистемы позволяет разработать мероприятия по повышению устойчивости дорог и безопасности движения.

Подсистема «дорога – автомобиль» является динамической моделью (обратная связь подсистемы «автомобиль – дорога»). Она базируется на анализе колебательного

процесса при движении автомобиля по проезжей части. Вследствие наличия различных неровностей покрытий автомобиль испытывает случайные воздействия. Это вызывает сложный колебательный процесс колес, кузова, автомобиля в целом. Исследование подсистемы весьма важно в теории эксплуатационных свойств автомобиля. Оно позволяет решать различные задачи – рассчитывать расход топлива, определять возможную скорость движения, производительность автомобиля и др.

Подсистема «автомобиль – водитель» является обратной связью подсистемы «водитель – автомобиль». Анализ этой подсистемы позволяет изучить влияние условий движения на работоспособность водителей. В частности, могут быть установлены предельные нормы вибрации и шума для водителей. Эффективность расстановки органов управления, размеры салона автомобилей и т.д.

Подсистема «внешняя среда – автомобиль» представляет интерес при исследовании надежности автомобилей, их работы в различных климатических условиях.

Все подсистемы между собой в той или иной степени взаимосвязаны. Вместе с тем каждую подсистему можно представить отдельными элементами.

В то же время используемая модель не позволяет достаточно детально проанализировать различные аспекты взаимодействия подсистем. По этой причине предлагается иерархическая модель системы, представленная на рис. 2, где

вектора иерархической структуры автотранспортной системы можно записать в виде:

$\vec{V} = (V_1, V_2, ..., V_n)^T$ - для представления водителей

$\vec{A} = (A_1, A_2, ..., A_n)^T$ - для представления автотранспортных средств

$\vec{D} = (D_1, D_2, ..., D_r)^T$ - для представления дорог

$\overrightarrow{VS} = (VS_1, VS_2, ..., VS_l)^T$ - для представления среды

Где Т – символ транспонирования

На основании анализа иерархической структуры АТС на рис. 2 можно выделить различные подсистемы, транспонированные по уровню значимости в автотранспортной системе:

$\vec{D} - \vec{A}$

$\vec{V} - \vec{A}$

$\vec{A} - \vec{V}$

$\overrightarrow{VS} - \vec{D}$

$\overrightarrow{VS} - \vec{V}$

$\overrightarrow{VS} - \vec{A}$

$\vec{A} - \vec{D}$

$\overrightarrow{ZDD}$ – вектор знаков дорожного движения (из ПДД):

$\overrightarrow{ZI} = (ZI_1, ZI_2, ..., ZI_r)^T$

P_{VS} – матрица параметров состояния внешней среды (VS) для различных дорожных условий:

$P_{VS} = \left\| P_{VS,ij} \right\|_{(m \times l)}$, где m – количество оцениваемых параметров внешней среды; l – количество рассматриваемых видов внешней среды.

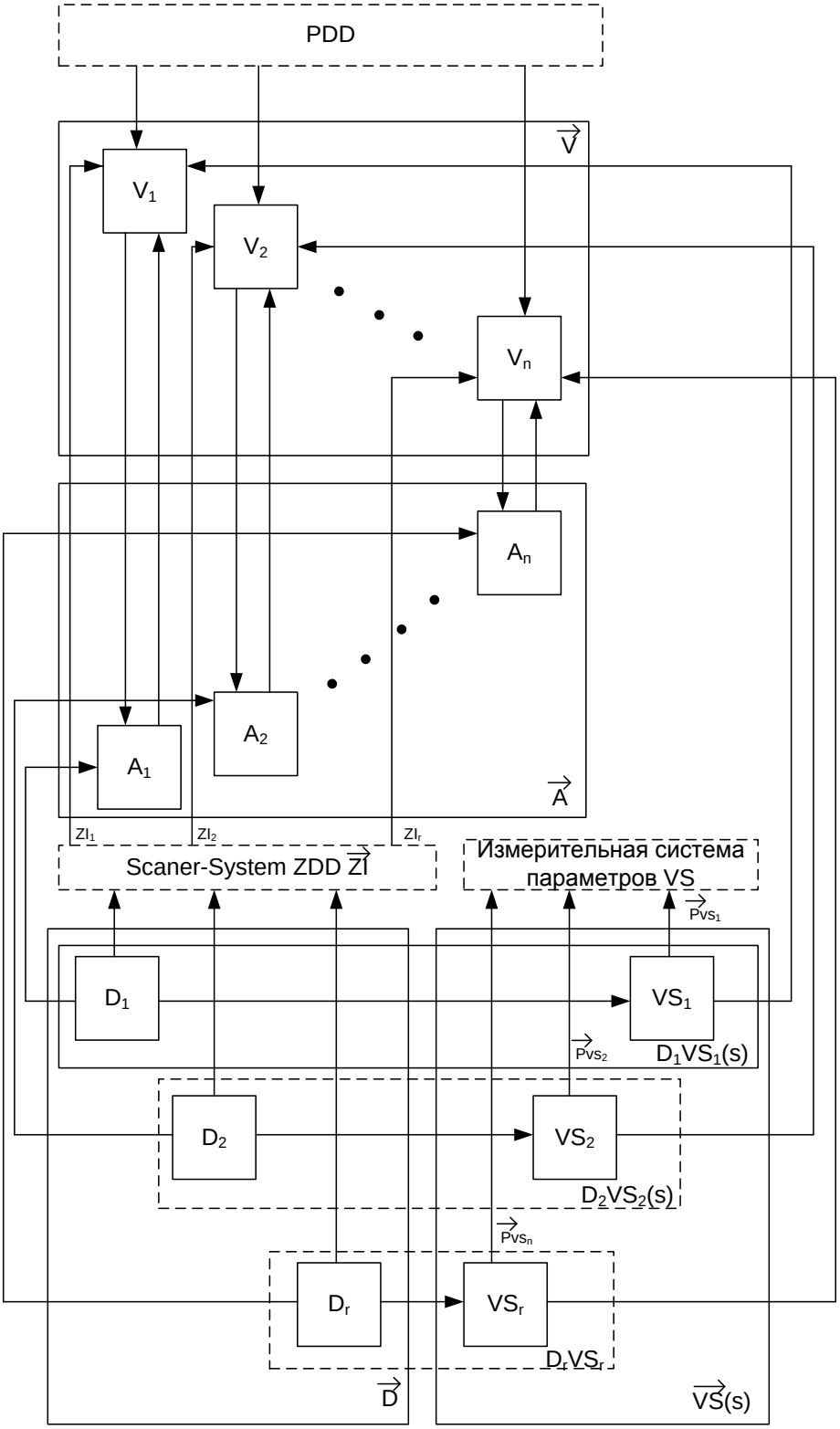


Рис. 2. Иерархическая структура автотранспортной системы

Такой подход позволяет перейти от усредненных представлений о водителе вообще, автомобиле вообще, дороге вообще и среде вообще к анализу безопасности для водителей с определенным опытом и стилем вождения, перемещающемся на

автомобиле конкретного класса и возраста по дороге с определенными характеристиками в условиях конкретной среды. Для наиболее эффективного применения этого подхода необходимо располагать детальной информацией об участниках и условиях дорожного движения, что является в России чрезвычайно сложной задачей.

Предлагаемая структура соответствует современной модели системы ВАДС, но она допускает расширение с учетом перспективных направлений развития, таких как V2V (Vehicle-to- Vehicle) и V2I (Vehicle-to- Infrastructure).

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Кукло Е.Ю.
Брянск, БГТУ

Рассмотрены подходы к оптимизации механообработки по различным критериям. Показана возможность использования рассмотренных критериев при назначении режимов резания. Проанализирована возможность использования рассмотренных методик для автоматизации выбора инструмента и режимов резания.

Automate the selection tool and cutting conditions to reduce the cost of manufacturing of details in milling

The approaches to the optimization of machining on different criteria were considered. The possibility of using the criteria discussed in the appointment of the cutting tools was shown. The possibility of using the considered methods to automate the selection of tools and cutting conditions was analyzed.

Обработка металлов резанием является неотъемлемой частью процесса производства большинства деталей. Экономическая эффективность процесса обработки существенно влияет на себестоимость изготовления детали, на получаемые прибыли или убытки.

Одним из путей достижения эффективности процесса обработки является рациональное сочетание затрат на технологическое оборудование, инструментальное обеспечение и других дополнительных расходов, поскольку в ряде случаев заготовка и вспомогательные материалы тоже достаточно дороги. При металлообработке можно увидеть, что любые изменения в технологии приводят к ощутимым изменениям стоимости изготовления деталей. Новый станок с ЧПУ многократно увеличивает выпуск продукции, технологические возможности и скорость обработки. Но затраты на него имеют смысл только тогда, когда приведут к такому совершенствованию производства, что в последующие годы не только окупятся, а начнут приносить прибыль.

Процесс обработки металлов резанием может быть существенно усовершенствован за счет рационального применения правильно выбранного высокопроизводительного инструмента. Правильно выбранный инструмент позволяет быстрее окупить затраты на новое оборудование, значительно повысить производительность старого оборудования, как и производительность труда.

В современной металлообработке себестоимость производства детали складывается из нескольких частей. Одна из них – стоимость режущего инструмента.

Расчеты показывают, что затраты на инструмент составляют всего несколько процентов от общего объема затрат. Инструмент стоит практически одинаково по всему миру, тогда как стоимость работы оператора сильно отличается в различных странах. Но даже если стоимость труда относительно низкая, а оборудование старое и давно себя окупило, не использовать возможности для повышения его производительности – это все равно, что игнорировать собственную прибыль [1, с. 151-152].

Фрезерование стало универсальным методом обработки и находит все большее применение. Этому способствует развитие инструмента, станочного парка и систем контроля за процессами. Традиционные методы обработки сегодня следует переосмыслить, т. к. разработаны новые способы обработки заготовок, которые более эффективны и дают лучшие результаты. Чистовая обработка шлифованием все чаще заменяется фрезерованием, электроэрозионная обработка все чаще используется наряду с фрезерованием.

Доля фрезерных станков в отдельных отраслях машиностроения достигает 60%. Время, затраченное на фрезерование, обычно занимает до 35% от общего времени обработки деталей, а в некоторых случаях достигает и 100%.

Выбор инструмента для фрезерования начинается с выявления следующих моментов: информация о детали, тип операции и станок, которые определяют конструкция фрезы, при этом следует внимательно рассмотреть несколько альтернативных возможностей для достижения наибольшей эффективности выполнения операции [1, с. 198].

Наиболее часто используемые фрезерные операции:

1) фрезерование плоскостей как сплошных, так и прерывистых;
2) фрезерование внутренних поверхностей заготовок, требующих большого вылета инструмента;
3) фрезерование пазов;
4) фрезерование нескольких плоскостей;
5) фрезерование углублений, карманов полостей;
6) операции разрезки;
7) фрезерование узких канавок;
8) фрезерование уступов разных размеров;
9) торцевое фрезерование нежестких заготовок;
10) дисковое фрезерование тонких заготовок;
11) фрезерование вертикальных плоскостей;
12) фрезерование широких канавок;
13) торцевое фрезерование с большим вылетом инструмента;
14) комбинированное торцевое фрезерование уже имеющихся пазов и т. п.

Приведенная классификация фрезерных операций очень полезна при составлении технологических процессов и выборе инструмента. Она помогает определить требования, предъявляемые к инструменту, и быстрее находить оптимальные решения [2, с. 161].

При выборе инструмента для фрезерования необходимо учитывать:

1) тип операции;
2) обрабатываемый материал, его твердость и состояние;
3) условия обработки;
4) конструкцию детали;
5) тип станка и его мощность;
6) тип фрезы;
7) главный угол в плане;

8) диаметр, шаг;
9) геометрию пластины и марку сплава;
10) жесткость технологической системы;
11) зажимное приспособление,
12) вид охлаждения;
13) стойкость инструмента [1, с. 214].

Выбор параметров режима резания напрямую влияет не только на качество поверхностного слоя детали, но и на производительность и стойкость инструмента при фрезеровании. Наряду с подачей на зуб, которая, как рекомендуется, должна быть около 70 % от длины параллельной фаски при вершине пластины, скорость резания влияет на шероховатость поверхности и для достижения наилучших результатов должна оставаться в рекомендованных пределах.

Выбранные значения скоростей фрезерования корректируются в зависимости от применяемого станка. Станок, предназначенный для выполнения операции, в значительной мере влияет на выбор инструмента. Однако можно выбрать такой инструмент, который компенсирует недостатки станка.

Характеристики станка, которые необходимо проанализировать при выборе инструмента:

1) число оборотов шпинделя, величины подач, крепление инструмента, мощность;
2) состояние шпинделя станка, подшипниковых опор, направляющих;
3) точность перемещения по осям;
4) возможные ограничения [2, с. 179].

Оптимизация технологических условий обработки деталей включает решение различных технологических, экономических, конструкторских и организационных задач. В качестве критериев оптимизации обычно принимают:

- критерий минимальной технологической себестоимости выполнения операции;
- критерий максимальной производительности, обеспечивающий наименьшие затраты времени на обработку;
- критерий точности обработки и параметров качества поверхностного слоя, при котором обеспечивается наибольшая размерная стойкость инструмента и минимальный его износ.

Режимы резания, обеспечивающие минимальную себестоимость, и режимы, соответствующие максимальной производительности, различаются в основном скоростью резания и стойкостью инструмента. Скорость резания по критерию максимальной производительности $\nu_{м.п}$ больше, а стойкость инструмента меньше, что обеспечивает большую производительность, но и более высокие затраты на инструмент.

Скорость резания $\nu_э$, обеспечивающая минимальную себестоимость обработки, выше скорости резания, обеспечивающей минимальный износ инструмента, или оптимальной скорости ν_o по критерию точности обработки и параметров качества поверхностного слоя. В общем случае справедливо неравенство $\nu_o < \nu_э < \nu_{м.п}$.

Однако для условий гибких автоматизированных производств иногда важнее получить меньший износ инструмента и погрешность обработки при незначительном увеличении себестоимости обработки на данной операции. Это позволит обойтись без введения дополнительных операций и уменьшить общую себестоимость изготовления детали.

Критерий минимальной технологической себестоимости. Технологическая себестоимость выполнения операции, зависящая от режима резания:

$$С_{техн} = Б_с \cdot t_M + Б_с \cdot t_{см} \frac{t_M}{T_p} + Г_и \frac{t_M}{T_p},$$

где $Б_с$ – полная себестоимость одной минуты работы станка и станочника без затрат на режущий инструмент; $t_м$ – машинное время обработки; $t_{см}$ – время смены затупившегося инструмента; $Г_и$ – затраты, обусловленные эксплуатацией режущего инструмента за период его стойкости между переточками.

Экономический период стойкости инструмента, соответствующий минимальной себестоимости обработки:

$$Т_Э = \frac{1-m}{m}\left(t_{см} + \frac{Г_и}{З}\right)$$

где З – стоимость минуты работы станка (З = $a_{раб}$ + $a_{ст}$, где $a_{раб}$ – заработная плата рабочего за одну минуту с начислениями; $a_{ст}$ – затраты, связанные с эксплуатацией станка в течение одной минуты его работы); т – показатель степени, характеризующий влияние стойкости инструмента на скорость резания.

Критерий максимальной производительности. Для обеспечения максимальной производительности обработку необходимо вести на скорости резания $v_{м.п}$, которой соответствует период стойкости инструмента $Т_{м.п}$:

$$Т_Э = \frac{1-m}{m} t_{см}$$

При работе на $v_{м.п}$ повышается производительность, но снижается стойкость инструмента, увеличивается погрешность обработки, ухудшается качество поверхностного слоя, повышается себестоимость обработки. Поэтому $v_{м.п}$ целесообразно использовать на промежуточных операциях, где нет жестких требований к качеству поверхностного слоя и точности обработки.

Целесообразно проводить обработку деталей на экономичных скоростях резания $v_э$, обеспечивающих минимальную себестоимость обработки, однако при этом несколько снижается производительность и уменьшается размерная стойкость инструмента.

Переменные $t_м$ и $T_р$ зависят, относительно элементов режимов резания следующим образом:

$$t_M = \frac{L}{f}; \qquad T = \frac{C^v D^q}{v^m \cdot t^x \cdot f_z^y \cdot B^U \cdot z^p} k_v,$$

где Cv – коэффициент влияния материалов заготовки и фрезы; D- диметр фрезы; v – скорость резания; f_z – подача на зуб; t, L, B – глубина, длина и ширина фрезерования; z – число зубьев фрезы; q, m, x, y, u, p – показатели степени; k_v – поправочный коэффициент на изменённые условия обработки [1, с. 57-59].

Перечисленные показатели и коэффициенты для отечественных инструментов можно найти в справочных таблицах, однако для современных зарубежных инструментов они не задаются. Для них обычно указываются скорость резания, с расчетом стойкости 15 мин., а также коэффициенты зависимости скорости резания от средней толщины стружки (K_h), твердости обрабатываемого материала ($K_{НВ}$), времени контакта зуба фрезы с заготовкой (K_t). Тогда действительную скорость резания можно найти по формуле:

$$v_Д = v_s \times K_{НВ} \times K_t \times K_h,$$

где v_s – скорость резания при Т = 15 мин., твердости заготовки 180 НВ.

Поправочный коэффициент $K_{НВ}$ можно найти напрямую из таблиц, зная группу обрабатываемого материала и его твердость. Значения K_t и K_h определяются по

таблицам исходя из действительного времени контакта зуба инструмента с заготовкой ($T_Д$) и средней толщины стружки (h_m):

$$h_m = f_z \frac{2(\frac{b_1}{D}+\frac{b_2}{D})}{\arccos\left(-2\frac{b_1}{D}\right) - \arccos\left(2\frac{b_2}{D}\right)} \cdot \sin\varphi; \qquad T_Д = \frac{T \cdot L_k}{\pi D},$$

где φ - главный угол в плане; b_1, b_2 – расстояния от краев фрезерования до оси фрезы, Lк — длина дуги контакта фрезы с заготовкой [3, с. 136-140, 152].



Рис. 1. Расстояния от краев фрезерования до оси фрезы

Не стоит забывать о том, что процессы проектирования, технологической подготовки производства, анализа и изготовления изделий в машиностроении не обходятся без применения систем автоматизированного проектирования. Поэтому задача выбора инструмента и назначения режимов резания должна решаться в рамках взаимодействия с интегрированными САПР, иначе она будет являться слабым звеном, тормозящим процесс технологической подготовки производства.

Для решения этой задачи необходимо разработать автоматизированную систему, интегрированную с CAD/CAM системами, и для конкретной детали предлагающую технологу наилучший фрезерный инструмент различных производителей, а также наиболее эффективную стратегию обработки и высокопроизводительные режимы резания, в соответствии с критериями, которые задаются пользователем.

Довольно перспективным представляется использование указанной методики расчета режимов резания в автоматизированной системе выбора фрезерного инструмента. Такая система определит режущий инструмент различных производителей, подходящий для заданных условий обработки и для каждого выбранного инструмента рассчитает режимы резания, стойкость, а также себестоимость механической обработки, по которой будет проходить оптимизация и выбор наиболее подходящего инструмента.

Выбор инструмента, для обработки поверхности, предполагается проводить в следующем порядке:

- Выбор системой подходящих типов фрез.
- Определение возможных стратегий и методов обработки.
- Выбор инструментов, подходящих для каждой альтернативы обработки (совокупности типа инструмента и стратегии обработки), в соответствии с ограничениями.
- Расчет режимов резания для каждой альтернативы.
- Выбор наилучших альтернатив с точки зрения экономической эффективности обработки (включающей стоимость инструмента и затрат на механообработку, на единицу продукции с учетом серийности производства).

Эти действия система должна производить автоматически. От пользователя требуется только предоставить исходные данные для выбора инструмента от CAD-системы. Он может сделать это как вручную, так и с помощью модуля, разработанного для CAD-системы через API. Информация о рекомендуемых программой инструментах и режимах резания передается непосредственно в CAM-систему, а также может быть представлена для просмотра в удобном для пользователя виде.

Создаваемая автоматизированная система позволит сократить трудозатраты технолога-программиста при выборе фрезерного инструмента, стратегии обработки и назначении режимов резания, а также сократить затраты на механообработку, благодаря расчету наиболее производительных режимов резания, выбору более производительного инструмента, либо более дешевого, но не уступающего по характеристикам.

Литература:

1. Безъязычный В.Ф. Аверьянов И.Н. Кордюков А.В. Расчет режимов резания. Учебно-методическое пособие – М.: Машиностроение, 2010.– 270 с.
2. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. – М.: Полиграфия, 2003. – 301 с.
3. SANDVIK Coromant Technical guide – Руководство по металлообработке: Технический справочник от SANDVIK Coromant, 2000. - 169 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Курзуков Г.В., Коковин В.А.
Международный университет природы, общества и человека «Дубна», филиал «Протвино»

Рассмотрены методы повышения эффективности использования солнечных батарей. Приведены особенности реализации конструкции для двухсторонних солнечных батарей и способы ориентации их с помощью двухосевых трекеров.

Increasing the efficiency of solar cells. Kurzukov G.V., Kokovin V.A.

Methods for increasing the efficiency of solar cells. Are the features of the implementation of the design for two-way solar panels and how to steer them through the dual-axis trackers.

Солнечная энергетика в настоящее время является одним из наиболее динамично развивающихся направлений мировой энергетики. Солнечный свет – это возобновляемый источник энергии. При помощи фотоэлектрических элементов (фотомодулей), объединённых в солнечную батарею (СБ), он преобразуется в электрическую энергию. Эту энергию можно использовать сразу или накапливать в аккумуляторах для дальнейшего использования.

Важным показателем работы солнечных батарей является эффективность их использования. Для повышения эффективности работы СБ применяют различные способы. В первую очередь, это повышение К.П.Д работы самой солнечной батареи через изменение технологии производства самих батарей. В настоящее время разработана технология, позволяющая получить до 28,3-процентного показателя эффективности [1]. Во-вторых, это разработка конструкций для СБ, позволяющих наиболее эффективно получать солнечную энергию. В-третьих, применение систем слежения за солнцем, которые ориентируют солнечные батареи по максимальной интенсивности. Важный момент, который влияет на эффективность использования, это затраты на обслуживание солнечных батарей.

Конструкция солнечных батарей

Целесообразность применения той или иной конструкции фотоэлектрической установки зависит от многих факторов, в том числе, себестоимости выработанной электроэнергии, возможной площади размещения, широты местности, технологии изготовления фотомодулей и местных погодных условий.

Солнечные батареи могут монтироваться на месте эксплуатации стационарно, под определённым углом к горизонту, или подвижно - для оптимальной ориентации по отношению к положению Солнца. Поворотные конструкции с системами слежения за Солнцем принято называть трекерными системами ориентации, или солнечными трекерами. Использование двухосевых трекеров позволяет максимально эффективно сориентировать активную поверхность фотомодулей и значительно увеличить выработку энергии по сравнению с фиксированным размещением – до 30 …40% [2].

Солнечные модули, разработанные по двухсторонней технологии [3] имеют следующие преимущества:

– дополнительную мощность (благодаря двухсторонней чувствительности и дополнительному вкладу обратной стороны);

– меньшие потери электроэнергии (вследствие меньшего нагрева, из-за прозрачности двухсторонних модулей для ИК излучения).

Существуют конструкции стационарных и трекерных систем с двухсторонними фотомодулями. Для освещения обратной стороны батареи в высокоэффективных системах используются зеркала. В качестве примера, можно привести установки чешской компании “Poulek Solar” [4].

В данной статье описывается конструкция системы освещения обратной стороны двухсторонних модулей, отличающаяся простотой, относительно небольшими габаритами и высокой эффективностью использования солнечной батареи. На рис. 1 изображена схема освещения двухсторонней СБ.

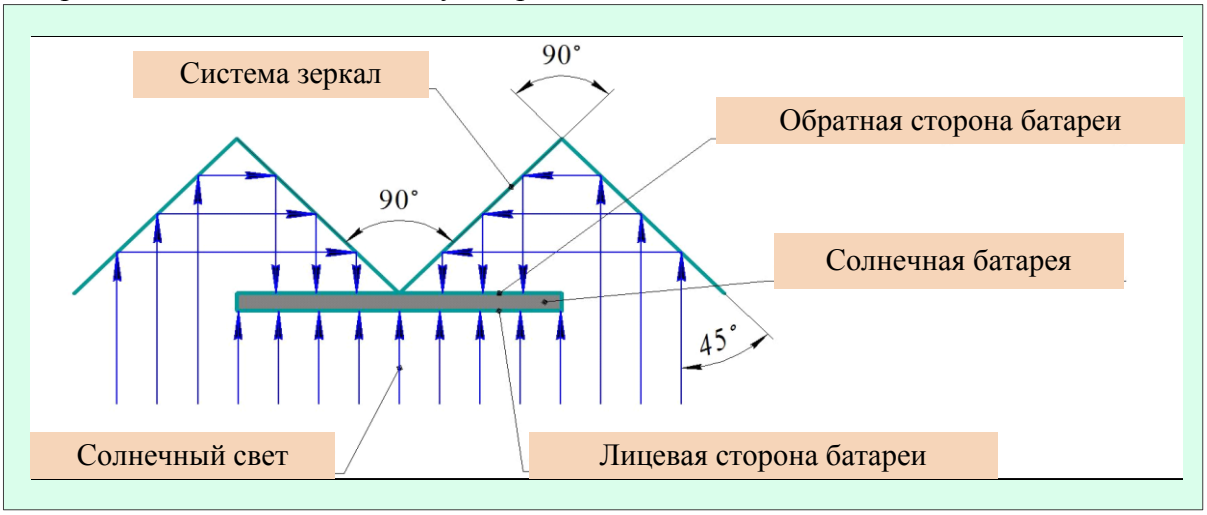


Рис. 1. Схема освещения двухсторонней солнечной батареи (вид сверху)

При оптимальной ориентации лицевой стороны батареи на Солнце (максимальная интенсивность облучения) обратная сторона батареи освещается с помощью системы зеркал также оптимальным образом, то есть, перпендикулярно поверхности фотомодулей.

Максимальное повышение К.П.Д данная конструкция обеспечивает при использовании двухосевого трекера, постоянно ориентирующего лицевую поверхность батареи перпендикулярно, а боковые зеркала – под оптимальным углом 45° к

направлению падения солнечных лучей. Упрощенное изображение установки с системой зеркал и двухосевым трекером представлено на рис. 2.

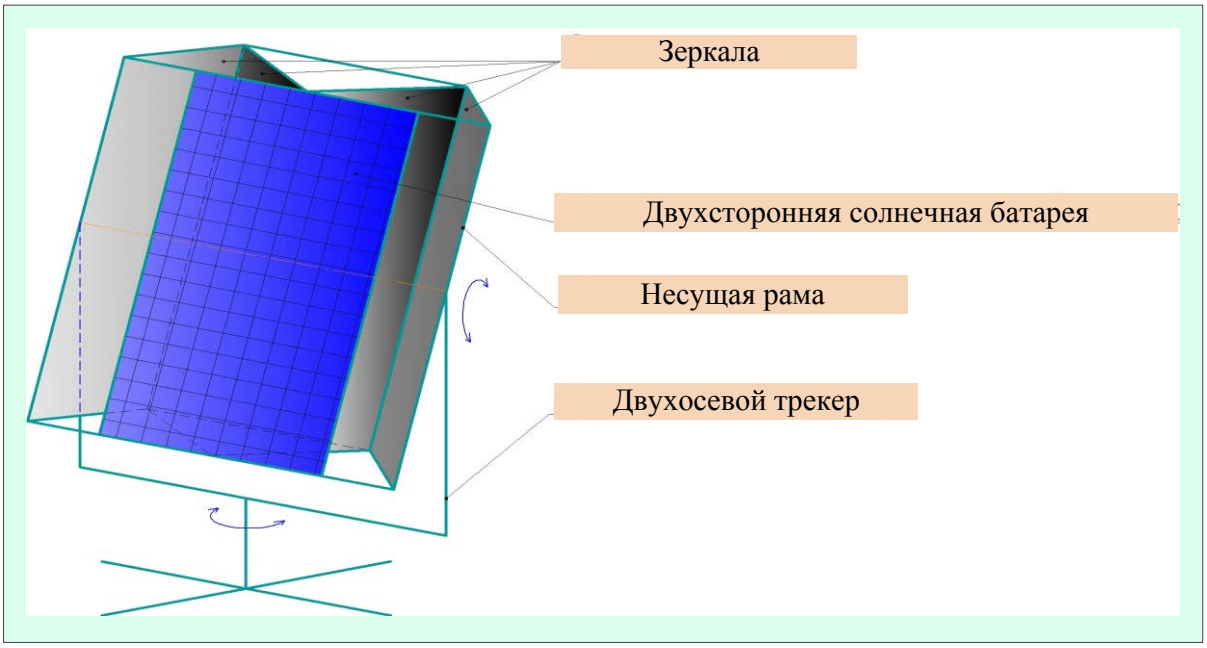


Рис.2. Солнечная установка на основе двухсторонних фотомодулей и двухосевого трекера

Солнечная батарея и зеркала жестко крепятся на несущей раме. Зеркала могут быть изготовлены как из листового материала (алюминий, нержавеющая сталь), так и из полимерной пленки, со светоотражающим покрытием. При этом целесообразно расположение зеркал, показанное на рис. 2 – для уменьшения оседания на их поверхности пыли и снега и уменьшения затрат на обслуживание.

Система контроля и управления работой СБ

Как уже было сказано выше, повысить эффективность использования солнечных батарей можно за счет использовании двухосевого трекера. При этом затраты на привод для управления СБ и затраты на обслуживание не должны превышать или быть сравнимы с экономическим эффектом от прироста производительности солнечной установки. Поэтому при решении задачи контроля и управления работой СБ выдвигаются требования, связанные с малым потреблением аппаратуры, высокой надежностью, удобством эксплуатации. Для выполнения последнего требования предполагается наличие локальной сети для удаленного обслуживания и управления солнечными батареями.

Двухосевой трекер, применяемый в составе СБ (рис.2), состоит из двух актуаторов, фотодетектора (углового датчика) и блока управления и измерения. Блок управления удобно реализовать на базе FPGA (field-programmable gate array) - программируемой логической матрице.

Для правильной работы СБ необходимо контролировать следующие параметры (для каждой батареи):

- величину выходного напряжения солнечной батареи,
- угол отработки актуатором управляющего воздействия,
- состояние концевых выключателей (для контроля перемещения в крайние положения),

- угол отклонения лицевой поверхности СБ от перпендикулярного направления солнечных лучей.

Обработка перечисленных выше параметров осуществляется в FPGA. Блок управления и измерения на базе FPGA может решать достаточно сложные задачи, например, реализовать алгоритм управления солнечной батареей с экстраполяцией траектории движения Солнца при его затенении. Кроме того, можно реализовать Ethernet-порт, для удаленного контроля работы СБ.

Для экономии ресурсов (повышая эффективность использования СБ) можно использовать один угловой датчик положения Солнца на группу солнечных батарей (число батарей в группе определяется конструкционными и функциональными характеристиками). При затенении Солнца с датчика угловых координат перестают поступать данные о положении Солнца. В этом случае важнейшую роль играют возможности экстраполяции положения Солнца на период затенения [5]. При использовании одного углового датчика, вычисления угла поворота батареи выполняет IP- функция экстраполятора, встроенная в FPGA блока управления. После вычисления угла, управляющие воздействия передаются на приводы (актуаторы) солнечных батарей.

Снижение расходов на обслуживание достигается за счет объединения солнечных батарей в кластеры. В этом случае данные для контроля накапливаются и обрабатываются в специальных концентраторах данных. На рис. 3 приведена структурная схема такого концентратора. В случае отклонения параметров работы СБ от штатных, обслуживающему персоналу передается сообщение, с точной координатой неисправного узла. Таким образом, можно осуществлять удаленный контроль работы СБ и выполнять оценку генерируемой энергии.

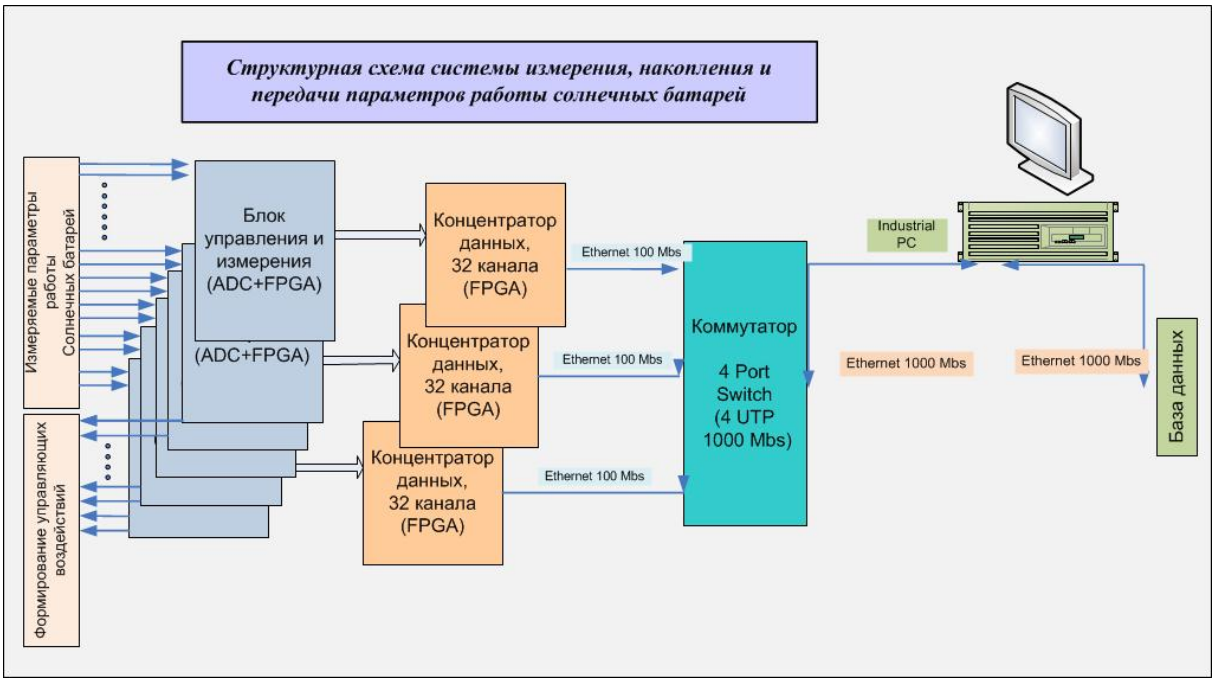


Рис.3. Структурная схема контроля и управления СБ, объединенных в кластеры

Увеличение использования возобновляемых источников энергии как автономно, так и в составе энергосистем ставит новые задачи по их управлению и эффективному использованию.

С помощью разработанной конструкции СБ (рис.2) можно значительно повысить энергоотдачу батареи, существенно не увеличивая площадь, а соответственно, и габариты. Использование блоков управления двухосевым трекером на базе FPGA дает возможность повысить функционал управления с низкими энергозатратами. Приведенная структура (рис.3) позволяет легко масштабировать число групп, при этом затраты на локальные сети не увеличиваются. Рассмотренная организация управления и измерения может использоваться (с небольшими доработками) при контроле и управлении ветровыми генераторами.

Литература

1. www.km.ru/tekhnologii/2012/04/26/issledovaniya/novye-solnechnye-batarei-byut-rekordy-effektivnosti
2. http://www.alternative-energy.kiev.ua/ustanovka-orientacija-solnechnyhbatarej/#more-196
3. http://www.solwind.ru/bifacial-modules.html
4. http://www.solar-trackers.com/solar-trackers/trackers-gallery
5. Тхеин Лин У «Исследование и разработка автоматических систем управления мобильных солнечных энергетических установок в условиях длительного затенения», автореферат диссертации, М., 2010г.

ОЦЕНКА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Матюшина А.В.
Москва, ЗАО НПО «Мобильные информационные системы»

В докладе рассмотрен один из важных этапов проектирования систем электроснабжения самолётов: приведена методика выбора структуры системы электроснабжения по показателям энергоэффективности ее элементов и системы в целом.

Evaluation of power supply system of the perspective aircraft on energy efficiency indicators. Matyushina A.V., Moscow, Mobile Information Systems

In the report considered one of the most important stages of the aircraft power supply systems design: the procedure of the choice of the power supply system in terms of energy efficiency its elements and of the overall system

К перспективным самолетам предъявляют высокие требования по стоимости эксплуатации, экологичности и топливной эффективности, что ставит перед авиационными специалистами целый ряд проблем, которые требуют поиска принципиально новых подходов к построению энергетической системы самолета с полной электрификацией.

По отечественным и зарубежным данным замена всех видов вспомогательной энергии на борту только на электрическую энергию обеспечивает уменьшение взлетной массы оборудования самолета, упрощение и уменьшение стоимости его эксплуатации и наземного обслуживания, упрощение бортовых систем и т.д. Реализация концепции полностью электрического самолета (ПЭС) требует

радикального изменения структуры и принципов функционирования всего электроэнергетического комплекса (ЭЭК) самолета, включающего в себя всю совокупность источников, преобразователей и приёмников электрической энергии, а также связывающих их электрических сетей. Решение этих проблем откроет перспективы наиболее полного использования возможностей электротехнического оборудования для совершенствования летно-технических, эксплуатационных и экономических показателей авиационной техники.

Рациональная структура ЭЭК и требования к его функциональным возможностям целиком и полностью зависят от задач, возлагаемых на авиационную технику с учётом перспектив её развития. Влияние основных тенденций развития авиационной техники на формирование требований к перспективным системам электроснабжения (СЭС) самолетов различного назначения проиллюстрировано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Связь тенденций развития авиационной техники с требованиями к СЭС ВС

Существует проблема согласования характеристик источников и приемников электрической энергии, решение которой при сохранении СЭС традиционного типа дается каждый раз все более дорогой ценой. Поэтому необходим поиск новых путей построения СЭС самолетов различного назначения. Более того, необходима реализация комплексного подхода к решению этой проблемы, что предполагает рассмотрение всего электрооборудования самолета как единого комплекса, все элементы которого связаны единым процессом генерирования, преобразования и потребления электрической энергии.

Учитывая чрезвычайно высокие требования к надёжности и бесперебойности электропитания на самолётах с полностью электрифицированным оборудованием,

вполне вероятным становится применение комбинированных систем электроснабжения. Причём как использующих различные типы источников электроэнергии в рамках одного вида СЭС, так и различные виды электроэнергии в рамках комбинированной системы электроснабжения.

С учетом разнообразия систем по введенному 01 января 2011 г. ГОСТ Р 54073 2010 «Системы энергоснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии» существующий подход к проектированию СЭС неэффективен, поэтому требуется разработать новую методику оценки систем электроснабжения перспективных ВС по показателям энергоэффективности. В соответствие с ГОСТ Р 54073 2010 на борту воздушного судна могут иметь место следующие виды систем электроснабжения:

- переменного тока постоянной частоты 400 Гц напряжением 200/115 В;
- переменного тока переменной частоты от 360 до 800 ГЦ напряжением 200/115 В;
- переменного тока постоянной частоты 400 Гц напряжением 400/230 В;
- переменного тока переменной частоты от 360 до 800 ГЦ напряжением 400/230 В;
- постоянного тока напряжением 27 В;
- постоянного тока напряжением 270 В;

Среди всех способов преобразования исходной энергии в электрическую электромеханическое преобразование реализуется с наибольшей эффективностью, при этом электроэнергия постоянного и переменного тока может быть получена в достаточно большом диапазоне мощностей и напряжений. Мощность и количество используемых на ВС источников ЭЭ определяются энергопотреблением и степенью одновременного включения бортового оборудования, состав и режим функционирования которого, в свою очередь, зависят от типа ВС и его назначения.

В условиях большой неопределенности наиболее выгодную схему СЭС мы можем определить только по нескольким показателям энергоэффективности элементов системы, а именно, источников и преобразователей электрической энергии: КПД и массогабаритные характеристики. На рисунке 2 проиллюстрировано 6 основных вариантов распределения ЭЭ на борту ВС от источников до потребителей в зависимости от качества потребляемой и вырабатываемой ЭЭ.

На борту ВС в соответствии с ГОСТ Р 54073 2010 все потребители можно разделить на 6 категорий по качеству потребляемой электроэнергии. Одна категория потребителей питается напрямую от источника, остальные 5 через различные преобразователи ЭЭ для достижения нужных параметров и качества ЭЭ.

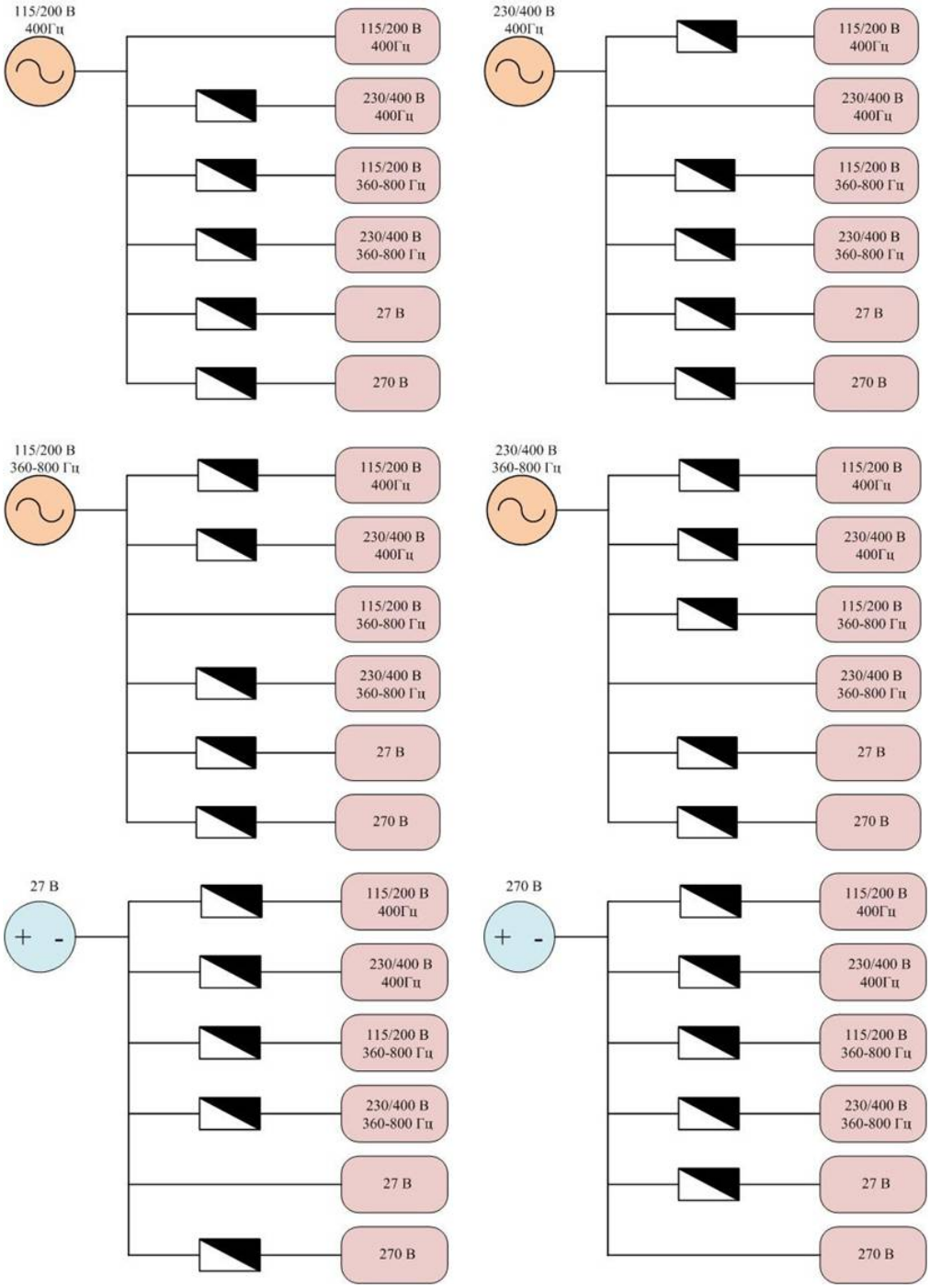


Рисунок 2. Варианты схем СЭС на борту ВС

Определить качественно какая из схем выгоднее можно с помощью коэффициентов полезного действия и удельных массовых коэффициентов элементов системы, взяв суммарные коэффициенты каждой ветви от источника до потребителя.

$$K^{\text{КПД}^1} = \eta_{u1} + \eta_{u1} * \eta_2 + \eta_{u1} * \eta_3 + \eta_{u1} * \eta_4 + \eta_{u1} * \eta_5 + \eta_{u1} * \eta_6$$
$$K^{\text{КПД}^2} = \eta_{u2} * \eta_1 + \eta_{u2} + \eta_{u2} * \eta_3 + \eta_{u2} * \eta_4 + \eta_{u2} * \eta_5 + \eta_{u2} * \eta_6$$
$$K^{\text{КПД}^3} = \eta_{u3} * \eta_1 + \eta_{u3} * \eta_2 + \eta_{u3} + \eta_{u3} * \eta_4 + \eta_{u3} * \eta_5 + \eta_{u3} * \eta_6$$
$$K^{\text{КПД}^4} = \eta_{u4} * \eta_1 + \eta_{u4} * \eta_2 + \eta_{u4} * \eta_3 + \eta_{u4} + \eta_{u4} * \eta_5 + \eta_{u4} * \eta_6$$

$$K^{\text{КПД}^5} = \eta_{u5} * \eta_1 + \eta_{u5} * \eta_2 + \eta_{u5} * \eta_3 + \eta_{u5} * \eta_4 + \eta_{u5} + \eta_{u5} * \eta_6$$
$$K^{\text{КПД}^6} = \eta_{u6} * \eta_1 + \eta_{u6} * \eta_2 + \eta_{u6} * \eta_3 + \eta_{u6} * \eta_4 + \eta_{u6} * \eta_5 + \eta_{u6}$$
$$K^{\text{КПД}^j} = \sum_{i=1}^{6} \eta_{uj} * \eta_i, \quad (1)$$

Где $K^{\text{КПД}^j}$ – параметр оценки КПД j-й системы, η_i – КПД i-го преобразователя, η_{uj} - КПД источника j-й системы

$$K^{\text{МГ}^1} = k_{mu1} + k_{mu1} * k_{m2} + k_{mu1} * k_{m3} + k_{mu1} * k_{m4} + k_{mu1} * k_{m5} + k_{mu1} * k_{m6}$$
$$K^{\text{МГ}^2} = k_{mu2} * k_{m1} + k_{mu2} + k_{mu2} * k_{m3} + k_{mu2} * k_{m4} + k_{mu2} * k_{m5} + k_{mu2} * k_{m6}$$
$$K^{\text{МГ}^3} = k_{mu3} * k_{m1} + k_{mu3} * k_{m2} + k_{mu3} + k_{mu3} * k_{m4} + k_{mu3} * k_{m5} + k_{mu3} * k_{m6}$$
$$K^{\text{МГ}^4} = k_{mu4} * k_{m1} + k_{mu4} * k_{m2} + k_{mu4} * k_{m3} + k_{mu4} + k_{mu4} * k_{m5} + k_{mu4} * k_{m6}$$
$$K^{\text{МГ}^5} = k_{mu5} * k_{m1} + k_{mu5} * k_{m2} + k_{mu5} * k_{m3} + k_{mu5} * k_{m4} + k_{mu5} + k_{mu5} * k_{m6}$$
$$K^{\text{МГ}^6} = k_{mu6} * k_{m1} + k_{mu6} * k_{m2} + k_{mu6} * k_{m3} + k_{mu6} * k_{m4} + k_{mu6} * k_{m5} + k_{mu6}$$
$$K^{\text{МГ}^j} = \sum_{i=1}^{6} k_{muj} * k_{mi}, \quad (2)$$

Где $K^{\text{МГ}^j}$ – параметр оценки массовых характеристик j-й системы, k_{mi} – удельный массовый коэффициент i-го преобразователя , $k_{mиj}$ - удельный массовый коэффициент источника j-й системы

Если рассмотреть каждую схему отдельно и взять показатели КПД и массогабаритные для современных авиационных источников и преобразователей электрической энергии, то можно получить приблизительные параметры для оценки систем электроснабжения. В таблицах 1 и 2 указаны коэффициенты для расчета по формулам (1) и (2).

Таблица 1. КПД источников и потребителей ЭЭ

КПД		Источники ЭЭ					
		115/200 В 400 Гц	230/400 В 400 Гц	115/200 В 360-800 Гц	230/400 В 360-800 Гц	27 В	270 В
		0,74	0,74	0,92	0,92	0,86	0,86
Потребители ЭЭ	115/200 В 400 Гц	1	пониж.Тр (0,9)	ПЧ (0,95)	ППЧ (0,95)	ПТС (0,7)	ПТС (0,8)
	230/400 В 400 Гц	повыш.Тр (0,9)	1	ППЧ (0,95)	ПЧ (0,95)	ПТС (0,7)	ПТС (0,8)
	115/200 В 360-800 Гц	1	пониж.Тр (0,9)	1	Тр (0,9)	ПТС (0,7)	ПТС (0,8)
	230/400 В 360-800 Гц	повыш.Тр (0,9)	1	Тр (0,9)	1	ПТС (0,7)	ПТС (0,8)
	27 В	ВУ (0,82)	ВУ (0,82)	ТВУ (0,7)	ТВУ (0,7)	1	DC/DC(0,85)
	270 В	ТВУ (0,7)	ТВУ (0,7)	ТВУ (0,7)	ТВУ (0,7)	DC/DC(0,85)	1

Таблица 2. Массовые удельные коэффициенты источников и потребителей ЭЭ

коэффициент: масса к мощности кг/кВт		Источники ЭЭ					
		115/200 В 400 Гц	230/400 В 400 Гц	115/200 В 360-800 Гц	230/400 В 360-800 Гц	27 В	270 В
		1	1	0,6	0,6	1,65	1
Потребители ЭЭ	115/200 В 400 Гц	-	0,8	0,5	0,8	0,26	0,24
	230/400 В 400 Гц	0,8	-	0,8	0,5	0,26	0,24
	115/200 В 360-800 Гц	-	0,8	-	0,8	0,26	0,24
	230/400 В 360-800 Гц	0,8	0	0,8	-	0,26	0,24
	27 В	1,4	1,3	1,4	1,3	-	0,16
	270 В	2,1	1,8	2,1	1,8	0,42	-

Посчитав по формулам (1) и (2) показатели $K^{\text{КПД}}$ и $K^{\text{МГ}}$ для каждой из систем, получаем следующие результаты, проиллюстрированные на диаграммах: рисунки 3 и 4.



Рисунок 3. Значение показателя $K^{\text{КПД}}$



Рисунок 4. Значение показателя $K^{\text{МГ}}$

Для оценки энергоэффективности по представленным показателям системы нужно сравнить полученные результаты. Наиболее высокоэффективная система по показателям КПД будет та, суммарный КПД которой будет наивысший и наиболее высокоэффективная система по массогабаритным характеристикам будет та, суммарный удельный массовый коэффициент которой будет минимальным.

$$L = \max\left(K^{\text{КПД}} + \frac{1}{K^{\text{МГ}}}\right), \qquad (3)$$

Где L – критерий оценки систем электроснабжения по показателям энергоэффективности.

Предложенная методика на ранних этапах проектирования позволят оценить энергоэффективность различных вариантов структур электроснабжения, выразить рекомендации по дальнейшим разработкам отдельных элементов и всей системы в целом.

Дальнейшим развитием данной методики должна стать работа этой методики с учетом циклограммы нагрузок.

В описанной методике рассмотрены примеры однолинейных схем, где источник только одного типа. В дальнейшем планируется рассмотреть многомерные схемы с учетом предложенного подхода оценки энергоэффективности перспективных СЭС.

Литература

1. ГОСТ Р 54073-2010 «Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии», М.: Изд-во стандартов, 2010.

2. Грузков С.А., Останин С.Ю., Сугробов А.М., Токарев А.Б., Тыричев П.А. Электрооборудование летательных аппаратов Том 1 Системы электроснабжения летательных аппаратов. М.: Изд-во МЭИ, 2005, 568 с.

3. Халютин С.П., Жмуров Б.В., Тюляев М.Л., Старостин И.Е. Моделирование сложных электроэнергетических систем летательных аппаратов. Монография. М.: Изд-во ВУНЦ ВВС, 2010, 188с.

4. Xiuxian Xia, Dynamic Power Distribution Management for All Electric Aircraft, Cranfield University, 2011,130p

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ФИРМЕННОГО СЕРВИСА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПУТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Беляев Э.И., Мухаметдинов Э.М.
г.Набережные Челны, филиал Казанского (Приволжского) Федерального университета

Рассмотрены проблемы, связанные с оптимизацией управления процессами оказания сервисных услуг в системе фирменного сервиса грузовых автомобилей при разработке и внедрении информационных систем управления. Показано, что интеллектуализация процессов ввода, обработки и анализа информации способствует не только повышению корректности результатов, но и помогает избежать принятия ошибочных управленческих решений.

Improvement of trucks firm service system functioning by intellectualization of information processes. Makarova I.V., Khabibullin R.G., Belyaev E.I., Mukhametdinov E.M. Kazan (Volga Region) Federal University, Naberejnye Chelny, Russia

The problems connected with optimization of rendering services processes management in trucks firm service system at development and deployment of information management systems are considered. It is shown that intellectualization of input processes, processing and the analysis of information promotes not only to increase of results correctness, but also helps to avoid adoption of wrong administrative decisions.

В современных условиях успех деятельности предприятий во многом зависит от того, смогут ли они выдержать конкуренцию и сохранить свои позиции на отечественном и зарубежных рынках. Это в полной мере касается и предприятий, занимающихся производством, эксплуатацией и обслуживанием автомобильной техники. А поскольку данная отрасль является одной из наиболее динамично развивающихся, то успешное функционирование предприятия в значительной мере определяется качеством принятых управленческих решений.

Решая задачу расширения рынков сбыта, фирма-продуцент автомобильной техники должна обеспечить возможность ее фирменного обслуживания во время всего периода эксплуатации. Поскольку в современных условиях фирма-продуцент несет ответственность за свою продукцию на протяжении всего жизненного цикла, это обусловливает необходимость поиска новых концепций при формировании политики в области сервиса. Кроме того, в условиях жесткой рыночной конкуренции, качественный сервис является одним из факторов обеспечения конкурентоспособности.

Современные предприятия фирменного обслуживания автомобильной техники представляют собой сложные организационно-технические системы, основным видом деятельности которых является организация продаж автомобильной техники и запасных частей и оказание сервисных услуг. Расширение модельного ряда автомобильной техники, сопутствующее ему увеличение номенклатурного перечня запасных частей и возрастающее число заявок на сервисное обслуживание заставляет руководство фирменного автоцентра создавать инфраструктуру информационного взаимодействия всех его подразделений [1]. Все возрастающий поток требований на поддержание работоспособности автомобилей заставляет искать новые пути оптимизации управления процессом сервисного обслуживания и повышения его эффективности.

Надежное функционирование такого предприятия основывается на научном прогнозировании его деятельности, а качество прогноза зависит от полноты и достоверности информации и надежности результатов ее анализа. Качество управленческих решений также во многом определяется качеством исходной информации, на основе анализа которой составляются прогнозы и вырабатываются рекомендации. Прогноз будущей работы всех подразделений и служб предприятия базируется на результатах оценки итогов прошедших периодов и поэтому создание надежной системы сбора, хранения и движения информации становится одним из факторов успешной организации фирменного обслуживания автомобильной техники [2].

До настоящего времени практически не существует таких информационных систем, которые учитывали бы потребность специалистов, организующих деятельность сервисной зоны. Расширение модельного ряда автомобильной техники создает проблемы на начальных этапах обслуживания – при установлении причин выхода из строя узла или агрегата, поиск неисправности. Очевидным является то, что информационное взаимодействие между фирмой-продуцентом и предприятиями дилерско-сервисной сети должно обеспечивать оперативность принятия управленческих решений. Опыт организации такого взаимодействия между фирмой-продуцентом и сервисной сетью есть у зарубежных автопроизводителей.

Необходимость создания электронного паспорта автомобиля – задача сложная и трудоемкая. Существует множество проблем, которые возникают в процессе ее решения, поскольку необходимо учесть особенности как процессов проектирования и изготовления автомобильной техники, так и системы документооборота, сопутствующей этим процессам.

Однако, решение данной задачи позволяет оптимизировать как процесс сборки автомобиля, так и его обслуживание во время всех последующих этапов его жизненного цикла. Наличие единой информационной базы, формирующейся в процессе сборки автомобильной техники и включающей полную информацию о собранном автомобиле, позволяет повысить оперативность принятия решений при его сервисном сопровождении.

Кроме того, поскольку данная информация является первичной, ее отсутствие не позволяет создать единый классификатор отказов, который обеспечивает сокращение времени оформления заявки, а в дальнейшем дает возможность анализа причин обращений в автоцентр. Это в особенности актуально при возникновении неисправностей в гарантийный период эксплуатации, поскольку качество и достоверность информации на данном этапе позволяет оперативно выявить причины отказов и на основе их анализа выработать рекомендации, тем самым повысить надежность автомобильной техники.

На рис. 1 представлена схема соответствия этапов формирования и использования электронного паспорта автомобиля этапам его жизненного цикла. К сожалению, информация, формирующаяся на данном этапе, является не полной и, как правило, содержит сведения только о «номерных» узлах. Одной из проблем, которые в настоящее время требуют решения, является несоответствие принципов кодирования информации в конструкторской документации и сводной производственной спецификации (СПС), где оперируют понятием «сборочная единица» тем принципам, которые существуют на этапе поддержания работоспособности изделия во время эксплуатации. На этапе сервисного сопровождения автомобиля для его узлов, агрегатов и систем при выходе из строя и замене применяется понятие «запасные части», для которых существует своя кодировка и составляются каталоги. Это создает множество проблем при организации сервисного сопровождения, в особенности в гарантийный

период эксплуатации автомобиля.

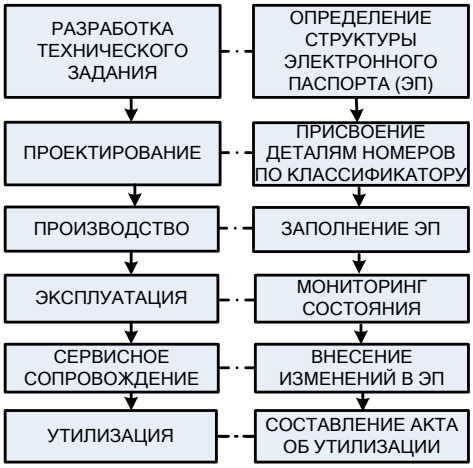


Рис. 1. Схема соответствия этапов жизненного цикла этапам разработки и внедрения электронного паспорта автомобиля

Качество первичной информации о составных компонентах конкретного автомобиля - его электронного паспорта - это основа и гарантия достоверности и качества информации, получаемой на последующих этапах, а также обоснованности принимаемых управленческих решений. Для того, чтобы решать не только учетные, но и аналитические задачи, необходимо, чтобы данные, фиксирующиеся на каждом участке, были единообразно организованы. Это способствует не только упрощению ввода информации, но и обеспечивает возможность дальнейшего ее анализа. Неформализованность имеющейся информации является, кроме того, одной из проблем, препятствующих созданию базы данных по учету неисправностей и анализу причин их возникновения [3].

В качестве примера такой проблемы для дилерской сети фирменного обслуживания автомобильной техники КАМАЗ можно привести отсутствие единого кодификатора дефектов. Хотя расширение модельного ряда автомобильной техники КАМАЗ, а также номенклатуры запасных частей и сопровождается расширением и появлением новых электронных каталогов, но при оказании сервисных услуг более актуально иметь возможность учета и анализа тех неисправностей, которые вызвали необходимость обращения в сервисный центр как на стадии гарантийного обслуживания, так и в постгарантийный период. Создание единого кодификатора дефектов позволяет автоматизировать процесс составления рекламационных актов в случае возникновения отказов автомобильной техники в гарантийный период эксплуатации, тем самым ускоряя процесс гарантийного обслуживания. Кроме того, учет и последующий анализ причин возникновения отказов способствует выработке рекомендаций по эксплуатации автомобильной техники, таким образом повышая надежность ее функционирования.

Расширение рынков сбыта сопровождается необходимостью создания сети фирменных дилерско-сервисных центров для организации сервиса автомобильной техники за рубежом. При продаже партии автомобилей в страну-импортер необходимо сопровождать ее гарантийными комплектами для обеспечения своевременного выполнения гарантийных обязательств по сервисному обслуживанию автомобильной техники. Формирование состава гарантийных комплектов не должно зависеть от субъективных факторов, однако отсутствие точной и достоверной информации не всегда позволяет объективно учесть все возможные факторы, влияющие на отказы узлов автомобилей в данной климатической зоне.

Основной проблемой, препятствующей подобного рода анализу, является крайняя неформализованность информации баз данных отдела гарантийного ремонта. Для минимизации влияния субъективных факторов на качество информации, а также исключения возможности возникновения случайных ошибок, должны создаваться модули сбора и проверки адекватности информации.

Для корректной работы по управлению и планированию процессов ФС, для корректного составления документов и хранения формализованной информации в БД фирмы-продуцента автомобильной техники все больше практикуются компьютерные системы каталожной информации. При больших сериях и нескольких модификациях каждой модели, автомобильная техника модифицируются каждый год, и выпускать каталоги для них слишком долго и дорого. Предпочтение отдается компьютерному учету каждой единицы техники по VIN – коду (Vehicle Identification Number-идентификационный номер машины), номерам шасси и двигателя с привязкой к соответствующему набору деталей, узлов и агрегатов, хранящемуся в БД фирмы-продуцента. При планировании поставок запасных частей, центр управления ДСС должен определить номенклатурную структуру поставки указанием корректного кода и наименования запасной части. Такие системы обеспечивают получение ДСЦ именно тех деталей, которые подходят к данной модификации автомобильной техники [4]. Применение таких электронных каталогов возможно благодаря механизму постоянного обмена информацией между центром управления ДСС и ДСЦ.

В основе любого электронного каталога деталей, узлов и агрегатов лежит жестко заданный механизм нумерации, регламентированный правилами технического и конструкторского кодирования и классификации, уникальными для каждого производителя автомобильной техники. При разных системах нумерации деталей в чертежах, каталогах, прейскурантах все производители должны придерживаться единого правила - количество знаков в номерах и наименованиях деталей не должно увеличиваться при модификациях деталей или моделей автомобильной техники. Так, если изначально была заложена 17-значная система для кода, она остается неизменной. Такие ограничения вызваны тем, что в любой ИС, распределенной между ДСЦ фирмы-продуцента автомобильной техники, вне зависимости от региона и языка, количество знаков, отведенных для кода детали, фиксировано и не может быть увеличено без полной переделки всех программных модулей, распределенных по ДСЦ. Кроме того, в кодировке деталей не применяются знаки, мешающие сортировке – точки, дроби, скобки. Нежелательно использовать буквы при кодировании деталей, особенно если автомобильная техника эксплуатируется за рубежом. В крайнем случае в коде деталей можно применять те буквы русского алфавита, которые графически выглядят, как буквы латинского алфавита в обоих регистрах, чтобы их не переводить: а, е, м, о, р, с, х. Искажения в переложении других букв на латинский шрифт вызывают множество ошибок при заполнении программных модулей и составлении документов.

Несмотря на очевидность данных ограничений, в каталогах деталей, узлов и агрегатов автомобильной техники КАМАЗ присутствуют знаки и номера нелимитированного размера, а также добавления типа «зам», «рем». Отечественные производители не совершенствуют каталоги и плохо информируют ДСЦ о технических изменениях. Даже при поставках на экспорт бюллетени о конструктивных изменениях высылаются с задержками, часто без перевода на язык импортеров [5]. Поэтому актуальной является задача формализации каталогов деталей, узлов и агрегатов производимой автомобильной техники.

Центром управления ДСС ОАО «КАМАЗ» был разработан программный модуль «Каталог деталей и сборочных единиц», который изначально формировался самими пользователями. При этом наименование и конструкторский код детали заносились в

таблицу БД вручную из рекламационных актов, что привело к отсутствию структуры данных в БД и многочисленным ошибкам в наименовании и коде деталей, узлов и агрегатов. Кроме того, БД не пополнялась характеристиками деталей, по которым не было ни одного рекламационного акта, соответственно, каталог запасных частей был не полным и не мог описать иерархическую структуру деталей, узлов и агрегатов в определенной модели и комплектации автомобиля.

Для решения данных задач было необходимо формализовать и структурировать весь каталог деталей и сборочных единиц. Для этого был разработан программный модуль «Определение эталонной записи», позволяющий присваивать некорректно записанным элементам каталога «эталонный» код, применение которого не допускает использования неоднозначного кода детали и позволяет представлять информацию в структурированном виде (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

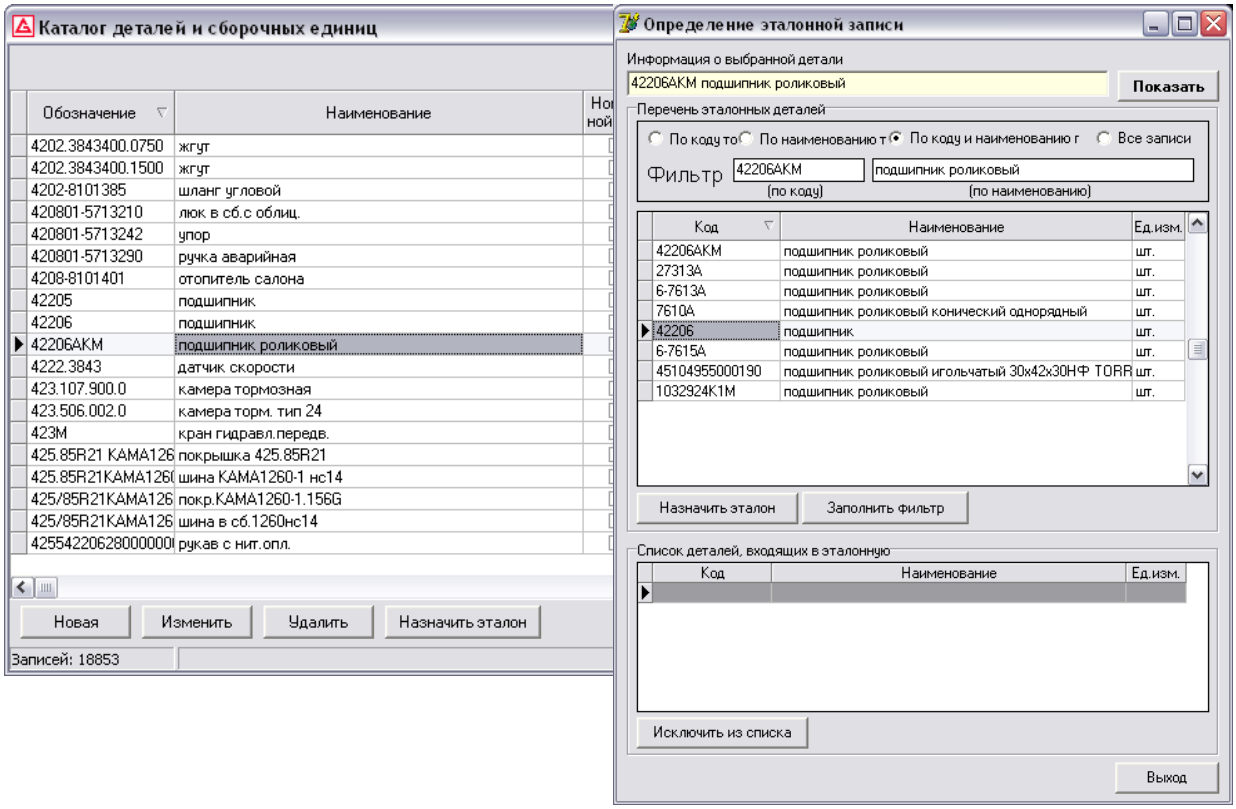


Рис. 2. Модуль автоматизированного подбора деталей
для определения «эталонного» кода

С помощью данного модуля был формализован весь каталог деталей, узлов и агрегатов ОАО «КАМАЗ». При получении рекламационного акта, конструкторский код и наименование детали, ранее не записанной в каталог, проверяется специалистом, после чего выносится решение о корректности записи. Если запись некорректна, она записывается в состав эталонной. Таким образом, применение программного модуля «Определение эталонной записи» позволяет избежать неоднозначности описания любого узла автомобиля и упорядочить записи в БД.

На **Ошибка! Источник ссылки не найден.** приведен пример некорректного описания конструкторского кода детали «подшипник роликовый», в который добавлена приставка «АКМ». Это связано с желанием специалиста того или иного ДСЦ за рубежом более подробно описать деталь. С помощью программного модуля «Определение эталонной записи» некорректно описанной детали «42206АКМ»

присваивается эталонный код «42206», который является действительным конструкторским кодом данной детали.

Помимо этого была решена задача интеграции программного модуля «Каталог деталей и сборочных единиц» и СПС ОАО «КАМАЗ». Такая интеграция полностью исключаются ошибки, связанные с несоответствием реально установленных деталей и узлов с теми, которые указаны в каталогах запасных частей к конкретной модели автомобильной техники и позволяет:

- повысить эффективности информационных процессов путем применения рациональных способов представления информации в системах управления;
- повысить надежность процессов передачи и хранения информации, т.е. защиты ее от утери и искажения, вызванных как несовершенством технических средств, так и ошибочными, непрофессиональными действиями пользователей;
- повысить информационную безопасность, т.е. степень защиты от несанкционированного съема и искажения, путем криптозащиты информации.
- унифицировать представления (а значит, и восприятия) информации различными пользователями (специалистами ДСЦ);
- упростить процедуры программно-аппаратного контроля корректности ввода данных;
- оптимизировать поиск и выбор необходимой информации из баз и хранилищ данных;

В качестве классификационных признаков в СПС используют существенные технологические характеристики деталей, которые в сочетании с конструктивными признаками определяют их технологическое подобие. Классификационные таблицы-фасеты составляют для основных признаков технологической классификации и для признаков, характеризующих вид детали по технологическому методу ее изготовления.

Детали кодируют цифровым алфавитом кода. В структуре технологического кода деталей за каждым признаком закрепляют определенный разряд (позицию) и количество знаков. Система построения кодовых обозначений обеспечивает формирование групп, состоящих из оптимального числа деталей, с использованием средств вычислительной техники. Структура конструкторско-технологического кода обеспечивает обработку информации в различных кодовых комбинациях для решения производственных задач и допускает использование частей кода и их сочетаний, в зависимости от характера решаемых задач [6].

Технологическое кодовое семнадцатизначное обозначение детали состоит из трех частей: кодового обозначения детали позиции более верхнего уровня - три знака, кодового обозначения классификационных группировок основных признаков (постоянная часть) - шесть знаков и кодового обозначения классификационных группировок признаков, характеризующих вид детали по методу ее изготовления (переменная часть) - восемь знаков (Рис.).

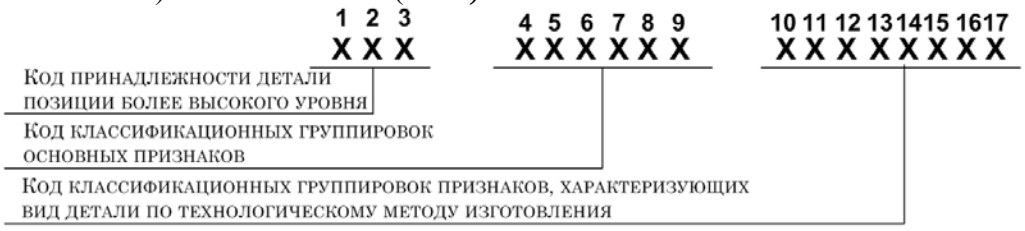


Рис. 3. Технологическое кодовое обозначение детали

Структура технологического кода обеспечивает обработку информации на различных уровнях технологической подготовки производства, в различных кодовых

комбинациях с использованием различных частей и сочетаний частей кода в зависимости от характера решаемых задач. При этом допускается использование части кода классификационных группировок конструктивных признаков с необходимой степенью детализации, а также введение в технологический классификатор деталей дополнительных признаков и их кодов, которые записывают после установленного классификатором конструкторско-технологического кода детали [7].

Помимо этого при проектировании модуля ввода информации надо помнить, что если при регистрации автомобилей надо вручную переписать 100 таких номеров в день, как минимум один будет ошибочным. Таким образом, есть 1700 шансов сделать ошибку (17 знаков, умноженные на 100 машин), и даже если работать с точностью 99,9%, на 100 машин будет как минимум 2 ошибки [8].

Код СПС был интегрирован в каталог деталей, узлов и агрегатов и стал их основным классификационным признаком в БД. Для определения принадлежности деталей, узлов и агрегатов автомобиля определенной партии, модели и комплектации был разработан программный модуль «Производственная спецификация», позволяющий просматривать уровень подчиненности выбранной в каталоге позиции, а также проводить мониторинг применяемых в процессе производства определенной партии автомобилей новых видов деталей, узлов или агрегатов (Рис.).

Разработанное информационное обеспечение позволяет осуществлять поддержку принятия управленческих решений специалистом по сервису в отношении состава гарантийного комплекта в указанный регион. Реализованная в программе методика является более эффективной и научно обоснованной по сравнению с уже существующими.

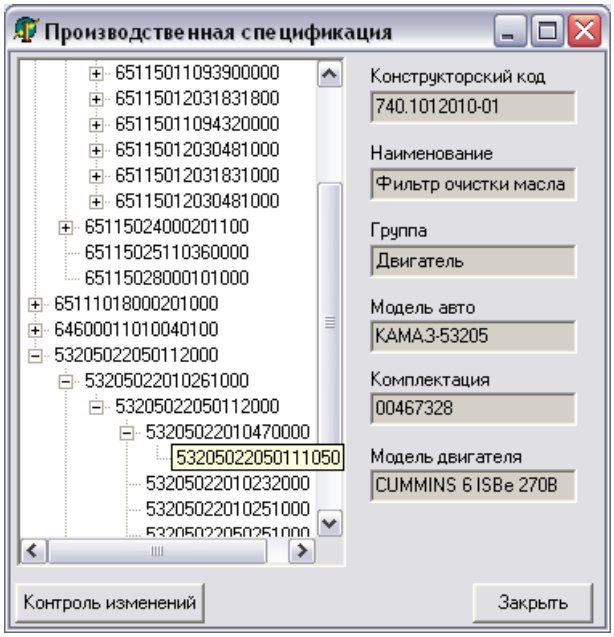


Рис.4. Модуль «Производственная спецификация»

Таким образом, использование описанной разработки дает возможность более эффективного формирования гарантийных комплектов, с учетом результатов анализа информации по отказам. Кроме того, разработанные модули позволяют определить качественный состав деталей с наибольшим числом отказов в каждом регионе эксплуатации, что способствует повышению качества планирования предстоящих работ по ТО и ремонтам в любом выбранном регионе.

Литература

1. Хабибуллин Р.Г. Использование информационной системы как инструмента повышения надежности автомобильной техники / Р.Г.Хабибуллин, И.В.Макарова, А.И.Беляев, Э.М. Мухаметдинов // Транспорт. Наука, техника, управление. РАН. ВИНИТИ. – 2009. - №5. - С.21-24

2. Хабибуллин Р.Г. Применение современных методов моделирования и управления для повышения эффективности системы фирменного сервиса автомобилей / Р.Г. Хабибуллин, И.В. Макарова, А.И. Беляев, Э.И. Беляев, П.А. Буйвол // Вестник ИжГТУ. - 2011. - №1 (49). – С. 118-121.

3. Гришин, В.Н. Информационные технологии в профессиональной деятельности: учебник / В.Н.Гришин, Е.Е.Панфилова – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. – 416 с.

4. Вейлл П. Искусство автомобильного дилера: Новые идеи для мира хаотических перемен: Пер. с англ. – М.: Новости, 1993, С. 40-41.

5. Файоль А. Общее и промышленное управление: Пер. с фр./ Науч. ред. и предисл. Е. А. Кочерина. – М.: Контроллинг, 1999, С. 49.

6. Кузнецов, Н. Методика правила формализованного представления конструкторской и технологической информации. М.,1976 – 115 с.

8. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения ОК021-95. М.: Издательство стандартов, 1996.

8. Системы, а не улыбки. [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: http://truck.edma.com.ua/kbase/c22/id1274

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА И ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Номерчук А.Я., Косенко Е.Ю., Номерчук Д.Я.
Таганрог, Южный федеральный университет

В работе рассматривается проблема прогнозирования безотказной работы элементов технологического оборудования при его эксплуатации, предложена целевая функция системы. Задача прогнозирования безотказной работы оборудования объективно трудно формализуемая и требует применения аппарата нечеткой логики для адекватного принятия решений. Предложен подход анализа выбора принятия решений на основе ограниченной информации.

Wear and prediction of damage to certain parts process equipment. Nomerchuk A., Kosenko E., Nomerchuk D.

The paper deals with the problem of forecasting uptime items of process equipment for its operation, the objective function of the system proposed. The problem of forecasting uptime objectively difficult to formalize and requires fuzzy logic for an adequate decision-making. An approach of analysis selection decisions based on limited information.

Анализ имеющегося теоретического и практического материала в области решения задач технологического прогнозирования, необходимость получения решений при современном этапе развития производства на территории нашей страны ставят остро вопрос качественной автоматизированной поддержки протекания технологических процессов и производств, в виду значительной доли стареющего и

изношенного оборудования предприятий машиностроительной, пищевой и перерабатывающей отраслей.

При проектировании, эксплуатации и гарантийному обслуживанию технических систем большую роль имеет адекватный выбор надежности элемента или системы, основной характеристикой которой является функция распределения *F(t)* времени безотказного функционирования элемента (системы).

При выборе модели *F(t)* следует учитывать такие обстоятельства.

Фактически нереально ставить задачу прогнозировать данную функцию *F(t)* на бесконечном интервале $0 < t < \infty$: вместо этого из физических соображений следует выбрать ограничения $x_0 < t < x_1$, на котором должна быть определена приближенная модель *F(t)*, связанная с конечностью эксплуатации любой системы. Таким образом, x_1 определяется как момент вывода системы из эксплуатации.

Критерием выбора x_1 можно выбрать присвоение

$$F(x_1) = y_1$$

где y_1 – заданная малая величина.

Введем понятие известной в теории надежности функции опасности отказа элементов *h(t)*, где

$$h(t) = \dot{F}(t)/(1 - F(t)$$

В частном случае стареющего распределения *F(t)*, т.е. когда *h(t)* – возрастающая функция, получаем более простой критерий

$$h(t) = y_1$$

Здесь y_1 – заданная малая величина. Что касается левого конца x_0 интервала (x_0, x_1), то он выбирается из физических или статистических соображений.

В случае если же система состоит из *n* элементов, то имеет место модель *F(t),* представляющая собой функцию многих переменных:

$$F(f_1, \dots, f_n, t)$$

где $f_1,\dots,f_n$ – функции распределения безотказности элементов.

Решение задачи прогнозирования эксплуатации и безотказной работы технических систем связано с выбором целевой функции, модели принятия решений, параметров модели $F(f_1,\dots,f_n,t)$. Методы и модели принятия решений могут выбираться как из числа формальных, так и из числа методов, направленных на активизацию интуиции и опыта лиц, принимающих решение, что характерно для систем, эксплуатируемых длительное время [1].

Решение задач технологического прогнозирования отказа работы элементов технологического оборудования, следует рассматривать для динамических, непрерывно изменяющихся систем.

Применение классических методов исследования операций ограничено априори четким заданием параметров, выбором одного из известных методов решения. Однако на практике сложно формально определить параметры данных систем. Это связано с тем, что в большинстве случаев на производстве используется оборудование, срок эксплуатации которого находится близко к гарантийному, либо значительно превышает его.

Разработанные модели технологического прогнозирования в настоящее время получили широкое распространение, однако, существование априорной неопределенности при определении начальных условий задачи, в параметрах динамических моделей создает трудности при получении достоверных решений. Учитывая, что последствия ошибок могут привести к существенным экономическим потерям предприятия, необходим поиск новых методов решения данной задачи в условиях частичной неопределенности.

В соответствии с вышесказанным можно выделить два основных источника априорной неопределенности:

- неизвестность полностью или частично структуры, параметров, свойств объекта и внешних возмущений на этапе проектирования и эксплуатации системы;

- существенная изменчивость свойств объекта и внешних возмущений в силу сложности объекта и среды функционирования, что исключает возможность точного определения режимов работы объекта заранее.

Объективно формализовать все параметры задач прогнозирования эксплуатации технических систем в виде определенных чисел невозможно. Постановка задачи прогнозирования работы оборудования формализуется в неопределенных терминах, цель принятия решений всегда может быть оценена в физических единицах измерения, но может быть выражена качественными показателями, формализация которых возможна методами теории нечетких множеств, применение которых позволяет дополнить методы формализованного представления систем, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов, согласно классификации, и позволяет решать задачи управления при качественной оценке параметров задач [2].

Принятие решения прогнозирования эксплуатации технических систем требует решения ряда задач, таких как:

- задача аналитического исследования целей, моделей, способов формализации параметров прогнозирования эксплуатации технологического оборудования;

- разработка метода формализации параметров задачи прогнозирования, имеющих вербальное описание;

- разработку алгоритмов и программного модуля для задания базовых множеств лингвистических и нечетких переменных и задания функций принадлежностей экспертами;

- разработку модели принятия решения и алгоритмов принятия решений;

- задача проверки на адекватность полученных прогнозов [1].

В зависимости от используемой формальной постановки задачи анализа решений возможны различные подходы к принятию решений на основе ограниченной информации. Здесь ограничение возникает в силу специфических особенностей объектов рассматриваемых систем, состояния оборудования и т.д. В общем случае формализованная задача анализа решений обладает следующей структурой. Имеются три класса элементов: A — множество альтернатив, X — множество исходов, S — множество состояний. Множество S является проявлением стохастической неопределенности в принятии решений, конкретная интерпретация состояний зависит от формулировки задачи.

Взаимодействие элементов задачи принятия решений можно представить схемой

$$(A, S) \to X$$

т е. состояние в сочетании с выбранной альтернативой определяет исход решения. Предлагается два метода конкретизации, каждому из которых соответствуют свое определение множества состояний S и свой подход к оценке ожидаемой полезности альтернатив: анализ решений в экстенсивной и нормальной формах.

При анализе решений в экстенсивной форме состояние $s \in S$ определяется как отображение альтернатив в исходы

$$s: A \to X$$

При такой постановке множество состояний S в явном виде в анализе решений не фигурирует. Стохастическая неопределенность здесь описывается распределениями вероятностей на X, соответствующими альтернативам из A. Предпочтения лица

принимающего решение (ЛПР) должны быть выражены в виде функции полезности *u* на множестве ***X*.** Ожидаемая полезность EU_f альтернативы a_f,- может быть рассчитана для дискретного *X* как

$$\mathrm{EU_f} = \sum_j u(x_j) f(x_j),$$

а для непрерывного *X* — как

$$EU_f = \int_X u(x) f(x) dx$$

Поскольку каждой альтернативе $a \in A$ однозначно соответствует свое распределение вероятностей *f*, при данном подходе можно говорить о выборе наиболее предпочтительного распределения.

При анализе решений в нормальной форме альтернатива $a \in A$ определяется как отображение состояний в исходы

$$a: S \to X$$

Здесь множество состояний *S* явно присутствует в анализе решений, а стохастическая неопределенность описывается с помощью одного распределения вероятностей на *S*. Это распределение не зависит от выбора той или иной альтернативы. При дискретном множестве *S* оно задается распределением $p(s_j)$**,** выражающим вероятность того, что будет иметь место состояние $s_j \in S$. При непрерывном множестве *S* оно задается соответствующей плотностью *p(s)*.

Предпочтения ЛПР, как и прежде, задаются функцией полезности, однако здесь она обычно строится не на множестве исходов *X*, а на $\boldsymbol{A \times S}$, т. е. на множестве пар «действие — состояние» *(a, s)*. Это объясняется тем, что система аксиом, которым должна удовлетворять структура предпочтений ЛПР, в этом случае оказывается менее жесткой, к тому же любой исход, $x \in X$ однозначно определяется некоторой парой $(\boldsymbol{a, s}) \in \boldsymbol{A \times S}$. При анализе решений в нормальной форме ожидаемая полезность EU_f альтернативы $a_j \in A$ может быть рассчитана для дискретного множества *S* как

$$EU_f = \sum_j u(a_j, s_j) p(s_j),$$

а для непрерывного S — как

$$EU_f = \int_S u(a_j, s) p(s) ds$$

Однако, несмотря на изоморфность, переход от одной формы к другой не всегда возможен. Практически всегда можно перейти от нормальной формы к экстенсивной, так как состояния $s_j \in S$ в этом случае выражены в явном виде [3].

Таким образом возникает проблема отсутствия явно выраженного описания состояний, которое является основой анализа решений в нормальной форме.

Литература

1. Номерчук А.Я., Косенко Е.Ю., Номерчук Д.Я. К вопросам принятия решений прогнозирования работы оборудования при эксплуатации технических систем // Материалы всероссийской научной интернет конференции «Инновационные процессы в гуманитарных, естественных и технических системах» - часть 2 – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. - С. 39-41.

2. Финаев В.И. Модели систем принятия решений: учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005, 118с.

3. Номерчук А.Я., Косенко О.В. Методика принятия решений на основе нечеткой информации в автоматизированных системах. // Материалы Всероссийской молодежной научной конфеоенции "Мавлютовские чтения". - Уфа, Изд-во: Редакционно издат. комплекс УГАТУ. 2011. Т.3 - с. 70-72

SPICE-МОДЕЛИ КРЕМНИЕВЫХ БТ И КРЕМНЕ-ГЕРМАНИЕВЫХ ГБТ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Петросянц К.О., Кожухов М.В.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В работе исследуется воздействие нейтронного и γ-излучения на характеристики Si БТ и SiGe ГБТ. Представлены SPICE-макромодели, учитывающие влияние нейтронного и γ-излучения на характеристики Si БТ и SiGe ГБТ. Показано что результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментом.

SPICE-model of Si BJT and SiGe HBT consider the effects of the radiation factor. Petrosyants K., Kozhukhov M.

The effects of neutron and γ-radiation on characteristics of Si BJT and SiGe HBT are investigated. SPICE-macro models taking into account the effects of neutron and γ-radiation are developed. The modeling results are in good agreement with experimental data.

Надежность электронной техники, работающей в условиях повышенной радиации, например на аэрокосмических летательных аппаратах, определяется радиационной стойкостью транзисторов, входящих в состав интегральных микросхем. Существует целый ряд областей, где основными поражающими факторами являются γ-излучение и нейтроны. В первую очередь, к таким областям относится аппаратура атомных электростанций, космическая и военная техника.

В данной работе исследовались модели для схемотехнического расчета кремниевых биполярных транзисторов (Si БТ) и SiGe гетеропереходных биполярных транзисторов (SiGe ГБТ) с учетом радиационной стойкости к γ- и нейтронному воздействию. Выбор SiGe ГБТ обусловлен особенностями их конструкции, за счет которой транзисторы данного типа обладают высокой эффективностью на сверхвысоких частотах, низким уровнем шума при высоком коэффициенте усиления и радиационной стойкостью, сопоставимой с Si БТ.

SPICE-модель Si БТ и SiGe ГБТ с учётом суммарной поглощённой дозы γ-излучения

Известно, что основным параметром биполярного транзистора, который сильно меняется под воздействием полученной дозы излучения, является коэффициент усиления тока. Он в свою очередь зависит от тока базы. Физические модели для токов рекомбинации обычно разделяют базовый ток I_b на несколько составляющих, возникающих в различных областях биполярного транзистора 1. Каждый из этих компонентов подчиняется экспоненциальной зависимости от напряжения база-эмиттер с различными показателями степени n:

$$(I_b)_n = (I_0)_n\left(e^{V_{be}/n\varphi_t} - 1\right), \quad (1)$$

где n ≈1 – ток рекомбинации-генерации в области базы;

1<n< 1,7 - ток рекомбинации-генерации в обедненной области перехода база-эмиттер;

1,7<n< 4 – поверхностная рекомбинация, включая образование поверхностных инверсионных каналов.

Как отмечается в публикациях 1 и 2, процесс облучения биполярного транзистора сопровождается возникновением новых составляющих тока базы с

различными значениями n и изменением соотношения между ними. Поскольку стандартные схемотехнические модели современных распространенных систем проектирования не учитывают радиационные эффекты в транзисторах, то возникает задача их добавления к стандартным моделям.

В данной работе предлагается использовать макромодельный подход, описанный авторами ранее [3] и показавший свою эффективность. В нем используются стандартные SPICE модели Si БТ или SiGe ГБТ и дополнительные схемные элементы. Основной транзистор (см. рис. 1) описывается любой адекватной SPICE моделью с параметрами, зависящими от полученной дозы излучения, и к нему добавляются схемные элементы, учитывающие воздействие суммарной поглощенной дозы γ-излучения.

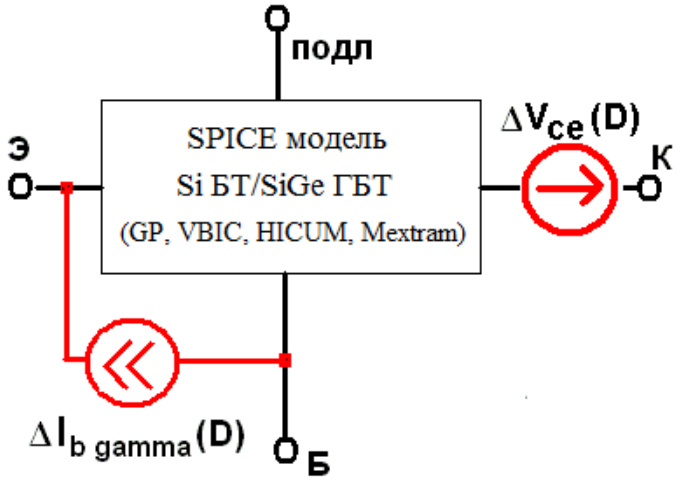


Рис. 1 SPICE макромодель Si БТ/SiGe ГБТ с учетом суммарной поглощенной дозы γ-излучения

Параметр B_f SPICE модели Si БТ/SiGe ГБТ, описывающий коэффициент усиления тока транзистора в области средний токов, зависит от полученной дозы D γ-излучения по выражению:

$$\frac{1}{B_f(D)} = \frac{1}{B_{f0}} + k_B D, \tag{2}$$

где: B_{f0} - значение коэффициента усиления до облучения,

k_B - подгоночный коэффициент.

Дополнительные схемные элементы макромодели:

Генератор тока I_{b_gamma} (D), описывающий спад усиления в области малых токов после облучения описывается выражением:

$$I_{b_gamma}(D) = I_{b_gamma_0}(D)\left(e^{\frac{V_{be}}{n_D \varphi_t}} - 1\right) \tag{3}$$

$$I_{b_gamma0}(D) = I_{b_gamma_0} + k_1(1 - e^{-k_2 D}) \tag{4}$$

Коэффициент n_D является подгоночным и учитывает дополнительную рекомбинацию, вызванную облучением.

Источник напряжения ΔV_{ce} (D), учитывающий увеличение напряжения насыщения транзистора после полученной дозы, описывается выражением, используемым в литературе 2, 4:

$$\Delta V_{CE}(D) = v + g \cdot e^{-hD} \tag{5}$$

где: I_{b_gamma0} , k_1, k_2, v , g, h – подгоночные коэффициенты.

Определение параметров макромодели проиллюстрируем на примере 0.35 мкм SiGe ГБТ 4. На рис. 2 приведены измеренные в работе 4 (значки) и смоделированные (тонкие линии) с помощью разработанной макромодели на основе Mextram 504 зависимости коэффициента усиления SiGe ГБТ от тока коллектора для полученных доз γ-излучения 50, 200, 500 кГр. Получены следующие параметры макромодели, учитывающие суммарную поглощенную дозу γ-излучения:

B_{f0} = 195; k_B = 1,4 10^{-9}; I_{b_gamma0} = 1,3 10^{-12} А; k_1 =6,9 10^{-11} ; k_2=6,5 10^{-6}; n_D = 1,8.

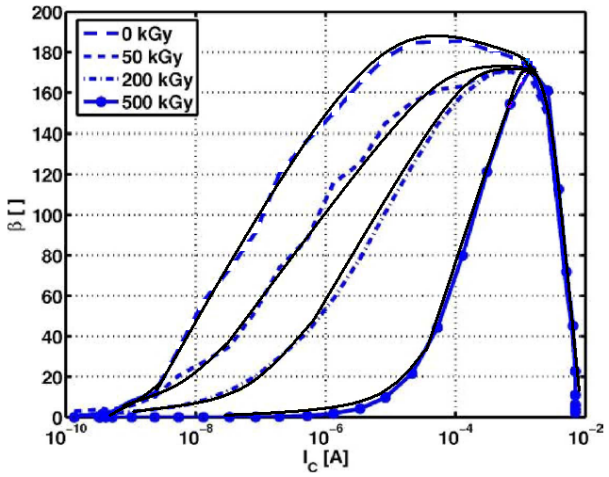


Рис. 2 Измеренные 4 (значки) и смоделированные (тонкие линии) с помощью разработанной макромодели на основе Mextram 504 зависимости коэффициента усиления 0.35 мкм SiGe ГБТ от тока коллектора

SPICE-модель Si БТ и SiGe ГБТ, учитывающая влияние нейтронов

При воздействии нейтронного излучения образуются комплексные дефекты в области активной базы и pn-перехода эмиттер-база полупроводникового прибора 5, что приводит к деградации трех параметров БТ: времени жизни, концентрации и подвижности носителей заряда. В свою очередь уменьшение этих параметров приводит к уменьшению коэффициента усиления тока β. Для учета этого эффекта в работах 5–7 предложено ввести в стандартную модель Гуммеля-Пуна внешний источник тока между контактами базы и эмиттера (см. рис. 3).

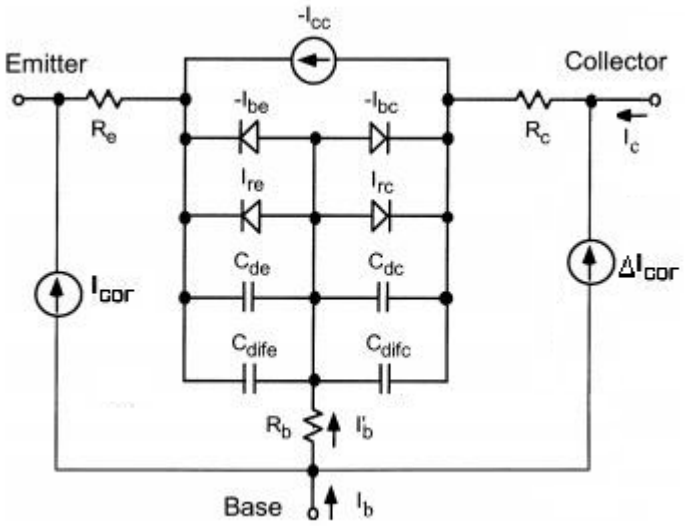


Рис. 3 Схема включения внешнего источника радиационно-индуцированного тока

Данный источник тока описывается выражением 8:

$$I_{cor} = K_\beta \cdot \Phi_n \cdot I_c, \quad (6)$$

где I_c – ток коллектора биполярного транзистора;

Φ_n-интегральный поток нейтронов;

K_β-коэффициент радиационного изменения времени жизни, который определяется как:

$$K_\beta = \begin{cases} a_1 \cdot {I_c}^{b_1}, \text{при Vбэ} < 0{,}4\text{В} \\ a_2 \cdot {I_c}^{b_2}, \text{при Vбэ} > 0{,}4\text{В} \end{cases}, \quad (7)$$

где a_1, b_1, a_2, b_2 – коэффициенты.

Стоит отметить, что при моделировании параметры модели, описывающие воздействие нейтронов, определяются только один раз. В дальнейшем изменяется только внешний параметр - поток нейтронов Φ_n.

С использованием данной модели были определены параметры транзисторов двух типов:

1) Si БТ с n-p-n структурой аналогичный транзистору Matsushita 2SD1423A [9] с параметрами: коэффициент усиления по току $\beta = 70$, граничная частота $f_T = 1{,}9$ ГГц и максимальная частота $f_{max} = 5{,}1$ ГГц;

2) транзистор компании IBM 130 нм SiGe ГБТ 8WL с параметрами: $\beta = 250$, $f_T = 100$ ГГц, $f_{max} = 200$ ГГц.

Для этих двух типов транзисторов моделировались статические характеристики.

На рис. 4 приведено сравнение экспериментальных данных и результатов SPICE моделирования для **Si БТ** при потоке нейтронов $1 \cdot 10^{13}$ н/см^2.

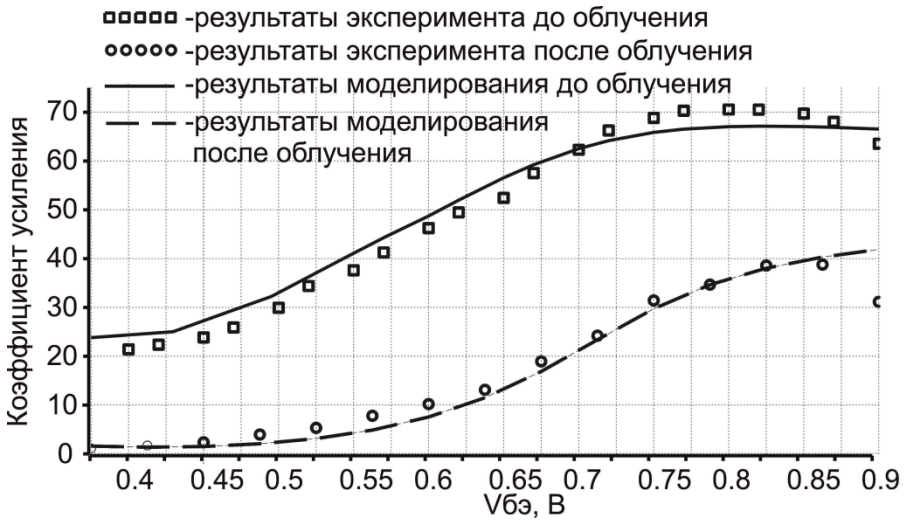


Рис. 4 Коэффициент усиления до и после облучения потоком нейтронов $1 \cdot 10^{13}$ н/см^2

На графиках точками обозначены данные эксперимента до и после облучения, сплошной линией - результаты моделирования до облучения, а пунктирной линий данные моделирования после облучения потоком нейтронов $1 \cdot 10^{13}$ н/см^2.

Как видно из рис.4, расхождение смоделированных характеристик Si БТ с экспериментом не превышает 20%, что для прогнозирования деградации параметров является хорошим совпадением.

Далее на рис. 5 - 7 показаны входные и выходные характеристики для **SiGe ГБТ** до облучения и после воздействия потоков нейтронов $2 \cdot 10^{13}$ н/см^2 и $1 \cdot 10^{15}$ н/см^2.

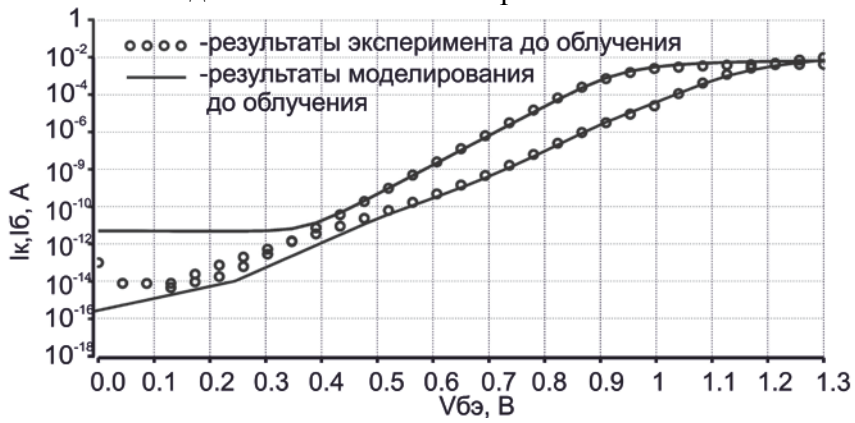
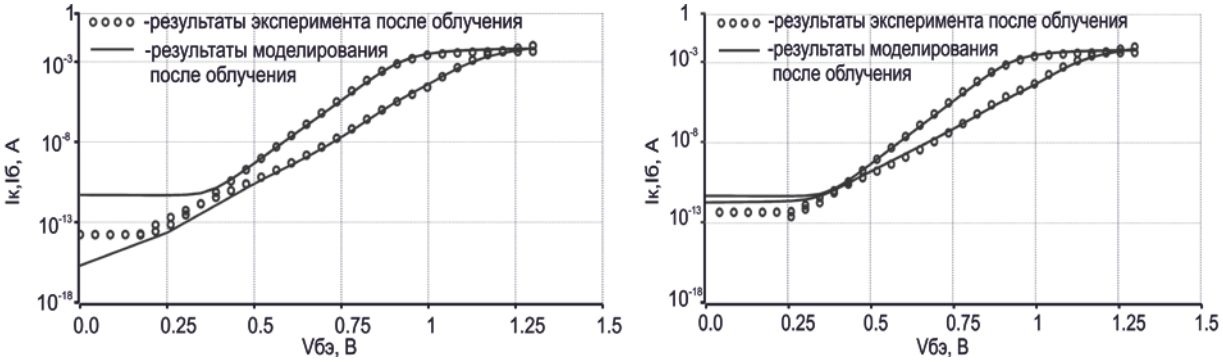
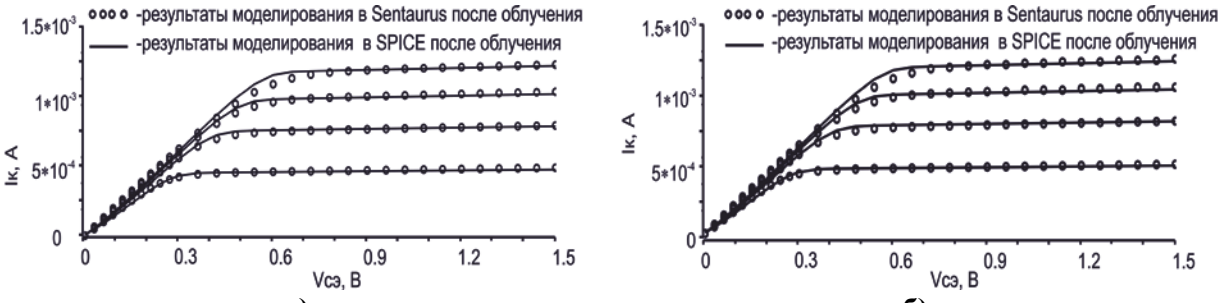


Рис. 5. Входная характеристика SiGe ГБТ до облучения



а) б)

Рис. 6. Входная характеристика SiGe ГБТ при потоке нейтронов $2 \cdot 10^{13}$ н/см^2(а) и $1 \cdot 10^{15}$ н/см^2(б)



а) **б)**

Рис. 7. Выходная характеристика SiGe ГБТ при потоке нейтронов $2 \cdot 10^{13}$ н/см^2(а) и $1 \cdot 10^{15}$ н/см^2(б)

На графиках точками обозначены данные эксперимента, а линиями результаты моделирования.

Из графиков видно, что расхождение между смоделированными и экспериментальными характеристиками не превышает 10%.

Параметры SPICE-модели с учетом радиационной деградации характеристик для Si БТ и SiGe ГБТ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры SPICE- модели для Si БТ и SiGe ГБТ

Si БТ		SiGe ГБТ	
IS	0.76e-18.95	IS	9.59e-19
NF	1.012	NF	0.97
BF	70.5	BF	340
ISE	6.9e-18	ISE	3.39e-16
NE	1.46	NE	1.735
VAF	100	VAF	25
VAR	150	VAR	5
IKF	0.0009	IKF	0.007386
NKF	1e-7	NKF	1
re	7000	RE	8.6
RB	10000	RB	9
RC	15000	RC	350
QCO	1e-27	QCO	1e-25
GAMMA	1e-25	GAMMA	1e-24
Ф	1e+13	Ф	2e+13
a	2e-17	a	2e-19
b	–0.34	b	–0.34

Результатами проведенной работы являются компактные SPICE-модели Si БТ и SiGe ГБТ, учитывающие воздействие γ- и нейтронного излучения. Модели обеспечивают 10-20%-ную точность моделирования электрических характеристик транзисторов в практически важном диапазоне воздействий радиационных факторов. Модели используются для схемотехнических расчетов аналоговых и цифровых ИС с учетом требований радиационных стойкости.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Литература

1. A. Sutton, B. Hauderud, A. Prakash, et al. A Comparison of Gamma and Proton Radiation Effects in 200 GHz SiGe HBTs//IEEE Trans. on Nuclear Science, 2005 v. 52, N6, p.p. 2358 – 2365.

2. M. Van Uffelen, S. Geboers, P. Leroux, F. Berghmans. SPICE Modeling of a Discrete COTS SiGe HBT for Digital Applications up to MGy Dose Levels//IEEE Trans. on Nuclear Science, 2006 v. 53, N4, p.p. 1945 – 1949.

3. Петросянц К. О., Харитонов И. А. Модели МДП и биполярных транзисторов для схемотехнических расчётов БИС с учётом радиационного воздействия // Микроэлектроника РАН, 1994, т. 23, № 1, с. 21–34;

4. P. Leroux, W. De Cock, M. Van Uffelen, M. Steyaert. Modeling, Design, Assessment of 0.4 μm SiGe Bipolar VCSEL Driver IC Under γ-Radiation//IEEE Trans. on Nuclear Science, 2009 v. 56, N4, p.p. 1920 – 1925.

5. H. S. Hajghassem, J. R. Yeargan, W. D. Brown, and J. G. Williams,“Modeling the effects of neutron radiation on the Gummel-Poon parametersfor bipolar NPN transistors,” Microelectron. Reliab., vol. 31, pp. 969–984, 1991.

6. Deng Yanqing T.A. Fjeldly, T. Ytterdal, M.S. Shur, SPICE modeling of neutron displacement damage and annealing effects in bipolar junction transistors // IEEE Transactions on Electron Devices, Vol: 50, №6, 2003, pp. 1873 – 1877.

7. O. Rinaudo,; T. Zimmer,; S. Limtouch,; G. Bourgoin,; P. Lalande, SPICE data base for neutron (1 MeV) radiation hardening design: permanent damage effects simulation of bipolar transistors // Proc. Third European Conference on Radiation and its Effects on Components and Systems, 1995. RADECS 95. Sep 1995, Arcachon , France, pp. 161 – 164

8. Коноплева Р.Ф., Литвинов В.Л., Ухин Н.А. Особенности радиационного повреждения полупроводников частицами высоких энергий. – М.: Атомиздат, 1971.

9. http://www.alldatasheet.com/datasheet-df/pdf/13066/PANASONIC/2SD1423A.html

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА С АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ БОЛЬШОЙ АПЕРТУРЫ

Пилков А. В.

Москва, ОАО «Радиотехнический институт имени ак. А. Л. Минца»

Обоснована необходимость разработки методического аппарата для проверки характеристики частотной избирательности радиоприемных устройств с активными фазированными решетками большой апертуры. Предложена схема реализации испытаний.

Measurement methods DATA frequency selectivity of radio receivers with active phased array of large-aperture. Pilkov A. V. Moscow, «Academician A. L. Mints Radiotechnical Institute»

The need to develop a technique for frequency-selectivity characteristics measurement of radio receivers with large aperture active phased array antenna is justified. Scheme of tests implementation is offered.

Введение

Для обеспечения беспомеховой работы радиоэлектронного средства (РЭС) в окружающей группировке радиоэлектронных средств необходимо обеспечить их частотно-территориальный разнос.

В качестве исходных данных для расчета частотно-территориального разноса служит перечень характеристик РЭС в предполагаемом месте дислокации и характеристика частотной избирательности (ХЧИ) радиоприемного устройства (РПУ) вводимого в группировку РЭС.

Под характеристикой частотной избирательности понимается зависимость уровней входных помеховых сигналов, вызывающих недопустимые искажения в радиоприёмном тракте, от частоты помеховых сигналов [1]. Численно требования к ХЧИ задаются в виде динамических диапазонов и уровней восприимчивости по блокированию, интермодуляции и побочным каналам приема [1,2], иными словами ХЧИ отражает уровни внеполосных помеховых сигналов, вызывающих допустимые нелинейные искажения в РПУ.

ХЧИ РПУ, измеренная в широком диапазоне частот, позволяет определить потенциально несовместимые РЭС в группировке и принять меры, направленные на обеспечение электромагнитной совместимости: доработка радиоприемного устройства вводимого РЭС с целью повышения частотной избирательности либо выбор точки

дислокации, в которой уровни помеховых сигналов от группировки РЭС не превышают допустимых значений.

В статье рассмотрены особенности измерения параметров ХЧИ РПУ с активными фазированными антеннами большой апертуры.

1. Структура РЭС с АФАР, особенности измерения ХЧИ РПУ

На рисунке 1 представлена типовая структура РПУ с АФАР [3].

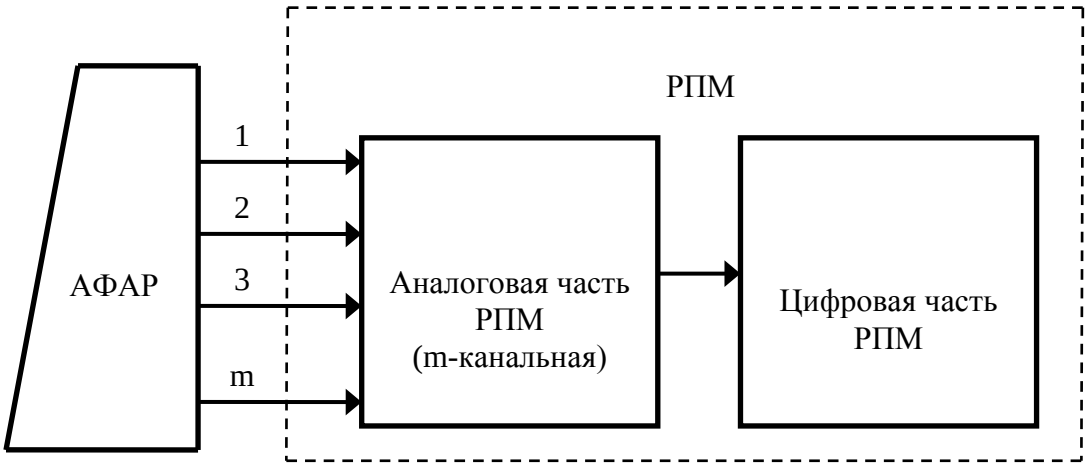


Рисунок 1. Структурная схема РПУ с АФАР

Выделяют три основные части РПУ с АФАР: активная фазированная антенная решетка, аналоговая часть радиоприемника, (число каналов радиоприемника m соответствует числу элементарных антенных излучателей) и цифровая часть радиоприемника. Частотные свойства и линейность каждой структурной части в совокупности определяют ХЧИ РПУ РЭС и не могут быть исключены из рассмотрения. Однако типовые методики [3] параметров ХЧИ не позволяют реализовать измерения РЭС рассматриваемого типа:

Во-первых, для учета частотных свойств антенны необходимо проводить испытания «по полю», что предполагает излучение помеховых сигналов из дальней зоны диаграммы направленности (ДН) антенны. Формула 1 определяет расстояние, соответствующее дальней зоне ДН АФАР [4]:

$$r \geq 2 \cdot D^2/\lambda, \qquad (1)$$

где D – максимальный линейный размер антенны, λ – длина волны колебания.

По формуле (1) видно, что для антенных решеток большой апертуры с линейным размером десятки метров для метрового диапазона волн дальняя зона ДН будет составлять единицы километров. При излучении испытательных сигналов из дальней зоны потери на распространение составят 50-80 дБ, что является недопустимым вследствие ограниченной мощности измерительных генераторов.

Во-вторых, типовые методики предполагают измерение аналоговых радиоприемников, при этом в настоящее время широко применяется цифровая обработка сигналов. Стандартные методики позволяют провести испытания только аналоговой части одного канала (в то время, как число приёмных каналов АФАР может достигать нескольких тысяч), при этом суммирование каналов и цифровая обработка не учитываются. В случае, если приемная ячейка спроектирована с аналоговым входом и цифровым выходом, проведение испытаний по типовым методикам невозможно.

В-третьих, стандартные методики предполагают плавную перестройку частоты помеховых сигналов для поиска побочных каналов приема, не учитывая, что некоторые РЭС работают по алгоритмам, предполагающим накопление сигнала, и не могут мгновенно отображать реакцию РЭС на помеховое воздействие заданного уровня и частоты.

В-четвертых, критерием невыполнения требований служит подавление полезного сигнала под действием внеполосной помехи либо появление в рабочем диапазоне частот помеховых откликов, прошедших за счет побочных каналов приема или интермодуляции, при этом программно-алгоритмические возможности РЭС, такие, как перестройка частоты в пределах рабочего диапазона и адаптация, не учитываются.

Для решения вышесказанных проблем требуется разработка специализированной методики, учитывающей особенности РПУ с АФАР и позволяющей автоматизировать процесс измерений.

2. Схема измерения ХЧИ РПУ с АФАР

Испытания предлагается реализовать по схеме, представленной на рисунке 2. Для реализации проверки ХЧИ предлагается использовать измерительное оборудование для формирования сигналов, как в типовых методиках. Для исключения проблем, связанных с излучением испытательных сигналов из дальней зоны ДН АФАР, предлагается использовать систему разводки контрольного сигнала (КС), которая обеспечивает подачу сигналов на каждый из m входов радиоприёмника. Наличие системы разводки КС целесообразно предусмотреть на этапе проектирования РЭС, поскольку помимо измерения параметров ХЧИ она будет использоваться для калибровки приемных каналов по фазе в рабочем диапазоне частот, что необходимо для РПУ с фазированными решетками.

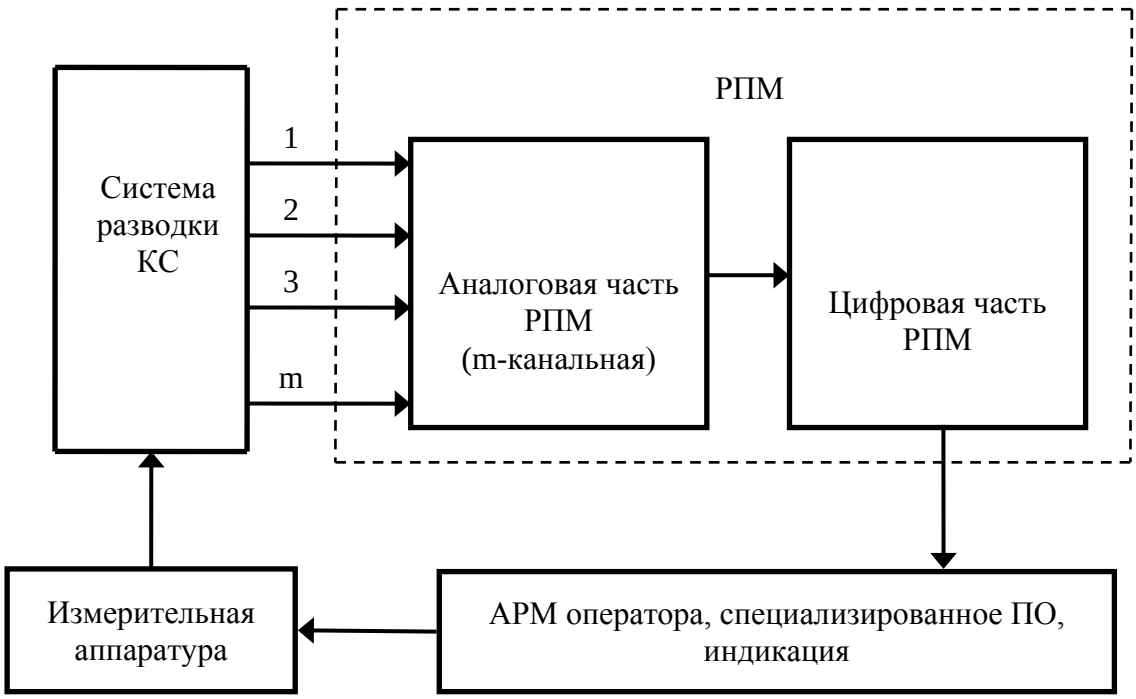


Рисунок 2. Схема для измерения параметров ХЧИ РПУ с АФАР

Отличительной особенностью предлагаемого решения является то, что управление измерительной аппаратурой, формирующей испытательные сигналы, осуществляется не напрямую оператором, как при типовых методиках, а по специально разработанному алгоритму, реализованному на автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора.

Исходными данными для работы алгоритма является массив с выхода цифрового приемника, обработка которого позволяет оценить реакцию всего радиоприемного устройства на помеховое воздействие заданного уровня. Алгоритм учитывает:

- частотные свойства антенны, тем самым позволяет проводить испытания в высокочастотном тракте, минуя антенную систему;
- калибровочные коэффициенты, учитывающие потери системы разводки контрольного сигнала на частотах измерения;
- особенности функционирования и программно-алгоритмические возможности конкретного РЭС, на основании которых выбирается критерий соответствия/несоответствия требованиям;
- требуемый шаг перестройки частоты помеховых сигналов (в случае невозможности плавной перестройки частоты), для измерения ХЧИ с необходимой точностью.

В результате испытаний по предлагаемому алгоритму будет измерена ХЧИ по каждому из параметров (блокирование, интермодуляция, побочные каналы приема) в интересующем диапазоне частот и с требуемой точностью. Автоматизация процесса позволит существенно сократить временные затраты на проведения испытаний.

Заключение

Разработка алгоритма и автоматизация процесса измерения параметров ХЧИ аналого-цифрового РПУ с АФАР является перспективным направлением с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости РЭС в условиях постоянно усложняющейся электромагнитной обстановке.

Литература

1. ГОСТ 23611-79 Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.

2. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем/ В. И. Владимиров, А. Л. Докторов, Ф. В. Елизаров и д.р.; под ред. Царькова. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.. ил.

3. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток.: Учебное пособие для вузов/ Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко, В. С. Филиппов и др. под. ред Д. И. Воскресенского. 3-е изд. доп. и перераб.- М.: Радиотехника, 2003. – 632с.: ил.

4. Методики выполнения измерений параметров и характеристик электромагнитной совместимости радиоприёмников методом двухчастотного зондирования. Рекомендованы к применению решением Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) СССР от 26 февраля 1990 года.

ПЕРЕСТРОЙКА РАБОЧИХ ЧАСТОТ В ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКАХ МОБИЛЬНЫХ РРС

Попов И.С.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Рассмотрена возможность построения приемопередатчиков для мобильных радиорелейных станций, позволяющих перестраивать частоты приема и передачи. Проанализированы недостатки стандартного подхода применительно к построению приемопередатчиков мобильных РРС и предложены варианты решения задачи «безлитерного» построения приемопередатчиков.

Retuning the operating frequency of the transceiver mobile relay stations. Popov I.

Issues of the designing transceivers for mobile relay stations with ability to change transmit and receive frequencies. Drawbacks of the traditional approach in relation to the construction of transceivers for mobile relay stations and variants of solving the problem is introduced.

Подвижные РРС находят достаточно широкое применение в нашей стране и за рубежом, - главным образом в ведомственных сетях связи, в том числе и для силовых ведомств, Несмотря на актуальность и востребованность данного направления техники, до сих пор в нашей стране отсутствуют подвижные РРС, отвечающие современным требованиям и возможностям. Имеющийся парк мобильных РРС разработан много лет назад, устарел и полностью выработал свой ресурс. Новые разработки находятся в начальной стадии и далеки от завершения.

Поэтому актуальной задачей является разработка нового поколения радиорелейного оборудования, отвечающего современным требованиям и учитывающего специфику подвижных РРС и вообще мобильных комплексов различного назначения.

Принципиальным отличием РРС высокомобильных комплексов от стационарных РРС является необходимость перестройки рабочих частот во всем, либо в значительной части рабочего диапазона, так как часто неизвестны частоты, на которых придётся работать с ответной стацией. Большинство стационарных передатчиков в этом не нуждаются и потому этой возможности лишены, перестройка рабочих частот им просто запрещена и, обычно, они настраиваются один раз – еще на заводе. Т.е приёмопередатчики имеют «литерные» исполнения, охватывающие узкие участки частот в данном диапазоне.

В мобильных РРС требуются «безлитерные» приемопередатчики, допускающие оперативную перестройку частот во всём рабочем диапазоне волн. Частот. В этом случае гарантируется частотное сопряжение с любой «ответной» РРС данного класса.

В данной работе рассмотрено два метода решения этой задачи:

— использование принципа «временного дуплекса»;

— на основе приемопередатчика с коммутируемыми фильтрами.

При использовании в РРС метода частотного дуплекса, для защиты приёмника от мощного сигнала «своего» передатчика используются СВЧ полосно-пропускающие фильтры. Частотные планы всех радиорелейных линий (РРЛ) приведены в рекомендациях Международного Союза Электросвязи (МСЭ). Одним из стандартных значений является ширина полосы в 500 МГц. При этом разнос между частотами приёма и передачи постоянен и равен 266 МГц. Таким образом, для изменения рабочих

частот необходимо сдвигать одновременно частоты приема и передачи, сохраняя, при этом, установленный разнос.

Эта задача является нетривиальной, одним из путей ее решения является применение системы коммутируемых полосно-пропускающих фильтров, настроенных на различные частоты. Это позволяет создать ряд заданных пар частот, на которых может работать РРС, посредством переключения пар фильтров. Однако подобная система весьма сложна и громоздка. В России такая система была опробована лишь в одной мобильной станции, но до внедрения дело не дошло. Зарубежные аналоги также не известны.

Принцип «временного дуплекса» основан на разделении ресурса канала во времени и подразумевает поочерёдную передачу и прием сигнала.

Используя временной дуплекс, РРС может работать на одной рабочей частоте, на которой происходит как прием, так и передача сигнала. Данный метод позволяет избавиться от сложной системы фильтров, поскольку отпадает необходимость в разделении принимаемого и передаваемого сигнала по частоте. Благодаря этому облегчается возможность достаточно произвольно выбирать и даже изменять рабочие частоты передачи и приёма во всем заданном диапазоне, ограничившись, при этом, всего лишь одним фильтром, настроенным на весь рабочий диапазон (например, 500 МГц).

За рубежом данный принцип используется в военных РРС для передачи информации со скоростью до выше 10 Мбит/с.

В России временной дуплекс практически не внедрён в РРЛ, хотя отдельные образцы РРС создавались.

Оба рассмотренных метода позволяют решить поставленную задачу, однако как более предпочтительный следует выделить принцип «временного дуплекса».

Основным недостатком принципа коммутируемых фильтров является его громоздкость в реализации: в приёмопередатчике вместо двух волноводных фильтров СВЧ (используемых в «литерном» приёмопередатчике) требуется от 4-ми до 12 фильтров с сложными коммутаторами сигналов СВЧ. И это при том, что приёмопередатчик устанавливается на мачте рядом с антенной, на открытом воздухе. Но достоинством метода является отсутствие ограничений по скорости передачи (вплоть до STM-1 и выше)

Система, построенная на принципе временного дуплекса, более проста, позволяет легко перестраивать частоту во всем диапазоне рабочих частот. Более того, важнейшее её свойство – возможность изменять частоту от пакета к пакету с целью «размазывания» сигнала по всему диапазону частот (например, 500 МГц) в условиях радиолектронной борьбы. Поэтому много лет такие РРЛ применяются в войсках НАТО; в них частота меняется от 100 до 1000 раз в секунду.

Недостатком систем является меньшие скорости передачи, так как передача сигнала происходит менее 50% времени, кроме того, каждый пакет должен затрачивать определённый ресурс на вхождение в синхронизм по всем параметрам. Кроме того, увеличивается задержка передачи, расширяется спектр передачи.

Применение того или иного принципа зависит от требований к устройству. Так, рекомендуется использовать принцип «временного дуплекса» для высокомобильных систем, вынужденных работать в непредсказуемой радиочастотной среде, а также для систем использующих псевдослучайную перестройку частоты. Принцип коммутируемых фильтров рекомендуется для систем, к которым требуется большая пропускная способность.

Литература

1. Справочник по радиорелейной связи. Каменский Н.Н., Модель А.М., Наденeнко Б.С. и др.; Под ред. С.В. Бородича. – Изд 2-е, перераб. И доп. – М.; Радио и связь,1981. 416 с.

2. В. Безруков, С.А. Мусаелян. Радиорелейное оборудование на рынке России. Состояние и перспективы. В журнале Connect! Мир связи, №3, 1999 г.

3. И.М. Тепляков. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. М.: МИЭТ, 2003. – 264 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОГО РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Попов С.Е.
Москва, НИУ ВШЭ

В работе предлагается использование инновационных технологий математического моделирования затопления нижнего бьефа в качестве способа повышения эффективности принятия решений по смягчению последствий гидродинамических аварий и сезонных наводнений. Опыт практического применения специального программного обеспечения, разработанного на основе аттестованных методик прогнозирования чрезвычайных ситуаций и оценки риска, подтверждается примерами.

Improvement on the basis of GIS technologies of the estimation of emergency risk operation of hydraulic structures. Popov S.

In work use of innovative technologies of mathematical modeling of downstream submergence as a way of increase of efficiency of decision-making on softening of consequences of hydrodynamic accidents and seasonal flooding is offered. Experience of practical use of the special software developed on the basis of certified techniques of forecasting of extreme situations and an estimation of risk, proves to be true examples.

На протяжении последнего десятилетия на территории Российской Федерации произошло несколько крупных чрезвычайных ситуаций, обусловленных гидродинамическими авариями и сезонными наводнениями, которые сопровождались человеческими жертвами и существенным материальным ущербом. Катастрофичность этих явлений свидетельствует о низком уровне развития системы смягчения последствий наводнений.

Одной из причин сложившегося неблагоприятного положения дел является недостаточное внедрение инновационных информационных технологий в практику реагирования на подобные чрезвычайные ситуации. Причем это характерно как для организаций, эксплуатирующих гидротехнические сооружения (ГТС), так и для органов управления, обязанных прогнозировать возможный ущерб в случае гидродинамических аварий (ГДА), принимать превентивные меры по снижению риска и организовывать спасение населения в опасных зонах.

Используемые для оценки риска в подобных случаях методические материалы основаны, как правило, на использовании укрупненных, оперативных показателей [1], не позволяющих выполнить полноценное имитационное моделирование происходящих процессов, а специальное программное обеспечение (СПО), необходимое лицам, принимающим непосредственные решения, зачастую им недоступно в силу своей

дороговизны и иностранного происхождения. Последний фактор обуславливает также невозможность достоверного анализа алгоритмов, заложенных в соответствующие программные продукты и сопоставления ожидаемых экспертами прогнозных показателей с результатами компьютерного расчета с целью их верификации.

Кроме того, импортное СПО неудобно в использовании по причине слабой приспособленности к условиям российской действительности и ориентировано скорее на пользователей, имеющих специальное гидротехническое и математическое образование, чем на лиц, принимающих решения по защите людей. Попытки связаться с зарубежными разработчиками для получения ответов на возникающие при эксплуатации СПО вопросы носят затяжной характер и редко приводят к желаемым результатам.

Все эти обстоятельства вызвали необходимость разработки СПО, предназначенного как для проектировщиков, так и для специалистов, решающих практические вопросы смягчения рисков аварий ГТС и базирующегося на современных отечественных разработках в области моделирования формирующейся зоны затопления в результате прорыва плотины ГТС или сезонного наводнения и анализа риска [2]. Следует отметить, что в основу алгоритма оценки аварийного риска была положена многократно апробированная и аттестованная методика [3].

В результате использования разработанных расчетных моделей была реализована возможность выявления показателей возможного ущерба и потерь среди населения, расположенного в нижнем бьефе ГТС и выработки рекомендаций, направленных на снижение риска. Сущность управления риском в данном случае заключается в обосновании вырабатываемых рекомендаций достоверными сведениями о показателях ущерба в случае аварии на ГТС или паводка. Для реализации работоспособного комплекта СПО в привязке к конкретному гидроузлу обычно выполняется ряд операций.

1. Сбор исходных материалов для выполнения работы.
2. Выявление основных ущербообразующих факторов.
3. Создание базы геоданных. Сбор, преобразование в цифровую форму и структурирование данных на территорию вероятного затопления и зону влияния ГТС, включая информацию о рельефе местности и дна, гидросооружениях, об инфраструктуре, поселениях, промышленных зонах, административных границах; водотоках.
4. Создание специализированных баз данных с тематической информацией о гидросооружениях, застройке, населении, природных и техногенных опасностях, местах размещения сил ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС).
5. Формирование цифровой топографической модели водотока и поверхности в зоне влияния ГТС с параметрами, обеспечивающими автоматическое построение границ зон затопления (подтопления) территорий в нижнем бьефе гидросооружения.
6. Создание базы данных по сценариям развития ЧС.
7. Разработка математических моделей оценки ущербов и рисков с применением уравнений Сен-Венана для решения задач распространения гидропотока, оценки параметров гидропотока и границ зон затопления.
8. Проведение расчетов с определением возможных ущербов и комплексной оценкой риска для населения, расположенного вблизи ГТС с использованием геоинформационных технологий.
9. Построение карт с границами зон возможного затопления.
10. Разработка комплекса мероприятий обеспечения безопасности населения и территорий в зоне влияния ГТС.

11. Формирование комплекта методической документации, включая результаты оценки риска ЧС и рекомендации для органов исполнительной власти и соответствующих организаций.

Математические модели реализуются программными средствами, которые имеют:

- интерфейс для управления картографическим изображением на экране дисплея и специальные меню для решения задач оценки ущерба, определения перечня мероприятий, необходимого количества сил и средств спасения;
- интерактивные средства ввода и редактирования данных о параметрах чрезвычайной ситуации (ЧС);
- расчетный блок, обеспечивающий оценку параметров затопления, показателей ущерба;
- блок построения и редактирования электронных карт со средствами выбора элементов содержания, изменения их свойств, способов отображения зон затопления и других элементов специального содержания;
- средства документирования, в том числе, средства вывода на печать карт и формализованных отчетов.

Все предварительно структурированные данные размещаются в файлах стандартной СУБД MS SQL Server фирмы Microsoft.

В состав данных включается картографическая и специальная тематическая информация о сети водотоков и гидросооружениях, населении, застройке, источниках опасности, объектах жизнеобеспечения, а также другая информация с учетом требований к точности и достоверности моделирования опасных явлений для всей зоны влияния ГТС. Картографическая информация готовится с детальностью, соответствующей стандарту топографического плана масштаба 1:10 000 для открытой публикации.

Создание специальной базы геоданных различной детальности осуществляется с использованием возможностей Государственного фонда цифровых картографических данных и отделов городских архитектур, а также органов управления МЧС субъектов Российской Федерации. Выбор источников данных о местности осуществляется так, чтобы обеспечить достаточную надежность решения задач моделирования затоплений на территории в зоне влияния ГТС. Границы зон затопления территорий при подъеме уровней обычно строятся с дискретностью 0,5 м.

Специальное программное обеспечение, разрабатываемое индивидуально для каждого ГТС, базируется на геоинформационной системе (ГИС) «Экстремум», сертифицированной в Федеральном агентстве геодезии и картографии. Специальное программное обеспечение, используемое для решения расчетных и информационных задач, сертифицировано в системе добровольной сертификации аварийно-спасательных средств МЧС России.

Программные комплексы создаются на основе современных ГИС-технологий с использованием данных имитационного моделирования движения гидропотока в результате разрушения элементов ГТС. Комплексы имитируют процессы, происходящие при разрушении ГТС, в ходе затопления местности и позволяют повысить эффективность планирования и проведения мероприятий по защите населения и территорий.

Моделирование течения воды по руслам рек основывается на численном решении системы уравнений Сен-Венана в интегральной постановке. Эти уравнения выражают фундаментальные законы сохранения массы и количества движения. Зонирование зон затопления по индивидуальному риску выполняется на основании

данных, полученных в результате расчета параметров волны прорыва и формирования матрицы уровней подъема воды в зоне затопления. Для каждой точки матрицы по уровню подъема воды определяется скорость течения.

Высота подъема уровня воды и скорость течения являются основными факторами воздействия на людей и объекты жизнедеятельности. Зависимости степеней разрушения объектов жизнедеятельности от этих показателей волны прорыва определяются по специальным таблицам.

Объекты риска занесены в соответствующие слои ГИС, а их характеристики занесены в таблицы базы данных ГИС. Количество людей, находящихся на объекте, входит в число характеристик объекта. Для каждого объекта риска (жилое или промышленное здание), расположенного в зоне затопления, в соответствии с данными таблиц, определяется степень его разрушения.

Вероятности поражения в зданиях определяются в зависимости от степени повреждения зданий.

Укрупненный алгоритм зонирования затопления по индивидуальному риску включает следующие этапы:

- построение списка объектов, расположенных в зоне затопления;
- определение степени повреждения объектов;
- определение вероятности поражения людей;
- определение общей численности населения, попавшего в зону затопления;
- построение и отображение файла индивидуального риска.

Расчеты выполняются в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 1.

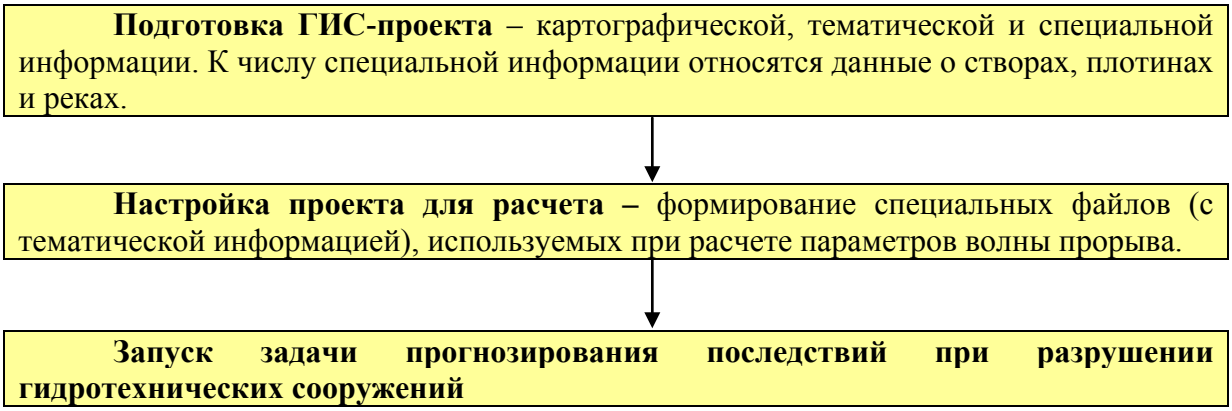


Рис. 1. Блок-схема выполнения расчетов

Основными показателями являются – индивидуальный и комплексный риски в зоне затопления. Вспомогательным показателем – карта потенциального территориального риска.

Индивидуальный риск, определяемый как вероятность смертельного исхода или потери здоровья населения за год при наводнении, рассчитывается по формуле

$$R_{ei} = HP, \quad (1)$$

где R_{ei} - индивидуальный риск при i – ой чрезвычайной ситуации;

H – частота чрезвычайной ситуации за год;

P – вероятность наступления неблагоприятного события при условии, что случилась чрезвычайная ситуация.

Размерность индивидуального риска, учитывая безразмерность параметра P, имеет вид: 1/год.

Коллективный риск, определяемый как ожидаемое число пораженных (со смертельным исходом или потерей здоровья) от наводнения за год, рассчитывается по формуле

$$R_i = HM(N), \qquad (2)$$

где R_i – коллективный риск при i – ой чрезвычайной ситуации;
H – вероятность наступления чрезвычайной ситуации за год;
$M(N)$ – математическое ожидание потерь населения.

Математическое ожидание потерь населения $M(N)$ определяется с учетом степеней разрушения зданий, поражения людей на открытой местности и общей численности людей в зоне риска.

Вероятность поражения людей определяется из выражения

$$P = M(N)/N, \qquad (3)$$

где N – общая численность людей в зоне риска.

Частота чрезвычайных ситуаций за год принимается в соответствии с классом ГТС.

Пример карты потенциального территориального риска представлен на рис. 2.

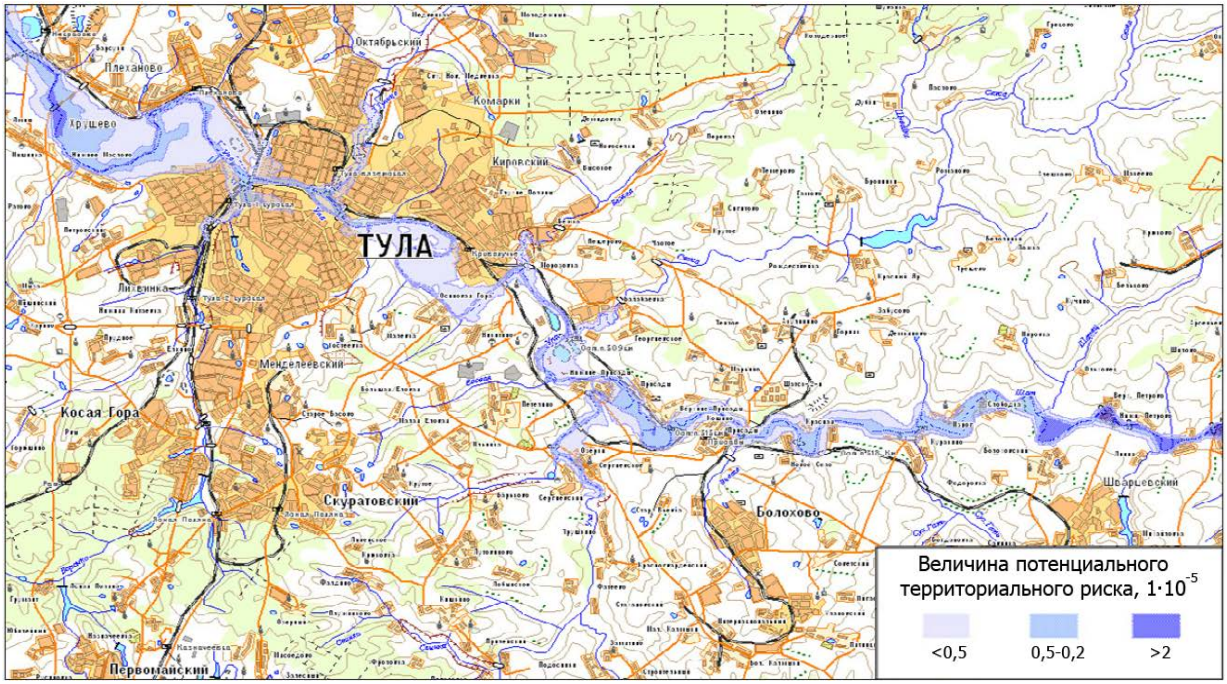


Рис. 2. Карта потенциального территориального риска для населения в зоне затопления при возможном разрушении плотины Шатского водохранилища

С использованием описанных технологий был выполнен ряд работ, позволивших не только верифицировать разработанные математические методы, но и в значительной степени их дополнить с учетом особенностей моделей местности и решаемых в каждом конкретном случае задач.

К числу наиболее значимых достижений последнего пятилетия в этом направлении можно отнести следующие работы, в которых анализировался риск ГДА и паводковых явлений, и исследовались различные способы их снижения. Каждая из этих работ характеризовалась своими, только ей присущими аспектами научной или практической новизны:

- разработка паспорта безопасности Санкт-Петербурга – оценка влияния индивидуального риска ГДА и нагонных наводнений на показатели комплексного риска ЧС города федерального значения;
- разработка паспорта безопасности г. Новокузнецка – выявление опасных районов города в паводковый период;
- разработка сценариев развития возможных чрезвычайных ситуаций в случае аварий гидротехнических сооружений Богучанской ГЭС – оценка ущерба при прорыве плотины с построением соответствующих трехмерных моделей;
- определение границ и зон затоплений территорий при различных отметках и сбросах воды для нужд Филиала ОАО «РусГидро» - «Жигулевская ГЭС» – исследование особенностей взаимного влияния каскада водохранилищ на вопросы снижения риска аварийных ситуаций на ГТС;
- разработка паспорта безопасности Ставропольского края – зонирование территории субъекта РФ по опасности наводнений;
- разработка и реализация пилотного проекта по повышению защищенности территорий и населения, проживающего вблизи Усть-Хантайской ГЭС от комплексных угроз техногенного и природного характера – анализ особенностей развития ЧС при прорыве плотины ГТС в условиях Крайнего Севера;
- разработка технологии и организации ликвидации последствий гидродинамической аварии на ГТС Саратовской ГЭС с использованием взрывного способа аварийного открытия затворов.

Использование описанных методических, программных и технических средств позволяет повысить эффективность деятельности персонала ГТС, а также органов исполнительной власти по снижению опасности для людей, проживающих и работающих на территории, расположенной в зоне влияния ГТС и сезонных наводнений. Смягчение последствий ГДА и паводков достигается за счет выполнения комплекса превентивных мероприятий, предназначенных для снижения ущерба, сокращения времени на подготовку планирующих и оперативных документов и ускорения процесса принятия решения в случае чрезвычайной ситуации.

Литература

1. Методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов. – М.: ФГУП НИИ ВОДГЕО, 2002, -44 с.
2. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: в 3 т. Т. 1: Аварийный риск. Взрывные и ударные воздействия /В.А.Котляревский, В.И.Ларионов, С.П.Сущев. – М.: Наука, 2005, -696 с.
3. Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – М.: ВНИИ ГО ЧС, ЦИЭКС, СЦ ИГЭ РАН, 2002, -33 с.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНА-ГРАФИКА ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СКОРОПОРТЯЩЕГОСЯ СЫРЬЯ В ХОДЕ РАЗРАБОТКИ АИС

Савва Т.Ю.
Орел, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»

Представлены результаты анализа и моделирования процесса формирования плана-графика производства. На основе указанных моделей предложен подход к разработке автоматизированной информационной системы.

Analysis of the formation of the schedule of production process at plants for processing of perishable raw materials in the development of automated information system. Savva T.Yu.

In the article there are presented the results of the analysis and simulation of the formation of the schedule of production process. Also, there is proposed an approach to the development of the AIS based on the described model.

Управление производственным процессом на предприятии сопровождается составлением планов производства различного уровня, которые в дальнейшем под влиянием различных внешних и внутренних факторов подвергаются корректировкам.

На основе данных производственной программы о плане выпуска продукции, технологии ее изготовления, составе используемого сырья и полуфабрикатов (СПФ), а также сведений о имеющихся производственных мощностях Плановик разрабатывает план-график загрузки оборудования (ПЗО).

Решение задачи формирования ПЗО требует учета особенностей технологических процессов (ТП) производства. Так, например, состав и условия организации ТП изготовления деталей и механизмов в приборостроении значительно отличается от параметров ТП, осуществляемых на пищевых производствах. В статье [1] нами рассмотрены особенности организации ТП на предприятиях по переработке скоропортящегося сырья и предложена учитывающая их математическая модель загрузки оборудования. Указанная модель была положена в основу разработки автоматизированной информационной системы (АИС) формирования плана загрузки оборудования. Внедрение такого рода АИС потенциально может упростить и сделать более обоснованным процесс принятия управленческих решений на рассматриваемом уровне планирования, и, как следствие, повысить эффективность менеджмента на предприятиях в целом. [2] На основе анализа предметной области были выделены ряд бизнес-процессов, которые должны быть автоматизированы в проектируемой АИС. Диаграмма модели бизнес-процессов представлена на рисунке 1.

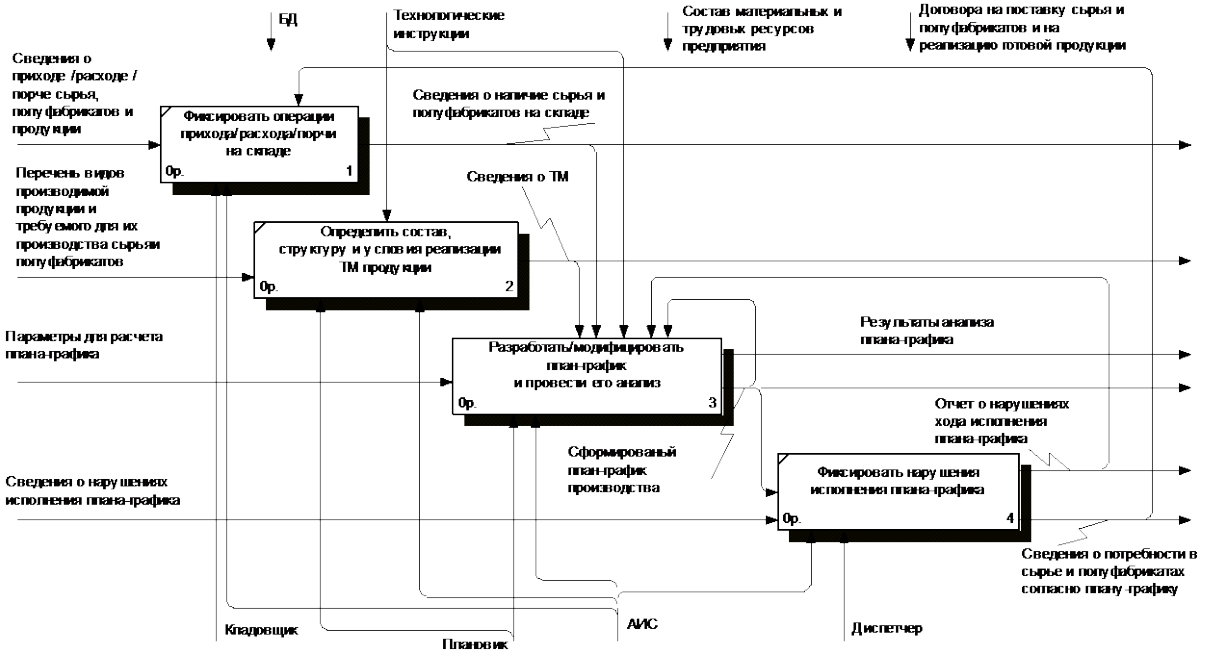


Рисунок 1 - Декомпозиция контекстной диаграммы бизнес процессов предметной области «Формировать план-график производства»

В ходе моделирования бизнес-процессов предметной области были выделены следующие точки зрения:

- Кладовщик – осуществляет фиксацию изменений состава СПФ и готовой продукции (ГП) на складах предприятия. На диаграмме указанному функционалу соответствует процесс №1 – «Фиксировать операции прихода/расхода/порчи на складе». Его выполнение необходимо для реализации ключевого процесса составления ПЗО, т.к. наличие СПФ в заданном объеме на складе является важным параметром для расчета загрузки мощностей в определенном периоде;
- Диспетчер – указывает на отклонения от принятого к исполнению ПЗО, в том числе, выход из строя оборудования, нехватку обслуживающего персонала, порчу СПФ или ГП в результате тех или иных сбоев в ходе реализации ТП. Описанному функционалу на диаграмме соответствует процесс №4 – «Фиксировать нарушения исполнение плана-графика». Выявленные таким образом отклонения служат предпосылкой для пересмотра и модификации ПЗО;
- Плановик – взаимодействует с АИС в ходе выполнения ключевых процессов №2 – «Определить состав, структуру и условия реализации технологических маршрутов (ТМ)» и №3 – «Разработать/модифицировать план-график и провести его анализ». Декомпозиция процесса №3 представлена на рисунке 2.

Процесс разработки плана-графика можно разделить на три этапа. На первом («Задать параметры для формирования плана-графика») Плановик на основе уже имеющихся сведений о ТМ формирует набор требований к плану-графику – сценарий для последующего моделирования. К таким требованиям, прежде всего, следует отнести предельно допустимые объемы переработки для каждого вида сырья, количество параллельно реализуемых в данном периоде ТМ для производства выделенных Плановиком видов готовой продукции, собственно период планирования, ограничения на использование трудовых и материальных ресурсов и т.д.

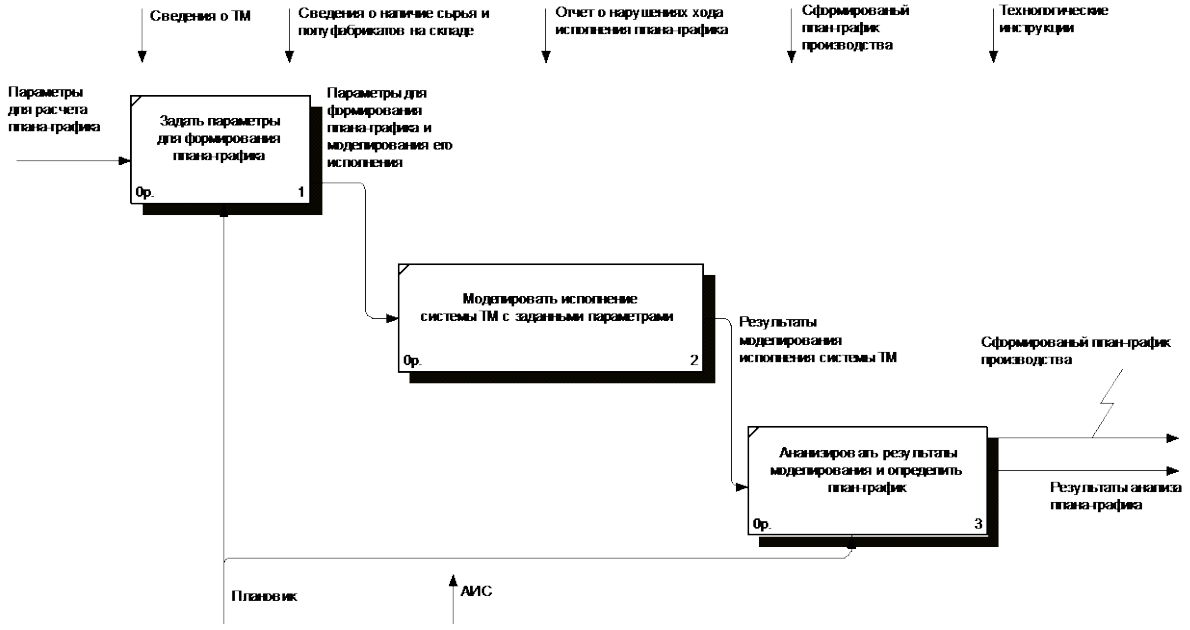


Рисунок 2 - Декомпозиция процесса «Разработать/модифицировать план-график и провести его анализ»

Некоторые параметры должны быть учтены в разрабатываемом плане-графике. В связи с этим на втором этапе («Моделировать исполнение системы ТМ с заданными параметрами») с помощью АИС формируется расширенная сеть Петри (РСП), в соответствии с указанным составом и значением параметров. Затем осуществляется моделирование исполнения заданного таким образом сценария процесса производства продукции, в результате чего собираются различные статистические данные, например, об «узких» местах в организации ТМ. Анализ полученных результатов моделирования позволяет Плановику принять решение о формировании в соответствии с текущим сценарием плана-графика и выработать рекомендации по его дальнейшему улучшению.

С точки зрения АИС описанные бизнес-процессы должны быть реализованы в качестве четырех основных вариантов использования системы. На рисунке 3 представлена разработанная диаграмма вариантов использования для проектируемой АИС. Таким образом, с АИС взаимодействуют три вида внешних сущностей: Плановик, Кладовщик, Диспетчер. При этом Кладовщик и Диспетчер осуществляют фиксацию в системе информации, необходимой для корректировки плана-графика в соответствии с изменившимися условиями организации производственного процесса. Роль Плановика предполагает его участие в описании множества существующих технологических маршрутов для последующей формализации их представления с помощью аппарата РСП.

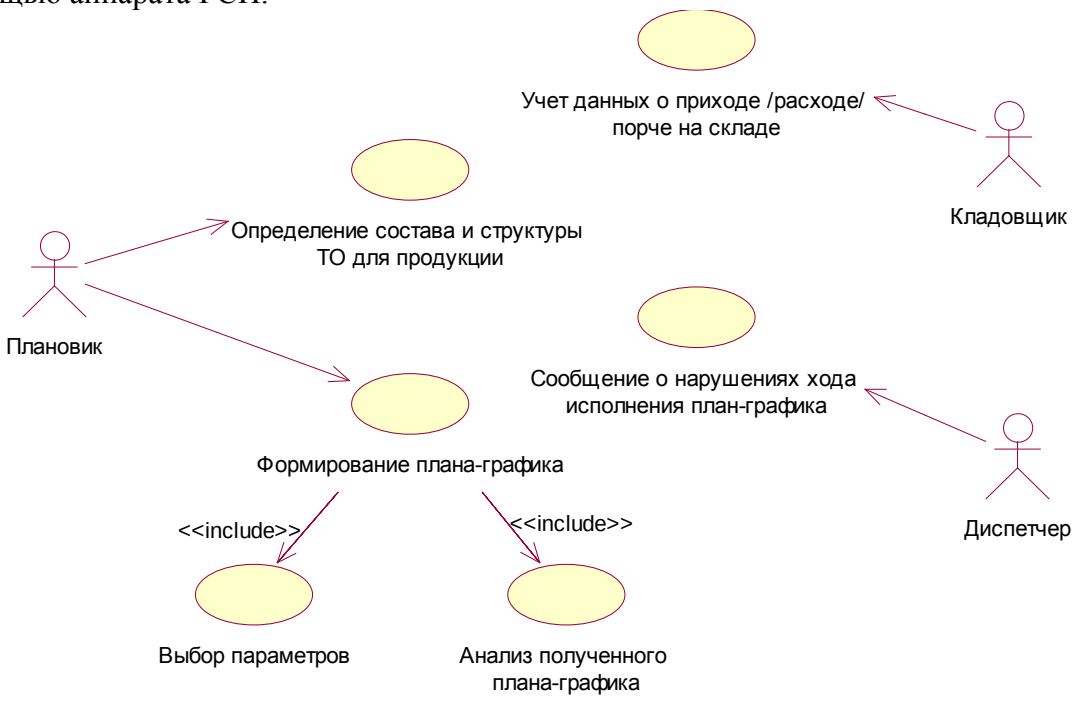
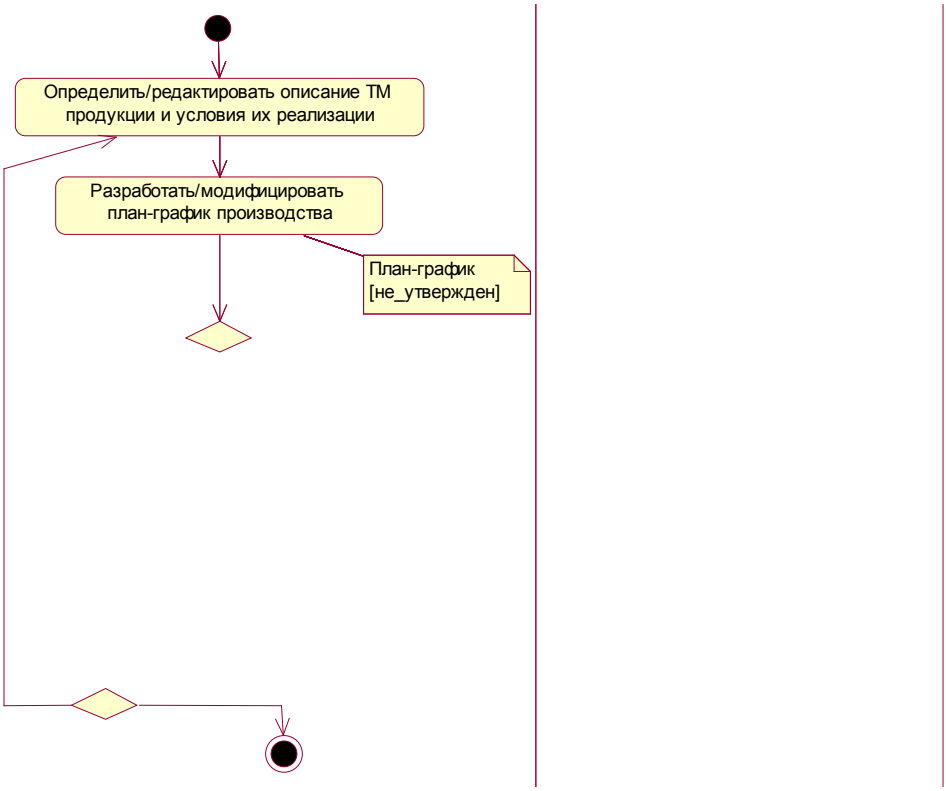


Рисунок 3 - Диаграмма вариантов использования

Формирование плана-графика требует установления в нем таких параметров, которые соответствуют наилучшему с точки зрения определенных критериев сценарию исполнения ТМ. Предполагается, что проанализировать полученные данные может только эксперт. В контексте рассматриваемой предметной области им является Плановик. При этом проектируемая АИС располагает необходимым инструментарием по описанию исходных данных и осуществлению на их основе моделирования различных вариантов сценариев исполнения одного или множества ТМ. Полученные в результате моделирования сведения подвергаются статистическому анализу, а Плановик принимает решение о принятии (или отклонении) того или иного варианта сценария в качестве опорного для составления плана-графика.

Так как сведения, поступающие от Диспетчера и Кладовщика, могут оказать существенное влияние на принятие решений Плановиком о целесообразности сохранения текущего плана-графика, в АИС предусмотрена возможность возврата к этапу описания ТМ и условий их реализации, а также последующей настройки параметров моделирования, собственно моделирования и переутверждения плана-графика. Указанные аспекты динамического поведения АИС представлены на диаграмме деятельности (см. рисунок 4). На рисунках 5 и 6 представлены декомпозиции состояний деятельности «Определить/редактировать описание ТМ продукции и условия их реализации» и «Разработать/модифицировать план-график производства» соответственно.



установленными структурными связями между ними. В качестве ключевых объектов предметной области были выделены: готовая продукция, сырье (в том числе полуфабрикаты), договор на поставку сырья / отгрузку готовой продукции, технологический маршрут, технологическая операция, склад для хранения сырья и продукции, оборудование, сотрудник (в том числе исполняющий роли Плановика, Диспетчера и Кладовщика, а также исполнители ТО, например, оператор, обслуживающий оборудование), план-график.

Результаты моделирования структурных связей между объектами представлены в виде диаграммы классов, где каждый класс соответствует некоторому объекту (см. рисунок 7). Рассмотрим ключевые связи и атрибуты классов, представленные на диаграмме.

Прежде всего, на ней отражена цепочка отношений между классами «Готовая продукция» – «Технологический маршрут» – «Технологическая операция». Отношение ассоциации между первыми двумя показывает, что каждой продукции должен соответствовать ТМ. В общем случае может быть несколько альтернативных ТМ, для этого введен атрибут «Статус», значение которого позволяет выделить, какой из маршрутов принят в качестве основного на производстве. Атрибут «Технологическая инструкция» соответствует целому комплексу требований к организации ТМ.

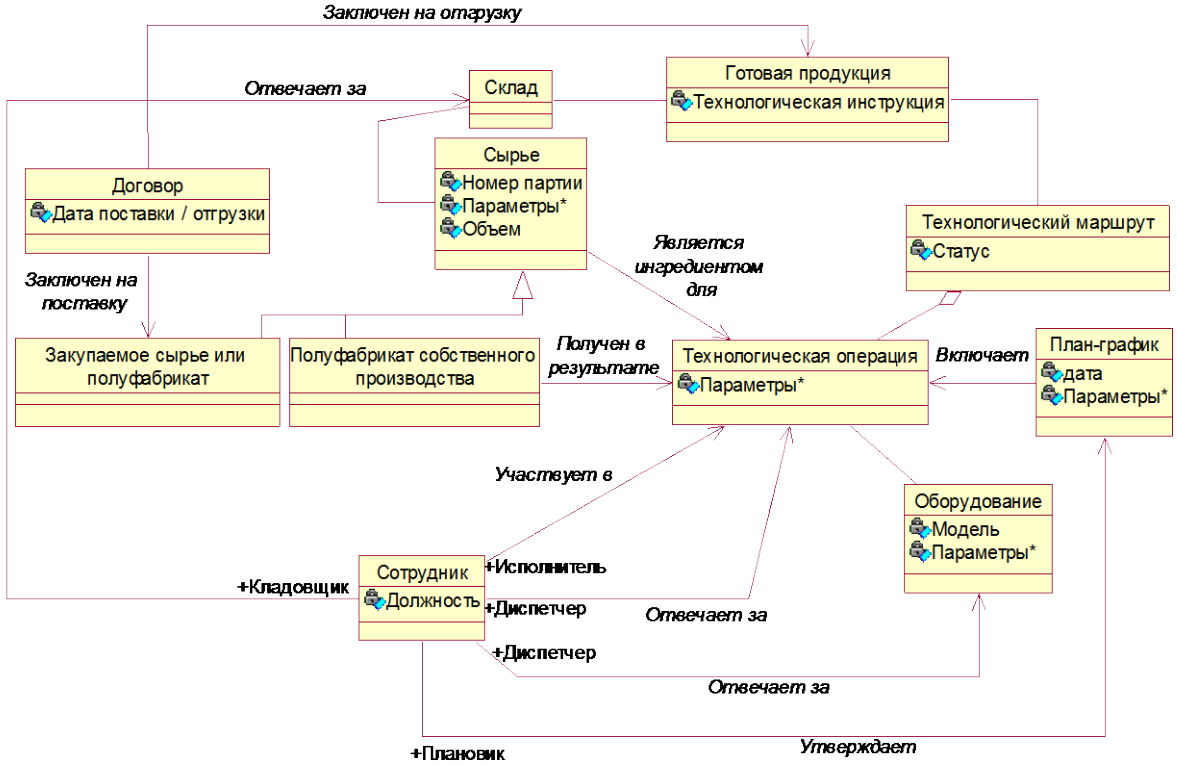


Рисунок 7 - Диаграмма классов

Отношение агрегации показывает, что ТМ состоит из ТО. Отображение атрибута «Параметры*» для класса «Технологическая операция» эквивалентно указанию перечня условий организации ТО, таких как основное и подготовительно-заключительное время, температурный режим и т.д. Характеристики, присущие используемой в ТО модели оборудования и сырью, также обозначены комплексно в классах «Оборудование» и «Сырье» соответственно. При этом сырье подразделяется на СПФ, закупленные у сторонних производителей, и полуфабрикаты собственного производства. Следует отметить, что для полуфабриката собственного производства

должна быть определена ТО, в результате которой он был произведен. Это необходимо для корректного описания модели исполнения ТМ и отслеживания этапов переработки. В качестве ингредиентов для ТО могут выступать как закупаемые СПФ, так и изготовленные на предприятии на предыдущих согласно ТМ продукции этапах. Описание свойств сырья (и полуфабрикатов) должно быть детализировано с точностью до значений этих свойств у СПФ из различных партий.

Экземпляры класса «Сотрудник» могут выступать в различных ролях по отношению к другим классам. Определение ролей соответствует выделенным актерам, которые взаимодействуют с системой. Так, каждый актер использует некоторый функционал АИС путем обмена информацией с другими сущностями, например, Плановик утверждает «План-график», при этом может просматривать текущий план и вносить в него различного рода изменения. Дополнительно к рассмотренным выше ролям Плановика, Кладовщика и Диспетчера следует выделять также персонал, участвующий в реализации ТО. Отношение между соответствующими классами со стороны класса «Сотрудник» отмечено ролью «Исполнитель».

Согласно проведенному анализу предметной области, а также на основе построенной диаграммы классов была разработана логическая схема базы данных для проектируемой АИС (см. рисунок 8).

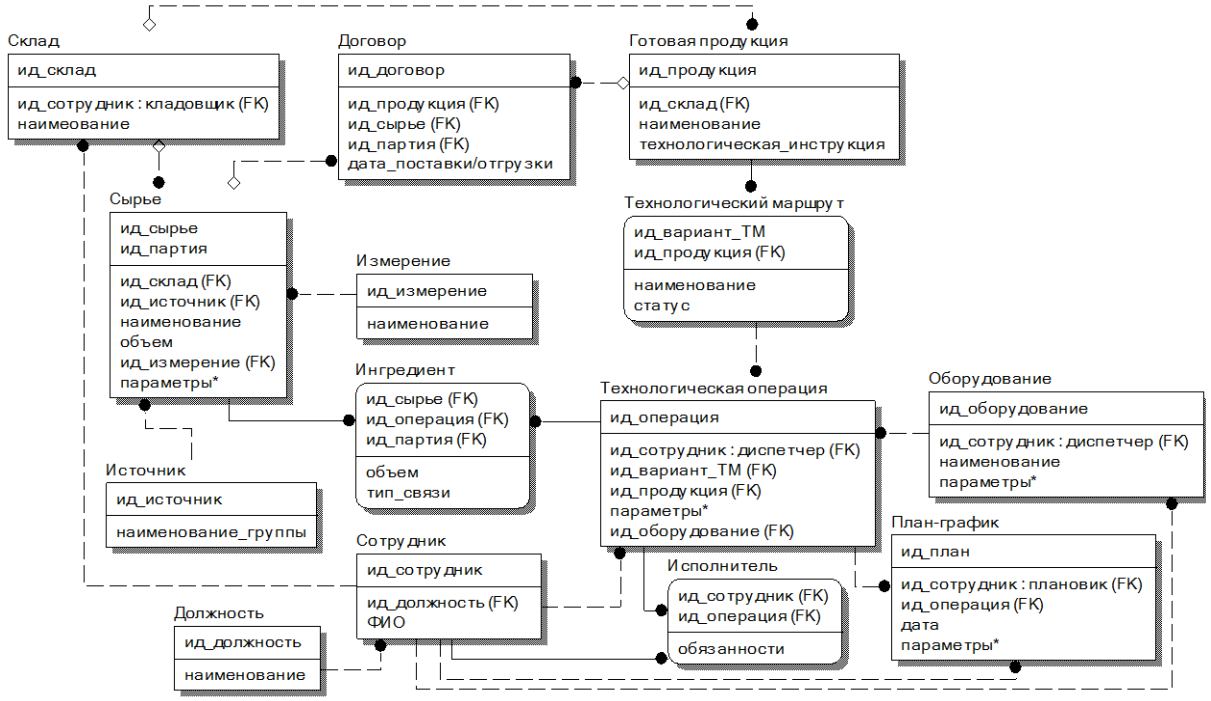


Рисунок 8 - Логическая схема базы данных АИС

На данной схеме определены двенадцать стержневых и две ассоциативные сущности («Ингредиент» и «Исполнитель»). Выделенные сущности по отношению к синонимичным классам на диаграмме классов дополнены рядом атрибутов, более подробно раскрывающим существенные для функционирования АИС свойства тех или иных объектов предметной области.

Установленные неидентифицирующие связи типа «один-ко-многим» без возможности ввода null-значений, например, между сущностями «Технологический маршрут» и «Технологическая операция», позволяют указать для каждого ТМ одну или более ТО, при этом каждая ТО соответствует только одному, включающему ее ТМ.

Неидентифицирующие связи типа «один-ко-многим» с возможностью ввода null-значений определены для случаев, когда в текущий момент времени может отсутствовать информация о значении внешнего ключа отношения. Например, сырье может быть отправлено в цех напрямую, минуя склад. Для сущности договор такие связи показывают объект закупки (продажи). Очевидно, что один договор не может единовременно включать объекты двух типов (и СПФ, и готовую продукцию). При проектировании базы данных для предотвращения конфликта такого рода следует написать триггер на модификацию внешних ключей ид_сырье и ид_партия.

Идентифицирующие отношения типа «один-ко-многим» установлены при введении ассоциативных сущностей. В результате в данных сущностях каждая строка характеризуется уникальным сочетанием двух внешних ключей (составной первичный ключ). Для сущности «Ингредиент» это означает, что для каждой ТО можно указать один и более СПФ, а также указать дополнительные свойства, например, единовременно загружаемый на обработку объем сырья. При этом каждый вид СПФ может использоваться в одной или более ТО.

Аналогичная связь между сущностями «Готовая продукция» и «Технологический маршрут» создана для удобства идентификации наименования продукции в ходе выполнения запросов, включающих отдельные ТО.

Данная логическая схема не раскрывает содержание атрибутов «Параметры*», однако их назначение аналогично приведенным комментариям к диаграмме классов. Детализация комплекса соответствующих свойств сущностей требует глубокого анализа характеристик продуктов пищевого производства и используемого в его ходе сырья. Выполнение такого анализа необходимо для дальнейшей разработки АИС и позволит дополнить описанную схему в дальнейшем.

Таким образом, модели, построенные в результате проведенного анализа процесса формирования плана-графика, могут быть положены в основу разработки АИС. В качестве первоочередных задач дальнейшего проектирования следует указать необходимость уточнения параметров, характеризующих объекты предметной области, разработку и реализацию алгоритмов процедур и функций АИС, а также подготовку исходных данных для тестирования и отладки системы.

Литература

1. Савва Т.Ю. Разработка математической модели загрузки оборудования на предприятии по переработке скоропортящегося сырья. Научно-технический журнал «Информационные системы и технологии» №6 (74). – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2012. – С.47-56.

2. Савина О.А. Организация информационно-аналитического обеспечения управленческой деятельности. «Экономические и гуманитарные науки» № 6 (212) – Орел: ОрелГТУ, 2009 – С. 83-92.

3. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Дж. Рамбо, А. Джекобсон. – Пер. с англ.: Слинкин А.А. – 2-е изд., стер. – М. ДМК Пресс; СПб: Питер, 2004. – 432 с., ил.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Сазонов В.В., Щербаков М.А.
Пенза, ПГУ

Представлены информационные возможности нового метода восстановления слабоконтрастных изображений на основе сингулярного разложения матрицы исходных данных. Приведены экспериментальные результаты работоспособности метода на реальных примерах.

Low-contrast image restoration. Sazonov V., Shcherbakov M.

Presented information capabilities of the new method restoration of low-contrast images based on singular value decomposition of the matrix of input data. The experimental results of performance of the method on real examples.

Введение

Одной из актуальных проблем обработки цифровых изображений является проблема анализа и коррекции слабоконтрастных изображений. Область практических приложений составляет здесь целый спектр задач, начиная от улучшения качества медицинских исследований, задач неразрушающего контроля, продолжая повышением достоверности результатов дистанционного зондирования и т.д. Основная задача заключена в том, чтобы сделать визуально неразличимые участки или детали объекта видимыми.

Изображения, полученные в неблагоприятных условиях освещенности, часто не используют весь диапазон возможных градаций яркости, что и предопределяет их низкую информативность. В этих случаях контрастность изображения, яркости элементов которого расположены в узком промежутке возможных значений, низкая. В результате соседние на изображении фрагменты имеют слишком близкую яркость, что и обуславливает их плохую различимость. К тому же цифровые изображения получаются сильно зашумленными, вследствие этого актуальной задачей является улучшение качества изображений путем повышения контраста с одновременным подавлением шумов. Естественно, что эти цели часто вступают в противоречие друг с другом: повышение контраста одновременно усиливает и шумы, а фильтрация помех наряду с шумами подавляет и полезную информацию. Более того, при сглаживании возникают ложные границы, сопоставимые по яркости с границами слабоконтрастных объектов.

Традиционные методы цифровой обработки изображений, использующие жестко детерминированные алгоритмы восстановления (методы линейного преобразования и нормализации гистограммы, выделения контура и т.п.) при отсутствии предварительной информации о пространственном и частотном составе сигнала не способны на качественное решение данной проблемы.

Метод восстановления слабоконтрастных изображений

Предлагаемый подход к восстановлению информативности слабоконтрастных изображений представляет собой комбинацию двух взаимосвязанных задач: улучшения контрастности изображения с одновременным подавлением имеющихся помех. Как уже было отмечено [1], слабую контрастность снимков, полученных в «нормальных» условиях, можно отнести, например, и к субъективной проблеме различения соседних уровней при определении границ между фрагментами растрового изображения. Причем, эта субъективность, проявляется, прежде всего, в классификации причин слабой контрастности (недостаточная освещенность и т.д.)

Любые действия по «улучшению» изображений в общем случае описываются моделью вида $\mathbf{X} = \Psi(\mathbf{A})$, где $\mathbf{A}$ - исходное изображение, $\mathbf{X}$ – скорректированное изображение, Ψ – некоторый целевой функционал преобразований.

Предлагаемый метод восстановления слабоконтрастных изображений является развитием методов обработки цифровых сигналов и изображений, основанных на

анализе матрицы исходных данных в базисе сингулярных чисел и сингулярных векторов (***S**ingular **V**alue **D**ecomposition*) [2].

Пусть матрица $\mathbf{A} \in \mathbf{R}^{\mathbf{m}\times\mathbf{n}}$, состоящая из вещественных чисел, имеет *m* столбцов и *n* строк, причем *m* > *n,* представлена в виде SVD-разложения

$$\mathbf{A} = \sigma_1 \cdot \mathbf{A_1} + \sigma_2 \cdot \mathbf{A_2} + \mathbf{...} + \sigma_n \cdot \mathbf{A_n} = \sum_{i=1}^{n} \sigma_i \cdot \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{v}_i^{\mathbf{T}}, \qquad (1)$$

где $\mathbf{u_i}$ и $\mathbf{v_i}$ - левый и правый сингулярные вектора, $\sigma_i \geq 0$ - сингулярные числа матрицы **A**.

При этом сингулярное разложение переводя матрицу **A** из исходного пространства единичных векторов $<\mathbf{e}_i, \mathbf{e}_i>$ в ортогональное пространство сингулярных векторов $<\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i>$, одновременно осуществляет и ее линейную декомпозицию на ряд составляющих, причем сингулярное число σ_i определяет «вес» отдельной компоненты.

В терминах матричного анализа SVD-разложение предполагает возможность аппроксимации матрицы исходных данных матрицей более низкого ранга, что позволяет реализовать устойчивые процедуры функциональных преобразований исходных данных.

Из теории матричного анализа более известно [3] другое представление сингулярного разложения (1) в виде

$$\mathbf{A} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{\Lambda} \cdot \mathbf{V}^{\mathbf{T}}, \qquad (2)$$

где **U** и **V** есть матричное представление левых и правых сингулярных векторов в (1), а **Λ** – диагональная матрица с элементами σ_i.

Учитывая, что для матриц неполного ранга **A** сингулярные значения σ_i принимают только положительные, не равные нулю значения, то известное равенство [4]

$$\mathbf{\Psi(A)=\Psi(\Lambda)} \qquad (3)$$

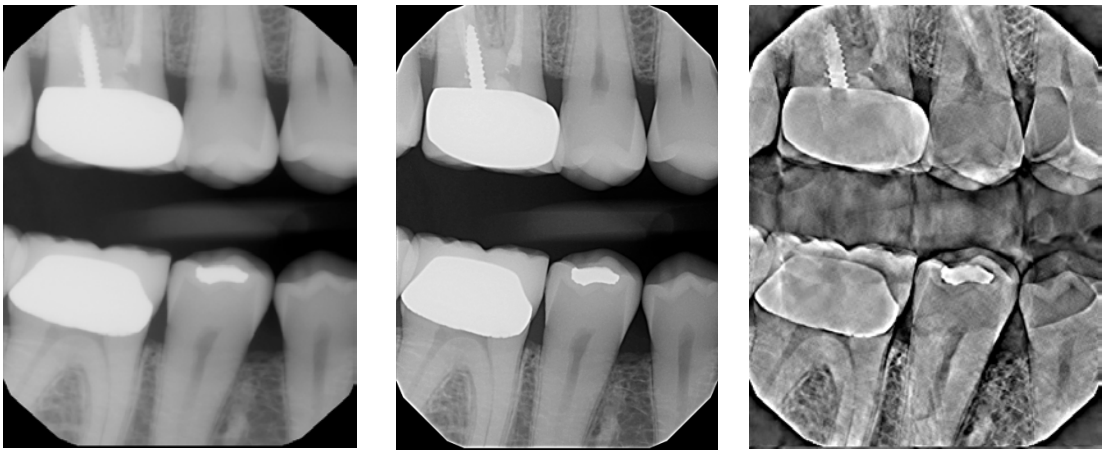
позволяет предложить набор целенаправленных процедур анализа элементов диагональной матрицы **Λ** сингулярных значений.

Если воспользоваться терминологией гармонического разложения в ряд Фурье, можно заметить, что SVD-факторизация (1) исходных данных является ее аналогом, только в координатах собственных «сингулярных гармоник» с коэффициентом, равным вектору сингулярных чисел. Причем, для сингулярных чисел выполняется условие $\sigma_{i-1} \geq \sigma_i$, а частоты собственных векторов возрастают с увеличением индекса разложения.

Поскольку проблема повышения информативности слабоконтрастных изображений относится к одной из задач высокочастотной (ВЧ) фильтрации, то, учитывая равенство (3), улучшение изображений возможно средствами нелинейного преобразования сингулярных чисел $\mathbf{\Lambda^*= \Psi(\Lambda)}$ с последующим восстановлением (2) матрицы $\mathbf{A^*}$.

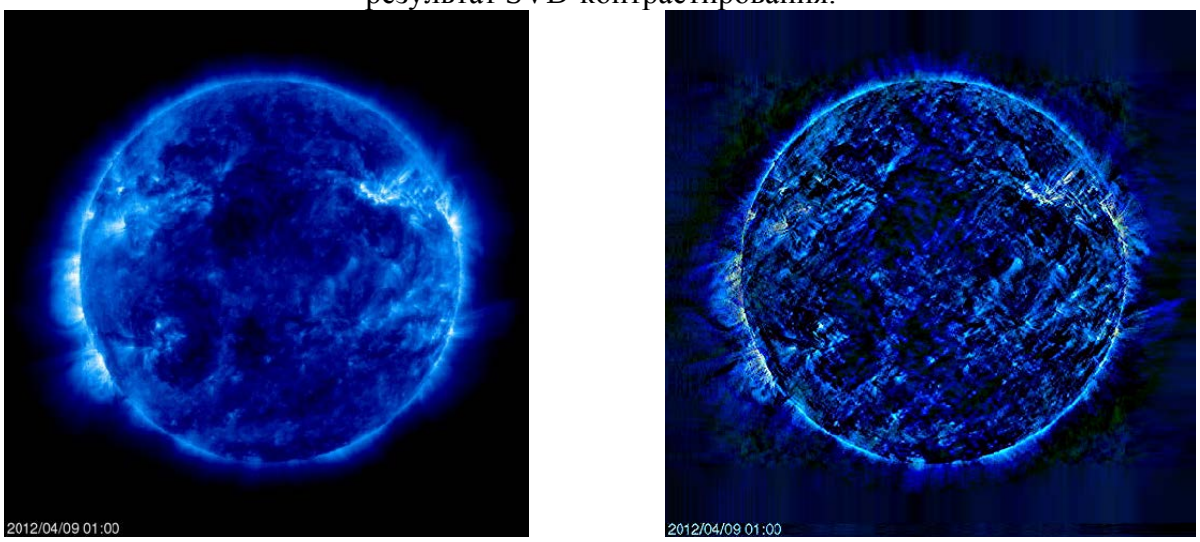
Результаты экспериментов

На рисунках приведены результаты восстановления слабоконтрастных изображений на основе сингулярного разложения матрицы исходных данных, использующего логарифмическое преобразование сингулярных чисел совместно с процедурой фильтрации аддитивных помех [5] . Исходные снимки относятся к различным областям, начиная от стоматологии, где возможны повторные исследования, заканчивая уникальными фотографиями [6], полученными с помощью марсохода NASA Curiosity. Даже монохромные варианты этих снимков демонстрируют информационные возможности предложенного метода получения дополнительных сведений о структуре, как локальных областей изображения, так и всей картинки целиком.



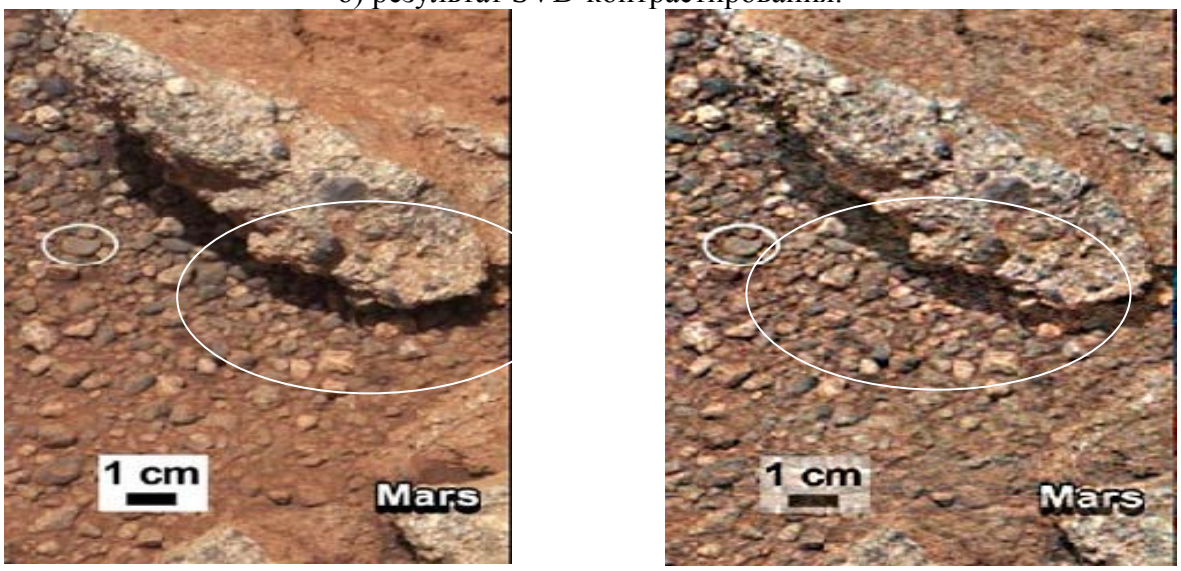
а) б) в)

Рис.1. Контрастирование стоматологического снимка: а) исходное изображение; б) улучшение четкости с помощью цифрового визиографа Gendex GXS-700 [7]; в) результат SVD-контрастирования.



а) б)

Рис.2. Контрастирование астрономического снимка: а) исходное изображение солнца; б) результат SVD-контрастирования.



а) б)

Рис.3. Контрастирование изображения поверхности Марса (марсоход NASA Curiosity [6]): а) исходный снимок; б) результат SVD-контрастирования.

Литература

1. Gonzales R.C., Woods R.E. Digital image processing. - Boston, MA Addison-Wesley, 2001. - 823 p.
2. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1980. – 279 с.
3. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления: Пер. с англ.-М.:Мир, 1999.- 548 с.
4. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1966. – 576 с.
5. Сазонов В.В. Восстановление телеизмерительной информации на фоне аддитивных помех. Надежность и качество-2012: Труды междун.симпозиума.- Пенза, изд-во ПГУ, 2012.Т.2. С.381-383
6. http://mars.jpl.nasa.gov/msl/multimedia/images/
7. http://stomamart.ru/product/1038

МЕТОД ЭКСПРЕСС-ФИЛЬТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ В ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Сазонов В.В., Щербаков М.А.
Пенза, ПГУ

Представлен метод экспресс-фильтрации импульсных шумов в сигналах и изображениях на основе сингулярного разложения матрицы исходных данных. Приведены экспериментальные результаты работоспособности метода на реальных примерах.

Method of rapid filtration impulse noise in digital images. Sazonov V., Shcherbakov M.

Presented method of rapid filtering impulse noise in signal and image based on singular value decomposition of the matrix of input data. The experimental results of working capacity of the method on real examples.

Введение

Задача фильтрации сигналов и изображений от шумов и помех постоянно привлекает внимание исследователей, что обусловлено, прежде всего, практической важностью ее решения применительно к различным отраслям науки и техники.

Классические методы решения подобных задач основаны, как правило, на имеющейся априорной информации о характере и особенностях частотно-временных характеристик, как шумовой компоненты, так и анализируемого сигнала, что во многих ситуациях практически нереализуемо. Вследствие этого задача эффективной фильтрации шумов в условиях априорной неопределенности остается весьма актуальной и практически востребованной, учитывая, что существующие методы ее решения базируются, как правило, на переборе известных алгоритмов оптимальной фильтрации в предположении о «стационарности» анализируемых данных. Одним из основных видов шумов в цифровых изображениях считается импульсный шум [1].

Считается, что для сигналов и изображений, искаженных действием импульсных помех, отсутствует строгая в математическом смысле постановка и

решение задачи фильтрации. Известны лишь эвристические алгоритмы, наиболее приемлемым из которых является алгоритм медианной фильтрации. При всей практической очевидности и простотой реализации существующие подходы к пространственной фильтрации импульсных помех обладают существенными недостатками, в значительной степени снижающих качество их использования.

Метод экспресс-фильтрации

Принято считать [1], что классический метод медианной фильтрации (при всех его качественных недостатках) позволяет реализовать, пожалуй, самый быстрый алгоритм фильтрации импульсных шумов.

В статье представлены возможности экспресс-метода фильтрации импульсных шумов и помех в цифровых изображениях, не требующего предварительных сведений о спектральных характеристиках полезных сигналов и шумов. Единственным априорным ограничением в рамках данного метода является предположение о конечности (финитности) интервала взаимной корреляции полезного сигнала и шумовой компоненты, определяемого исходя из характера физических особенностей рассматриваемой задачи. Данное положение имеет вполне определенную практическую предпосылку и является естественным теоретическим ограничением.

Предлагаемый метод экспресс-фильтрации импульсных шумов является развитием методов обработки цифровых сигналов и изображений, основанных на сингулярном анализе [2] матрицы исходных данных (***S**ingular **V**alue **D**ecomposition*).

Теоретическое обоснование и практические возможности использования данного подхода для фильтрации некоррелированных импульсных помех в сигналах и изображениях были изложены авторами в статье [3]. Поскольку основной задачей указанной работы являлась, прежде всего, оценка качества фильтрации, то вне ее рамок остались вопросы, связанные с оптимизацией программно-временных затрат на ее алгоритмическую реализацию.

Экспресс-метод фильтрации основан на использовании минимально-возможной информации, необходимой для анализа исследуемого процесса с точки зрения структурной декомпозиции «сигнал/шум». Дальнейшая обработка реализована посредством SVD-разложения [4] матрицы исходных данных минимального эффективного ранга.

Для статистического анализа массива $\tilde{\tilde{\mathbf{X}}}$, построенного на основе исходных данных, искаженных некоррелированной импульсной помехой, используется ее SVD-разложение вида

$$\tilde{\tilde{\mathbf{X}}} = \sum_{\mathbf{i=1}}^{2} \sigma_{\mathbf{i}} \mathbf{u}_{\mathbf{i}} \mathbf{v}_{\mathbf{i}}^{\mathbf{T}}, \qquad (1)$$

где $\mathbf{u}_{\mathbf{i}}$ и $\mathbf{v}_{\mathbf{i}}$ - левый и правый сингулярные вектора; $\sigma_i \geq 0$ - сингулярные числа матрицы $\tilde{\tilde{\mathbf{X}}}$. Выражение (1) в данном случае можно представить в виде

$$\tilde{\tilde{\mathbf{X}}} = \sigma_1 \tilde{\tilde{\mathbf{X}}}_{\mathbf{1}} + \sigma_2 \cdot \tilde{\tilde{\mathbf{X}}}_{\mathbf{2}} \qquad (2)$$

где $\tilde{\tilde{\mathbf{X}}}_i = \mathbf{u}_i \cdot \mathbf{v}_i^{\mathbf{T}}$.

Сингулярное разложение (1) переводит матрицу $\tilde{\tilde{\mathbf{X}}}$ из исходного пространства единичных векторов $\langle \mathbf{e}_i, \mathbf{e}_i \rangle$ в ортогональное пространство сингулярных векторов $\langle \mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i \rangle$ и осуществляет ее линейную декомпозицию (2), а сингулярное число определяет «вес» отдельной компоненты. Причем SVD-разложение матрицы исходных данных позволяет осуществить ортогональное разделение наблюдаемого сигнала на полезную составляющую и помеху, выделяемую с весом, численно равным амплитуде

импульсной компоненты. Удаление шумовой компоненты осуществляется ее прямым вычитанием из исходных данных.

Результаты экспериментов

На рисунке и таблице приведены результаты сравнительного анализа результатов работы предложенного экспресс-SVD-фильтра и медианного фильтра при удалении импульсного шума типа «соль и перец» (*Salt & Pepper Noise* – SPN) разной интенсивности.



Рис.1. Результаты подавления импульсных помех с интенсивностью 5 %.
a) исходное изображение, b) зашумленное изображение, c) предложенный метод, d) медианный фильтр (маска 3x3)

Табл. Сравнительный анализ качественных показателей и временных затрат*

Отношение сигнал/шум **			***Время, миллисек*** ***	
Исходное	**Median**	**SVD_express**	**Median**	**SVD_express**
0,0100	0,0020	0,0004	41,3	20,9

0,0200	0,0021	0,0005	37,2	22,0
0,0300	0,0022	0,0010	36,9	21,8
0,0400	0,0024	0,0014	39,5	22,4
0,0500	0,0026	0,0019	44,0	22,7
0,0600	0,0027	0,0027	44,6	21,9
0,0700	0,0028	0,0029	41,3	21,5
0,0800	0,0028	0,0035	39,4	22,4
0,0900	0,0035	0,0045	40,2	22,2
0,1000	0,0037	0,0056	38,3	22,7

Примечание: * - изображение «Lena» (256x256 – gray)
** - нормированный среднеквадратичный критерий [5]
***- результаты получены в среде MatLab на IBM PC-3 ГГц

Выводы

1. Алгоритм на основе предложенного экспресс-метода фильтрации импульсных шумов в сигналах и изображениях отличается от известных повышенным быстродействием (почти двукратное преимущество относительно медианной фильтрации).

2. При интенсивности импульсного шума менее 5% (выделено фоном на табл.) предложенный метод (до 5 раз) эффективнее медианного фильтра.

3. Указанные преимущества указывают на перспективность использования метода экспресс-SVD-фильтрации в качестве основы для разработки его программно-аппаратных «*on-line*»-реализаций визуального сопровождения мультимедийных приложений и средств мобильной коммуникации.

Литература

1. Gonzales R.C., Woods R.E. Digital image processing. - Boston, MA Addison-Wesley, 2001. - 823 p.

2. Форсайт Дж., Молер К. Численное решение систем линейных ал-гебраических уравнений: Пер. с англ. - М.: Мир, 1969.

3. Сазонов В.В., Щербаков М.А. Сингулярная фильтрация импульсных помех в сигналах и изображениях. Инновационные информационные технологии: Материалы междун. науч.-практ.конф. – М.:МИЭМ, 2012. С.307-309

4. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления: Пер. с англ.-М.:Мир, 1999.-548 с.

5. Методы компьютерной обработки изображений/ Под ред. В.А.Сойфера.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.-784 с.

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ ВЫСОКОМОМЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Калужский Д, Л., Пастухов В.В., Сапсалев А.В.
Новосибирск, НГТУ

Проведен сравнительный анализ различных модификаций синхронных двигателей с постоянными магнитами на роторе для импульсных высокомоментных электроприводов по массогабаритным соотношениям и уровню электрических потерь. Предложено использовать для данного типа приводов вентильный режим работы синхронного двигателя.

Synchronous motors for pulse high-torque electric drives. Kalouzski D., Pastuchov V., Sapsalev A.

Different models of synchronous motors with permanent magnets on the rotors of pulse high high-torque electric drives have been compared with respect to dimensions ratios and electric losses level. Valve operating mode of synchronous motor has been suggested for these drives.

В настоящее время наблюдается широкое внедрение высокотехнологичной электротехнической продукции, которая не только решает вопросы снижения энергопотребления, но и позволяет создавать электротехнические комплексы с малыми внутренними потерями и целым рядом новых качеств. При построении импульсных высокомоментных приводов с жесткими ограничениями по габаритам, массе и уровню электрических потерь, приоритетным шагом в проектировании всегда является выбор исполнительного двигателя. На сегодняшний день известно, что в диапазоне частот вращения входного вала редуктора от 2000 до 6000 об/мин, наибольший удельный момент и самые высокие энергетические показатели можно получить, используя синхронные двигатели с постоянными магнитами на роторе [1]. Целью данной статьи является сравнительный анализ их различных модификаций и выбор базового, наиболее перспективного варианта для электропривода с высоким качеством управления движением.

Пусть наружный диаметр, активная длина L_a, высота ярма, диаметр расточки D_a, число пар полюсов и электрические потери в обмотках у всех синхронных машин одинаковые. Если поле возбуждение $B(\alpha,\theta)$ и магнитодвижущую силу (МДС) якоря распределенной обмотки $F_a(\alpha,t)$ можно адекватно описать только основной гармоникой, а зубчатость статора и ротора учесть коэффициентом Картера k_δ, то пренебрегая скосом пазов, и полагая, радиус ротора много больше воздушного зазора δ, можно представить энергию магнитного поля в следующем виде:

$$W_{эм} = \frac{1}{2} \times \int_{R_1}^{R_1+\delta k_\delta} \int_0^{L_a} \int_0^{2\pi} B(\alpha,\theta) \times H(\alpha,t) \rho d\rho dy d\alpha , \qquad (1)$$

где $H(\alpha,t)$- зависимость напряженности магнитного поля от времени и угла вдоль поверхности статора α.

Выполнив необходимые операции и продифференцировав данное выражение по углу поворота ротора θ, найдем электромагнитный момент:

$$M_{эм1} = 0,25 p \pi D_a L_a B_m F_{m1} \times \sin(p\theta_0) . \qquad (2)$$

Здесь θ_0 – угол нагрузки.

Теперь учтем электрические потери, которые создает синхронная машина с постоянными магнитами и распределенной обмоткой на статоре:

$$P_{эл1} = mI^2 r = \rho m I_m^2 w_1 L_в / (2S_{пр}), \quad (3)$$

где; w_1 - число витков в фазе, $L_в$ - длина витка, $S_{пр}$ - сечение проводника. Преобразуя данное выражение с использованием новых параметров: плотности тока - j_{m1}, диаметра, проведенного до дна паза - D, коэффициента уменьшения лобовой части длины витка - β_{y1}, в окончательном виде получим:

$$P_{эл1} = \frac{\pi\rho}{16} \times (2L_a + \frac{\pi^2 D_a \beta_{y1}}{2p}) j_{m1}^2 k_{з1} (D^2 - D_a^2) k_1. \quad (4)$$

Здесь k_1 - коэффициент, устанавливающий связь между площадью одного паза и суммой площадей пазов в пределах фазной зоны.

Теперь рассмотрим параметры синхронной машины с постоянными магнитами на роторе и обмоткой, выполненной с зубцовым шагом [2], уложенной в z_{11} пазов статора, при условии, что число фазных зон равно *ν*. МДС машины в первом приближении можно представить как:

$$F_a(\alpha, t) = 0.5F_{m2} \cos[\omega_1 t - \frac{z_{11} + \nu}{2}\alpha] + 0.5F_{m2} \cos[\omega_1 t + \frac{z_{11} - \nu}{2}\alpha]. \quad (5)$$

Любая из этих гармоник может взаимодействовать с полем возбуждения, т.е. $p = (z_{11} \pm \nu)/2$. Выполнив операции интегрирования по аналогии с (1), получим:

$$M_{эм2} = \frac{(z_{11} \pm \nu)\pi D_a L_a B_m F_{m2}}{16} \times \sin(p\theta_0), \quad (6)$$

$$P_{эл2} = \frac{\pi\rho}{16} \times (2L_a + \frac{\pi^2 D_a \beta_{y2}}{z_{11} \pm \nu}) j_{m2}^2 k_{з2} (D^2 - D_a^2) k_2. \quad (7)$$

Сравним (4) и (7). С большой долей достоверности можно принять, что коэффициенты k_1 и k_2 в обеих машинах одинаковые. Знаменатель в скобке выражения (7) представляет собой число полюсов. Коэффициент укорочения длины лобовой части витка в дискретно – распределенной обмотке меньше, нежели в распределенной обмотке. Это связано с тем, что в двигателях военной и аэрокосмической техники, для уменьшения массы и электрических и потерь, катушки ДРО наматываются непосредственно на зубец, тогда как катушки распределенной обмотки наматываются на шаблон и укладываются в пазы вручную. Соответственно, при расчетах обычно принимают $\beta_{y1} = 0.8 - 0.85$, а $\beta_{y2} = 0.65 - 0.7$. Однако в первом приближении, можно принять, что данные коэффициенты равны между собой и, следовательно, при одинаковых электрических потерях и **плотности тока в каждом рассматриваемом случае будут одинаковыми.**

Сразу сделаем оговорку. В машине с распределенной обмоткой площадь паза равна $S_{n1} = \pi(D^2 - D_a^2)k_1 / (8mpq)$, а в машине, обмотка которой выполнена с зубцовым шагом - $S_{n2} = \pi(D^2 - D_a^2) / 4(2p \pm \nu)$, т.е. примерно в три раза больше при условии, что двигатели имеют трехфазное исполнение. С учетом особенностей

технологии обмоточных работ, коэффициент заполнения паза медью $k_{з2}$ можно принять равным 0.35- 0.40, в то время как значение $k_{з1}$ редко превышает 0.2 – 0.25. Таким образом, при одинаковых электрических потерях, плотность тока в машине с зубцовым шагом может быть снижена на 30%, а произведение плотности тока на $k_{з2}$ у нее примерно на 30% больше.

Теперь сравним величины моментов. Максимальное значение МДС распределенной обмотки с q = 1 примерно равно МДС одного паза, максимальное значение F_{m2} можно представить в виде

$$F_{m2} = 0.5 S_{n2} k_{з2} j_{m2}. \qquad (8)$$

Тогда, с учетом (2), (6) отношение моментов будет равно:

$$\frac{M_{эм2}}{M_{эм1}} = \frac{\pi}{4} \times \frac{2p}{2p \pm \nu} \times \frac{j_{m2} k_{з2}}{j_{m1} k_{з1}}. \qquad (9)$$

На первый взгляд можно предположить, что при достаточно большом числе пар полюсов, электрические машины с дискретно-распределенными обмотками (ДРО) проигрывают в моменте традиционным двигателям с распределенными обмотками. Действительно, если $j_{m2} k_{з2} \approx j_{m1} k_{з2}$, то получается, что $M_{эм2} / M_{эм1} \approx \pi / 4 = 0.785.$ Ниже, в Таблице 1 представлено отношение моментов двух двигателей с распределенными и дискретно – распределенными обмотками, рассчитанное при условии, что произведение плотности тока на коэффициент заполнения паза медью в обоих случаях одинаковое.

Анализируя полученные данные нетрудно установить: даже без учета возможного повышения МДС, обмотка с зубцовым шагом позволяет в ряде случаев добиться увеличения момента. Если же каждое число в таблице дополнительно умножить на 1.25 – 1.30 (см. выше), то преимущество предложенного подхода при проектировании высокомоментных двигателей выглядит еще более весомым.

Таблица 1

$p \setminus \nu$	1	2	3	-1	-2	-3
3	0.673	-	-	0.942	1,178	-
4	0.697	-	-	0.897	1.047	-
5	0.714	0.654	-	0.872	0.981	1.121
6	0.724	0.673	-	0.858	0.942	1.047
7	0.733	0.687	0.647	0.846	0.916	0.999

Оптимизационные расчеты двигателя, с четырьмя парами полюсов и с максимальным моментом 1 Нм, при наличии ограничений по габаритам и массе ($D_{наруж} = 38$ мм, $L_{наруж} = 75$ мм, включая датчик положения ротора, $G < 0.5$ кг) в целом подтвердили правильность данного вывода, но и обозначили ряд трудноразрешимых проблем:

1. Временная зависимость потока взаимной индукции при синхронной частоте вращения содержит, наряду с основной целый ряд высших нечетных гармоник, устранить которые, учитывая малые габариты двигателя ограниченные технические ресурсы, практически невозможно;
2. Зубцовые моменты при обесточенной обмотке якоря достигают (в зависимости от асимметрии воздушного зазора) величины $0.2 M_{\max}$;

3. При изменении числа зубцов на статоре от шести до девяти коэффициент заполнения паза медью не превышал 0.23, что привело к существенному повышению предполагаемой планки электрических потерь.

При анализе расчетных вариантов было замечено, что магнитная индукция B_m, как правило, принимает значения от 0.5 до 0.7 Тл, что соответствует, с учетом коэффициента Картера k_δ, величине эквивалентного воздушного зазора 0.9 – 1.2 мм. Это обстоятельство позволило сделать крайне важный вывод, а именно: если размер $D_1 - D_a$, который занимает двухслойная обмотка, находится в пределах 0.5 – 0.8 мм, то **нет необходимости выполнять зубцы на статоре!** В середине 70 – х годов идею создания таких машин выдвинул профессор В.М. Казанский [3], а в настоящее время, швейцарская фирма MAXON наладила серийный выпуск двигателей с печатными обмотками для Европейского Аэрокосмического Агентства. Но разработки В.М. Казанского не были связаны с созданием импульсных высокомоментных приводов, а двигатели фирмы MAXON имеют максимальный наружный диаметр, не превышающий 12 мм. Поэтому, для создания электрической машины с свыше озвученными параметрами требовалось выяснить:

1. Какими максимально возможными могут быть диаметры проводов обмоточного слоя?
2. Какой тип крепления постоянных магнитов является наиболее предпочтительным, с точки зрения максимума индукции и минимума высших гармоник в зависимости $\mathrm{B}(\alpha)$?
3. Как обеспечить надежное крепление обмоточного слоя с ярмом статора?

Используя (2) и (4) и учитывая, что зависимость максимальной индукции функции эквивалентного зазора для выбранного типа двигателя, может быть представлена эмпирической формулой - $\mathrm{B_m}(\delta^1) = \mathrm{B_0} - 0.58 \cdot \delta^1$ (здесь $\mathrm{B_0} \approx 1.35$ - остаточная индукция постоянного магнита, δ^1 - приведённый воздушный зазор) преобразуем выражение для момента и мощности к следующему виду:

$$M_{\max} = D_a L_a pq I_m \left(1.1 - 1.3\sqrt{\frac{4S_{np}}{\pi}}\right), \qquad (10)$$

$$P_{эл1} = \rho(2L_a + \frac{\pi^2 D_a \beta_{y1}}{2p}) \cdot \frac{2mpqI_m^2}{2S_{np}}. \qquad (11)$$

Функция, представляющая собой отношение максимального момента к электрическим потерям в зависимости от сечения провода, имеет безусловный экстремум. Выполнив операцию дифференцирования и приравняв результат нулю, найдем: $S_{np} \approx 0.083$ мм. Данному сечению провода соответствует диаметры $d_{np} \approx 0.315 - 0.33$ мм. (Позже выяснилось, создание обмоточного слоя, с диаметрами провода превышающими значение 0.4 мм, практически невозможно, поскольку жесткость провода не позволяет осуществить рихтовку лобовых частей).

При расчете поля возбуждения были приняты три базовых варианта крепления постоянных магнитов: одноимённо полюсная, разноимённо полюсная и система возбуждения коллекторного типа. Во всех схемах использовались постоянные магниты неодим – железо - бор, обладающими линейной характеристикой B(H).

Ниже, рассмотрены три варианта конструкции:

Одноимённо полюсная конструкция приведена на рис. 1. Такая магнитная система включает четыре постоянных магнита Nd-Fe-B, намагниченных в радиальном направлении. Сердечники ротора и статора выполнены из электротехнической стали - 2013.

В разноименно полюсной системе магниты также намагничены в радиальном направлении и имеют чередующуюся полярность по окружности зазора.

В системе возбуждения коллекторного типа постоянные магниты намагничены в тангенциальном направлении, причём, рядом расположенные магниты расположены одноимёнными полюсами друг к другу. С целью уменьшения рассеяния магниты крепятся на немагнитной втулке.

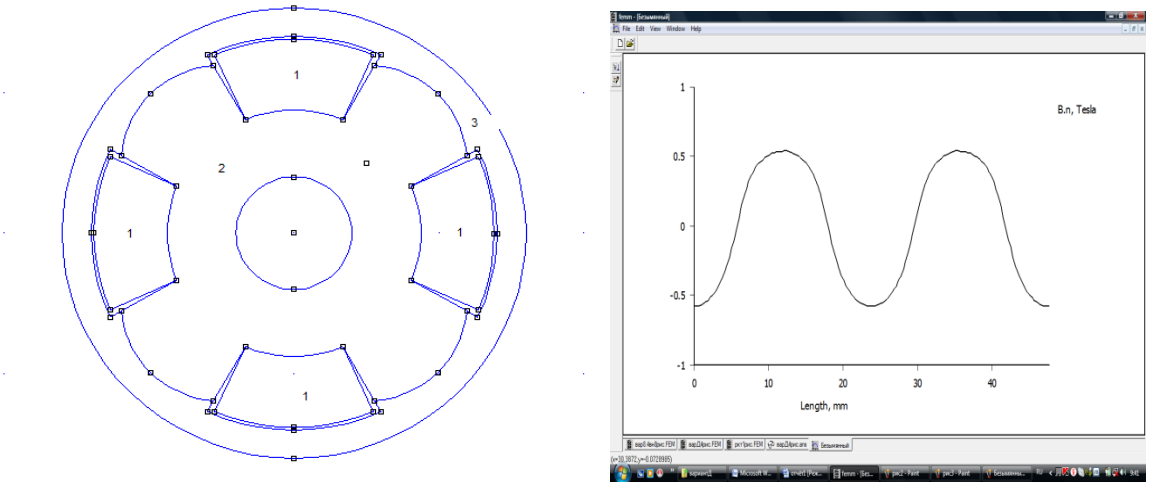


Рис.1. Одноимённо полюсная конструкция магнитной системы.
1 – постоянные магниты; 2 – сердечник ротора; 3 – воздушный зазор.

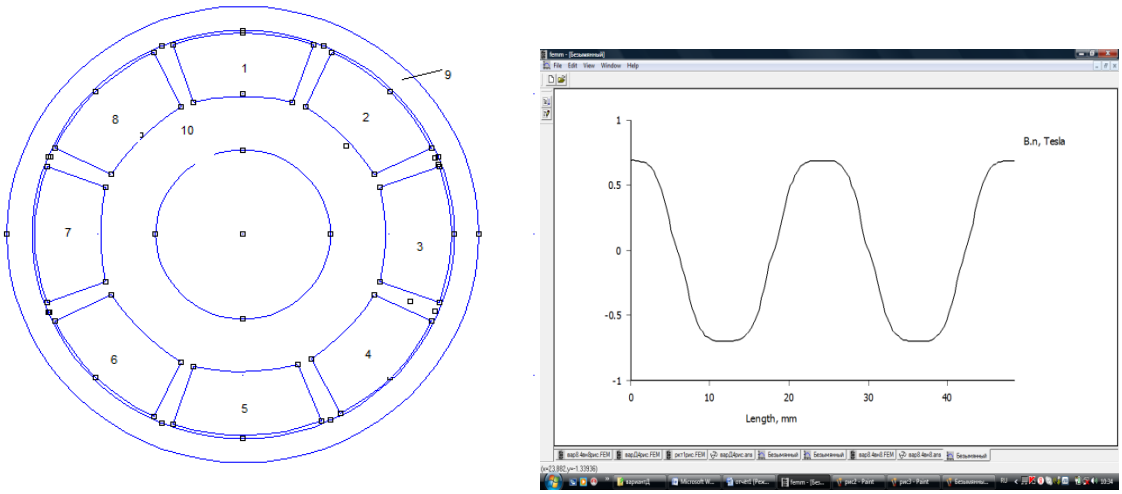


Рис.2. Разноимённо полюсная конструкция.
1-8 –постоянные магниты; 9- воздушный зазор; 10 – сердечник ротора.

Расчёт магнитного поля выполнен численным методом с помощью программы FEMM 4.0, базирующейся на методе конечных элементов. Полученные результаты

свидетельствуют, что одноимённо полюсная конструкция позволяет получить индукции в воздушном зазоре с наименьшим содержанием высших гармоник. Крайне интересным является то обстоятельство, что форму кривой можно менять, варьируя только геометрией полюсного наконечника и, при определенном значении отношения его радиуса кривизны к диаметру ротора, поле в зазоре практически синусоидальное (Рис. 1). В других конструкциях зависимость индукции от угла α всегда имеет трапецеидальную форму.

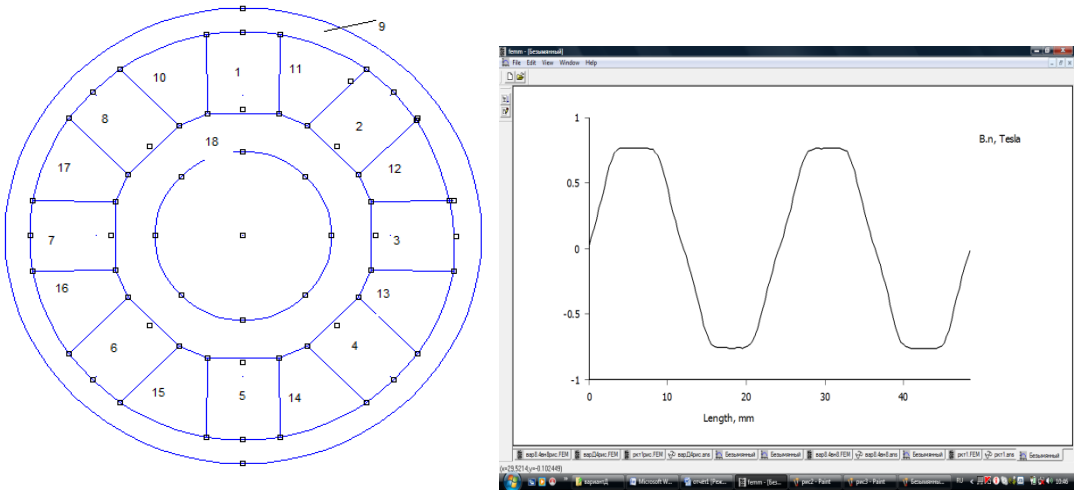


Рис.3. Магнитная система коллекторного типа.
1-8 – постоянные магниты; 9 - воздушный зазор; 10-11 – ферромагнитные полюсы; 18 – немагнитная втулка.

Отметим, несмотря на то, что в одноимённо полюсной конструкции индукция в воздушном зазоре оказалась наименьшей, по величине магнитного потока она уступает только конструкции коллекторного типа. По технологичности в лидерах также оказалась одноименно полюсная конструкция, главным образом потому, что для ее реализации требуется в два раза меньше магнитов.

По результатам расчетов был спроектирован и изготовлен двигатель с общей массой 460 Г и максимальным моментом 1,0 Нм. В сравнении с аналогом, выполненным в тех же габаритах, разработанная машина имеет в 1.6 раза меньшие электрические потери и демонстрирует полное отсутствие паразитных моментов при обесточенной обмотке якоря.

Для управления движением рабочего органа был разработан вентильный электропривод, который, на сегодняшний день, представляется наиболее перспективным. Машины в таких приводах (в англоязычной литературе BLDC или PMSM) часто называют бесконтактными (или бесколлекторными) двигателями постоянного тока (БДПТ).

Предпочтение вентильному приводу отдано в силу его явных преимуществ, которые наиболее весомо проявляются в импульсном режиме работы. Отметим:

1. Высокие показатели коэффициента полезного действия и коэффициента мощности КПД > 90% и Cosφ > 0.95;
2. Низкий перегрев электродвигателя, что особенно важно при работе в нестандартных режимах с возможными 5 – 6 кратными перегрузками;
3. Эффективная работа с различными переменными нагрузками в связи с наличием сильного потока возбуждения.

На рис. 4 представлена функциональная схема вентильного привода.

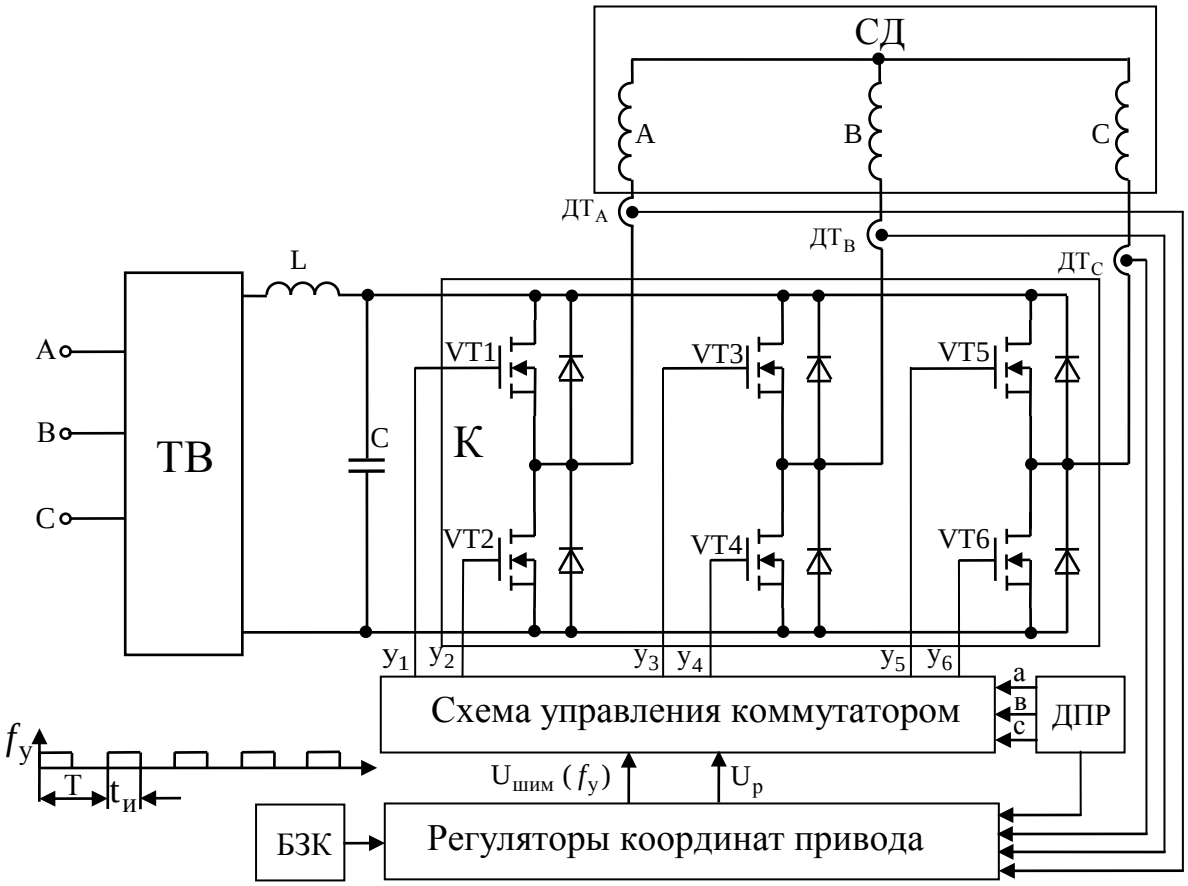


Рис. 4. Схема вентильного привода

ТВ -трехфазный выпрямитель, К- коммутатор, ДТ$_A$, ДТ$_B$, ДТ$_C$ – датчики тока, ДПР – датчик положения ротора, СД – синхронный двигатель, БЗК – блок задания координат, VT1-VT6 – ключи инвертора, L и C – фильтр в звене постоянного тока

Датчик положения ротора формирует три сигнала a,в,c в виде меандров, сдвинутых друг относительно друга на 120 электрических градусов, т.е. трехфазную последовательность сигналов. Коммутатор (К) обеспечивает подключение секций якорной обмотки к источнику постоянного тока. Он представляет собой трехфазный мостовой инвертор, силовые коммутирующие ключи которого могут быть как транзисторными, так и тиристорными. Схема управления коммутатором формирует в соответствии с выбранным законом коммутации из сигналов трехфазной последовательности a, в, c, поступающих с ДПР, сигналы управления $y_1 – y_6$ силовыми ключами коммутатора. А так же по сигналу реверса $U_р$ осуществляет инверсию сигналов трехфазной последовательности, в результате чего обеспечивается изменение направления тока в секциях обмотки якоря.

Сигналы управления $y_1 – y_6$ активного высокого уровня на входах силовых ключей коммутатора формируются в соответствии со следующими логическими уравнениями

$$y_1 = a * \bar{c},\ y_3 = \bar{a} * в,\ y_5 = в * \bar{c},\ y_2 = \bar{в} * c,\ y_4 = \bar{a} * c,\ y_6 = a * \bar{в},$$

где *а, в* и *с* – информационные сигналы трехфазной последовательности с выхода ДПР.

Таким образом, управление силовыми ключами коммутатора осуществляется в функции сигналов датчика положения якорной обмотки относительно оси полюсов

индуктора, который реализует обратную связь по положению ротора. Для этих целей наибольшее распространение приобрели датчики Холла и фотоэлектрические.

Блок задания координат (БЗК) электропривода вырабатывает сигнал на отработку требуемых величин перемещения для позиционных приводов, либо задает величину требуемого числа оборотов ротора двигателя для систем, замкнутых по скорости.

Управление потоком энергии, поступающей в двигатель, может осуществляться как со стороны звена постоянного тока, так и за счет силовых ключей инвертора. В первом случае выпрямитель ТВ должен быть регулируемым. При наличии управляемого инвертора данный вариант не представляется перспективным. Как правило, управление осуществляется за счет широтно-импульсной модуляции напряжения, реализуемой силовыми ключами инвертора. В этом случае сигналы управления можно формировать в соответствии со следующими уравнениями

$$y_1 = a * \bar{c},\ y_3 = \bar{a} * в,\ y_5 = в * \bar{c},$$

$$y_2 = \bar{в} * c * U_{шим},\ y_4 = \bar{a} * c * U_{шим},\ y_6 = a * \bar{в} * U_{шим},$$

где $U_{шим}$ – широтно-модулированный сигнал управления.

Импульсный характер питания фазных обмоток вентильных двигателей в сочетании с шаговым режимом работы обеспечивает перспективность их применения в современных цифровых электроприводах. Следует отметить, что шаговый режим предпочтителен в системах с широким диапазоном регулирования скорости при условии обеспечения малого шага дискретизации, чему в полной мере отвечают двигатели с дискретно распределенными обмотками. К дополнительным преимуществам шагового электропривода следует отнести возможность отказа от датчика скорости при построении замкнутых структур электропривода. Величина скорости и точность ее определения зависят от точности задания частоты шаговых перемещений, т.е. характеристиками задающего генератора. Перспективно применение шагового режима и для реактивных двигателей, обмотка которых выполнена с зубцовым шагом.

Сигнал управления f_y в этом случае представляет собой периодическую последовательность прямоугольных импульсов. Число импульсов управления определяет величину задаваемого перемещения, а частота импульсов определяет скорость вращения ротора.

Вывод:

1. Проведенный в работе анализ показал, что в высокомоментных импульсных приводах, в которых к качеству воспроизведения движения предъявляются повышенные требования, безусловным фаворитом среди исполнительных двигателей является машина с обмотками, вынесенными в воздушный зазор. Данное обстоятельство всегда необходимо принимать во внимание на стадии принятия предварительных решений, в частности, когда наружный диаметр двигателя меньше 60 мм.
2. В микродвигателях с большим числом пар полюсов перспективной может оказаться одноименно полюсная конструкция ротора, крайне редко используемая при проектировании электрических машин.
3. Сравнение различных способов управления показало, что на сегодняшний день вентильный электропривод остается одним из наиболее востребованных. Главные его преимущества – простота реализации и высокое качество воспроизведения движения.

Литература

1. Калужский Д.Л. Сравнительный анализ высокомоментных двигателей. Сборник научных трудов / Д.Л. Калужский, А.М. Стрижков, А.Т. Галимзянов. Екатеринбург, ФГАОУ ВПО УрФу им. Б.Н.Ельцина, 2011. 329 с.
2. Веселовский О.Н. Уравнения электрического равновесия синхронных и асинхронных двигателей с дискретно - распределенными обмотками /. О.Н. Веселовский Д.Л. Калужский. Электричество, № 5, 2000, с. 31 – 36.
3. Казанский В.М., Анализ требований к механическим модулям постоянного тока / В.М. Казанский, Ю.А. Сабинина, Л.И. Малинин. Электричество, №2, 1983, с. 1 – 8.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Сергеев А. С.
Волгоград, Волгоградский государственный технический университет

Предлагается способ автоматизированного расчета параметра шероховатости R_a профиля поверхности при обработке плоских заготовок сборным многолезвийным инструментом на фрезерных станках с ЧПУ, на основе разработанной математической модели. Приводится методика вероятностной оценки работоспособного состояния сборного многолезвийного инструмента на основе оперативного сигнала естественной термопары «инструмент – заготовка».

Increase the multiblade processing the carbon steels on CNC milling machines. Sergeev A.

There is an automated roughness parameter definition method with machining by the assembled multiblade tool of flat parts on the CNC milling machines on the basis of mathematical model is proposed. The technique of probabilistic assessment of working conditions precast multiblade tool based on the operational signal thermoEMF «instrument – workpiece».

Лезвийная обработка металлов в настоящий момент является наиболее распространенным видом механической обработки. Не малую долю таких операций составляют операции фрезерования. При этом около 60% всех фрезерных работ занимает операция торцевого фрезерования, где фрезерные станки оснащаются сборным многолезвийным твердосплавным инструментом (торцевая фреза). Современное машиностроение характеризуется выпуском широкой номенклатуры деталей машин, к которым предъявляются жесткие требования по качеству поверхности, особенно в условиях автоматизированного станочного производства. Основным критерием на пути повышения показателей качества, надежности, эффективности и стабильности производства является комплексный мониторинг процесса обработки. Современные станки с ЧПУ оснащаются гибридными системами автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) в состав которых входят станочные САПР ТП. По сути это гибко переналаживаемая подсистема, связанная с технологическим оборудованием, которая включает в себя алгоритмы функционирования и оптимизации параметров обработки на базе надежного математического и программного обеспечения. При решении задач управления

качеством поверхностного слоя деталей машин при лезвийной обработке необходимо иметь надежное математическое обеспечение для расчета параметров шероховатости поверхности, заложенных на этапе конструкторского проектирования, исходя из технологических параметров обработки с целью дальнейшей оптимизации режимов обработки.

Существует аналитический и табличный способ расчета и назначения параметров шероховатости при лезвийной обработке по справочно-нормативной литературе. Табличный способ определения параметров шероховатости требует высокой степени систематизации данных и не может быть применен для разработки алгоритмов управления качеством производства.

Аналитические методы базируются на использовании математических зависимостей, отражающих связь технологических параметров обработки с параметрами шероховатости. Недостатком известных способов является то, что они имеют ограниченное применение по маркам обрабатываемых сталей и не учитывают в полной мере влияние как марочного, так и внутримарочного состава инструментального материала на параметр шероховатости R_a [1], [2], а такое влияние имеется и описано в работе [3].

При смене марки инструментального материала изменяется его теплопроводность. Влияние теплопроводности контактируемых пар на шероховатость проявляется через передачу количества выделенного при резании тепла в инструмент и стальную заготовку, т.е. через коэффициент теплоусвоения, представляющий собой отношение теплофизических характеристик инструмента и стальной заготовки. Количество тепла, усвоенного объемом срезаемого металла, определяет долю хрупкого и вязкого разрушения в механизме стружкообразования и оказывает влияние на механизм образования микронеровностей и количественное значение параметра шероховатости R_a через температурную прочность металла [1], [2].

Для оперативной оценки режущих свойств в математической зависимости расчета параметра шероховатости R_a при фрезерной обработке в работе предложено использовать оперативный сигнал термоЭДС E, учитывающий физико-механические свойства контактируемых пар «инструмент-заготовка», полученный в одинаковых условиях кратковременного пробного прохода, по всем сочетаниям контактных пар, среди группы углеродистых, конструкционных и низколегированных сталей при обработке их твердосплавным инструментом. Удельная составляющая термоЭДС, входящая в общую формулу полного значения ЭДС пары, как отмечено в работе [4], зависит от физико-механических, химических и теплофизических свойств конкретной контактной пары. Авторским коллективом в составе А. Л. Плотников, А. С. Сергеев, Н. Г. Зайцева получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [5] по расчету параметра шероховатости R_a при выполнении получистового и чистового фрезерования заготовок сборным многолезвийным твердосплавным инструментом. На базе полученного математического и программного обеспечения разработан способ определения параметра шероховатости R_a на фрезерных станках с ЧПУ.

Способ определения параметра шероховатости R_a на фрезерных станках с ЧПУ при выполнении получистовых и чистовых операций реализуется следующим образом. Предварительно осуществляют пробный проход сборным многолезвийным твердосплавным инструментом по детали (см. работу [6]) и измеряют термоЭДС каждой режущей кромки. Далее вычисляют среднеарифметическое значение термоЭДС z режущих кромок в наборе сборного многолезвийного твердосплавного инструмента, а параметр шероховатости R_a определяют с использованием вычисленного среднеарифметического значения термоЭДС E_c, рабочих параметров процесса резания

(V, S_z, t) и геометрических параметров сборного многолезвийного твердосплавного инструмента и обрабатываемой заготовки (z, B, D) по формуле:

$$R_a = C_{R_a} \cdot \left[\frac{z \cdot \arccos\left(1 - 2 \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^2\right)}{360} + 1 \right]^{K_1} \cdot \frac{E_c^{K_2} \cdot t^{K_3} \cdot S^{K_4}}{V^{K_5}}, \text{(мкм)} \quad (1)$$

где C_{Ra} – коэффициент, учитывающий вид обработки (при получистовой обработке: C_{Ra} = 2,75, при чистовой обработке: C_{Ra} = 73,5); E_c – среднеарифметическое значение термоЭДС всех z пластин, мВ; V – скорость фрезерования, м/мин; S_z – подача на зуб сборного многолезвийного твердосплавного инструмента, мм/зуб; t – глубина фрезерования, мм; z – количество режущих кромок сборного многолезвийного твердосплавного инструмента (торцевой фрезы); B – ширина фрезерования, мм; D – диаметр торцевой фрезы, мм; K_1 – коэффициент, определяющий степень влияния количества режущих кромок z сборного многолезвийного твердосплавного инструмента, приходящихся на ширину фрезерования B при заданном диаметре фрезы D на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке: K_1 = 1, при чистовой обработке: K_1 = 0,833); K_2 – коэффициент, определяющий степень влияния среднеарифметического значения термоЭДС E на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке: K_2 = 0,732, при чистовой обработке: K_2 = 0,727); K_3 – коэффициент, определяющий степень влияния глубины резания t на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке: K_3 = 0,51, при чистовой обработке: K_3 = 0,264); K_4 – коэффициент, определяющий степень влияния подачи на зуб сборного многолезвийного твердосплавного инструмента S на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке: K_4 = 0,5, при чистовой обработке: K_4 = 0,313); K_5 – коэффициент, определяющий степень влияния скорости резания V на параметр шероховатости R_a (при получистовой обработке: K_5 = 0,284, при чистовой обработке: K_5 = 0,997).

Технологические параметры получистового торцевого фрезерования (R_a = 2,5 – 10 мкм): диапазон среднеарифметического значения термоЭДС контактной пары E = 9,3 – 17,3 мВ, диапазон скоростей резания V = 159 – 306 м/мин, диапазон подачи на зуб сборного многолезвийного твердосплавного инструмента S_z = 0,02 – 0,08 мм/зуб, диапазон глубины резания t = 0,5 – 1,5 мм, диапазон количества режущих кромок сборного многолезвийного твердосплавного инструмента z = 2 – 8 шт.

Технологические параметры чистового торцевого фрезерования (R_a = 0,63 – 5 мкм): диапазон среднеарифметического значения термоЭДС контактной пары E = 9,3 – 17,3 мВ, диапазон скоростей резания V = 97 – 159 м/мин, диапазон подачи на зуб сборного многолезвийного твердосплавного инструмента S_z = 0,08 – 0,16 мм/зуб, диапазон глубины резания t = 1,5 – 2,5 мм, диапазон количества режущих кромок сборного многолезвийного твердосплавного инструмента z = 2 – 8 шт.

Указанный диапазон технологических параметров торцевого фрезерования соответствует современным справочно-нормативным данным, а расчет параметра шероховатости по предлагаемому способу в диапазоне указанных технологических параметров, обеспечивает заданный параметр шероховатости, при обработке конструкционных, углеродистых и низколегированных сталей. Средняя относительная погрешность между расчётным значением R_a по предлагаемому способу и измеренным при обработке углеродистых, конструкционных и низколегированных сталей в

диапазоне рекомендуемых технологических параметров обработки составляет 11,27 % при получистовой торцевом фрезеровании и 13,85 % при чистовом торцевом фрезеровании.

Управление качеством выпускаемой продукции возможно лишь только в том случае если инструмент находится в работоспособном состоянии. При этом необходимо своевременно оценивать предельное состояние инструмента (торцевой фрезы). Зачастую такие задачи решаются на основе применения различного рода датчиков и преобразователей при реализации алгоритмов активного контроля. Однако современной тенденцией автоматизированного производства является вероятностная оценка надежности работы оборудования, в том числе и инструментального обеспечения.

Для решения данной задачи, разработан способ повышения надежности работы многолезвийного инструмента [7], заключающийся в обеспечении безотказной работы инструмента за счет своевременного определения его предельного состояния и замены новым. В качестве диагностического параметра выбран сигнал термоЭДС естественной термопары «инструмент – заготовка». Способ контроля предельного состояния режущих кромок торцовых фрез осуществляется следующим образом. Перед началом обработки осуществляется предварительный пробный проход на фиксированных режимах обработки [6]. Предварительно задается предельное значение функции вероятности отказа торцовой фрезы $F_{пр}$, при котором фреза должна быть выведена из зоны обработки и произведена ее замена. С помощью программного обеспечения ЭВМ определяет величины термоЭДС всех z режущих кромок из набора фрезы, вычисляет среднеарифметическое значение термоЭДС $E_с$, по которому рассчитывается допустимая скорость резания $V_д$ по известному способу [6], по формуле:

$$V_д = \frac{\left(625 - 24{,}7E_с\right) \cdot D_ф^{0,2}}{T^{0,2} \cdot t^{0,1} \cdot S_z^{0,4} \cdot B^{0,2} \cdot E_с^{\ 0,24}} \text{ м/мин}, \qquad (2)$$

где T – стойкость фрезы, мин.

Для режущей пластины с максимальным значением термоЭДС E_{max} (обладающей худшими режущими свойствами) по рассчитанной скорости резания $V_д$ вычисляют интенсивность отказов λ_{max} по формуле:

$$\lambda_{max} = \left(\left(\frac{\left(625 - 24{,}7E_{max}\right) \cdot D_ф^{0,2}}{V_д \cdot t^{0,1} \cdot S_z^{0,4} \cdot B^{0,2} \cdot E_{max}^{\ 0,24}} \right)^5 \right)^{-1} \text{ мин}^{-1}, \qquad (3)$$

где E_{max} – максимальное значение термоЭДС режущей кромки из набора фрезы, мВ.

В первый контрольный момент времени $\tau_1 = \Delta\tau$ вычисляют функцию отрицания вероятности безотказной работы $\overline{P}(\tau_1)$, т.е. функцию вероятности отказа $F(\tau_1)$, фрезы по экспоненциальному закону распределения случайных величин:

$$\overline{P}(\tau_1) = Q(\tau_1) = 1 - e^{-\lambda_{max} \cdot \tau_1},$$

где $Q(\tau_1)$ – частная функция вероятности отказов в момент времени τ_1.

При этом значение функции вероятности отказа фрезы $F(\tau_1)$ в момент времени τ_1:

$$F(\tau_1) = \overline{P}(\tau_1).$$

После расчета функции вероятности отказа фрезы $F(\tau_1)$ вычисляют коэффициент работоспособности сборного инструмента $K_р$ по формуле:

$$K_{\text{р}} = \frac{F(\tau_1)}{F_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где $F(\tau_1)$ – значение функции вероятности отказа инструмента в момент времени τ_1; $F_{\text{пр}}$ – предельное значение функции вероятности фрезы.

По полученному значению коэффициента $K_{\text{р}}$ проводят проверку условия:

$$K_{\text{р}} \geq 1. \quad (5)$$

В случае если условие (5) не выполняется, то обработка продолжается на выбранных режимах резания до наступления следующего контрольного момента времени $\tau_2 = \tau_1 + \Delta\tau$. В случае если условие (5) выполняется, то производится вывод сборного инструмента из зоны обработки и его замена. Во второй контрольный момент времени $\tau_2 = \tau_1 + \Delta\tau$ вычисляют функцию отрицания вероятности безотказной работы $\overline{P}(\tau_2)$ фрезы по формуле:

$$\overline{P}(\tau_2) = Q(\tau_2) \cdot [1 - Q(\tau_1)],$$

где $Q(\tau_2)$ – частная функция вероятности отказов в момент времени τ_2, вычисляемая по формуле:

$$Q(\tau_2) = 1 - e^{-\lambda_{\max} \cdot \tau_2}.$$

Значение функции вероятности отказа фрезы $F(\tau_2)$ в момент времени τ_2:

$$F(\tau_2) = \overline{P}(\tau_2).$$

После расчета функции вероятности отказа $F(\tau_2)$ фрезы вычисляют коэффициент работоспособности сборного инструмента $K_{\text{р}}$ по формуле (4) и проводят проверку условия (5) по описанным выше правилам.

В общем случае для любого контрольного момента времени $\tau_n \leq T$ функцию отрицания вероятности безотказной работы $\overline{P}(\tau_i)$, т.е. функцию вероятности отказа $F(\tau_n)$, фрезы вычисляют по выражению:

$$\overline{P}(\tau_n) = Q(\tau_n) \cdot [1 - Q(\tau_1)] \cdot [1 - Q(\tau_2)] \cdot \ldots \cdot [1 - Q(\tau_{n-1})].$$

При этом значение функции вероятности отказа фрезы $F(\tau_n)$ в момент времени τ_n:

$$F(\tau_n) = \sum_{i=1}^{n-1} \overline{P}(\tau_i).$$

Вычисление коэффициента работоспособности $K_{\text{р}}$ сборного инструмента по формуле (4) и проверку условия (5) проводят после каждого нового расчета функции вероятности отказа $F(\tau_i)$ фрезы в момент времени τ_i.

Предлагаемый способ наиболее эффективен, когда режущие свойства отдельных твердосплавных пластин в комплекте сборного многолезвийного инструмента существенно различаются между собой. Кроме того, использование предлагаемого способа позволяет своевременно определять наступление предельного состояния сборного многолезвийного инструмента, что повышает надежность и эффективность обработки фрезерованием на автоматизированных станках с ЧПУ. На базе предложенных способов расчета параметра шероховатости R_a и определения предельного состояния сборного многолезвийного твердосплавного инструмента может быть реализована работа модуля САПР ТП по оптимизации технологических режимов процесса торцевого фрезерования. Оперативная информация о механических и теплофизических свойствах контактной пары «инструмент - заготовка» поступает в модуль станочной САПР ТП после предварительного пробного прохода (в виде сигнала термоЭДС) и используется в указанных методиках, что позволяет вводить

необходимые коррективы в работу станочной САПР ТП автоматически или вручную в диалоговом режиме до начала обработки заготовки.

Литература

1. Сергеев, А.С. Математическая модель формирования шероховатости поверхности при точении сталей на основе оперативного сигнала термоЭДС / А.С. Сергеев, Н.Г. Зайцева, А.Л. Плотников // Обработка металлов. - 2012. - № 7. - С. 20-23.

2. Сергеев, А.С. Управление качеством металлообработки деталей торцовыми фрезами на автоматизированном станочном оборудовании / А.С. Сергеев, А.Л. Плотников, Н.Г. Зайцева // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2012. - Т.8 . - № 13. - С. 54-56 .

3. Развитие науки о резании металлов: учебник / В. Ф. Бобров [и др.]; под. ред. Н. Н. Зорева. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с.

4. Епифанов Г. И. Физика твёрдого тела: учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1977. – 288 с.

5. Свид. о. гос. регистрации № 2012617650 от 24.08.2012 РФ. Расчет величины среднего арифметического отклонения профиля обработанной поверхности при получистовом и чистовом торцовом фрезеровании конструкционных углеродистых и низколегированных сталей: программа для ЭВМ / А. Л. Плотников, А. С. Сергеев, Н. Г. Зайцева; ВолгГТУ. – 2012.

6. Пат. 2203778 РФ, МПК B23B25/06. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / А.Л. Плотников, А.А. Василенко; ГОУ ВПО ВолгГТУ. – 2003.

7. Пат. 2449860 РФ, МПК B23 B25 / 06. Способ программного контроля предельного состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / Б.В.Лесной, Е.Г. Крылов, А.Л. Плотников, А.С. Сергеев; ГОУ ВПО ВолгГТУ. – 2012.

ЗЕЕМАНОВСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ГИРОСКОП В РЕЖИМЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ВСТРЕЧНЫХ ВОЛН

Савельев И.И., Синельников А.О.
Москва, ОАО НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха

Экспериментально исследовано изменение ширины статической зоны синхронизации частот встречных волн (захвата) в зеемановском лазерном гироскопе от времени работы с отключенной частотной подставкой. Показано, что зона захвата в этом случае может увеличиться в 4-7 и более раз. Скорость и величина возрастания зависят от материала отражающих покрытий зеркал. При включении частотной подставки наведенная связь постепенно уменьшается и ширина зоны захвата релаксирует до начальных значений.

Zeeman laser gyro on Lock-in mode. **Saveliev I., Sinelnikov A.**

This report is devoted to the Zeeman laser gyro is working without frequency stand. It is shown that the Lock-in zone may increase by 4-7 times or more. Speed and size of increase depend on a material of reflecting mirrors surface. The Lock-in zone is relaxing to the initial values when the frequency stand switching on.

Введение

В современных навигационных системах все чаще находят применение лазерные гироскопы (ЛГ), построенные на базе кольцевых газовых He-Ne лазеров (КЛ) с круговой поляризацией встречных волн и управлением режимом генерации с помощью магнитооптических эффектов [1].

При измерениях ширины зоны захвата частот встречных волн некоторых зеемановских КЛ было обнаружено, что при определенных условиях биения между встречными волнами появляются не сразу после включения частотной подставки, а с некоторой задержкой, после чего наблюдается процесс установления частоты биений. Величина этой задержки в зависимости от величины подставки могла достигать нескольких секунд, а характерное время релаксации разностной частоты – порядка десятков секунд.

Для ЛГ указанные релаксационные процессы наблюдаются только в том случае, если прибор перед включением подставки в течение некоторого времени работал в режиме синхронизации встречных волн. Если же включение частотной подставки происходило одновременно или предшествовало появлению генерации лазерного излучения в ЛГ, то биения между встречными волнами появлялись практически одновременно с включением генерации и длительный переходный процесс в установлении частоты биений не наблюдался.

Для кольцевых лазеров с линейной поляризацией такие явления наблюдались в работах [2,3].

В работе [2] для объяснения происходящих процессов была построена модель явления, состоящая в том, что в процессе работы КЛ в зоне захвата возникает некоторая наведенная связь между встречными волнами. Суммируясь со связью через обратное рассеяние на неоднородностях элементов резонатора, эта связь увеличивает зону захвата. При включении подставки наведенная связь постепенно уменьшается, и КЛ с задержкой выходит из захвата, а затем в течение некоторого времени устанавливается стационарное значение разностной частоты.

Как указывалось выше, описываемые явления наблюдались лишь в том случае, если КЛ предварительно работал в режиме синхронизации встречных волн, т.е. при наличии стоячей в системе координат резонатора волны. Под действием поля стоячей волны в элементах системы может возникнуть периодическая пространственная модуляция параметров (например, поглощение или преломление). Оказалось, что объектом подобных изменений в КЛ являются диэлектрические зеркала. Возникающая в таком случае на поверхности зеркала периодическая структура представляет собой своеобразную дифракционную решетку, период которой, в предположении, что она формируется под действием интенсивности поля стоячей волны,

$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin \alpha} \ ,$$

где λ – длина волны излучения,α – угол падения.

Главные максимумы при дифракции генерирующего излучения имеют направления $\pm\alpha$, т.е. совпадают с прямым и обратным направлениями. Дифракционный лепесток, распространяющейся в обратном направлении, и приводит к увеличению связи между встречными волнами.

Существующий гистерезис в появлении и исчезновении лазерного излучения при изменении мощности накачки ЛГ вблизи порога генерации, так же можно объяснить механизмом взаимодействия поля лазерного излучения с зеркалами резонатора. В работе [3] показано, что при отсутствии лазерного излучения УФ засветка диэлектрического покрытия возбуждает в нем электроны в зону проводимости. Релаксация этих электронов на «ловушки» увеличивает потери в

резонаторе для красного излучения (0,63 мкм), т.е. приводит к увеличению порогового тока. Поэтому генерация возникает при большей мощности накачки, чем исчезает. В проведенных в работе [2] экспериментах была определена зависимость величины гистерезисной зоны от дополнительной красной и УФ засветки зеркал резонатора. Эффект практически исчезал при достаточно мощной красной засветке и возрастал при дополнительном УФ облучении.

В настоящей работе экспериментально исследован эффект возникновение дополнительной наведенной обратной связи в ЛГ с зеемановской частотной подставкой.

Эксперимент

В зеемановском ЛГ достаточно просто измерять величину зоны захвата. Это связано с тем, что частотная подставка создается с помощью электрического тока в катушках невзаимного устройства, которым сравнительно легко управлять [4]. Для проведения эксперимента были выбраны два ЛГ, имеющие различные диэлектрические покрытия зеркал резонатора.

В начале эксперимента оба прибора непрерывно работали в течение двух часов в нормальном режиме до полного прогрева и установления стационарного состояния, исключающего изменение длины периметра резонатора. Для измерения зоны захвата система регулировки периметра была переведена в ручной режим и настроена на определенную продольную моду по центру доплеровского контура уширения. Далее было проведено контрольное измерение зоны захвата. После этого полностью отключалась частотная подставка и датчики некоторое время в режиме синхронизации встречных волн. Далее происходило включение частотной подставки и ширина зоны захвата измерялась повторно. Оба ЛГ находились в зоне синхронизации встречных волн от одной минуты до двух часов, после чего приборы в течение часа работали в непрерывном режиме с включенной частотной подставкой. Одновременно происходило измерение ширины зоны захвата. По полученным данным были построены зависимости, представленные на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, ширина зоны захвата за 2 часа работы приборов увеличилась со 164 Гц до 1596 Гц (в 9 раз) для ЛГ №1, выпущенного в 2007 г., и со 118 Гц до 574 Гц (в 5 раз) для ЛГ №2. выпущенного в 2011г. Проведенный эксперимент подтверждает, что лазерное излучение при наличии дополнительной УФ засветки от разряда активной среды модулирует в пространстве и во времени характеристики интерференционных диэлектрических покрытий лазерных зеркал. Пространственная модуляция этих характеристик приводит к возникновению дополнительной обратной связи, что способствует уширению зоны захвата при длительной работе ЛГ с отключенной частотной подставкой.

Далее, были проведены эксперименты, по определению времени релаксации зоны захвата при постоянном включении частотной подставки.

Была снята зависимость изменения зоны захвата, впечатанной за 2 часа, от времени работы датчика с включенной частотной подставкой. Результаты эксперимента, представленные на рисунке 2, быстрое снижение величины зоны захвата в течение первых минут включения подставки с последующим медленным уменьшением до начальных значений.

Эксперимент показал, что величина захвата быстро релаксирует в течение первых минут после включения частотной подставки, после чего уже более медленно в течение часа возвращается к своим первоначальным значениям. Можно сделать вывод о том, что образовавшаяся под действие УФ дифракционная решетка на диэлектрических зеркала пропадает при достаточно мощной красной засветке.

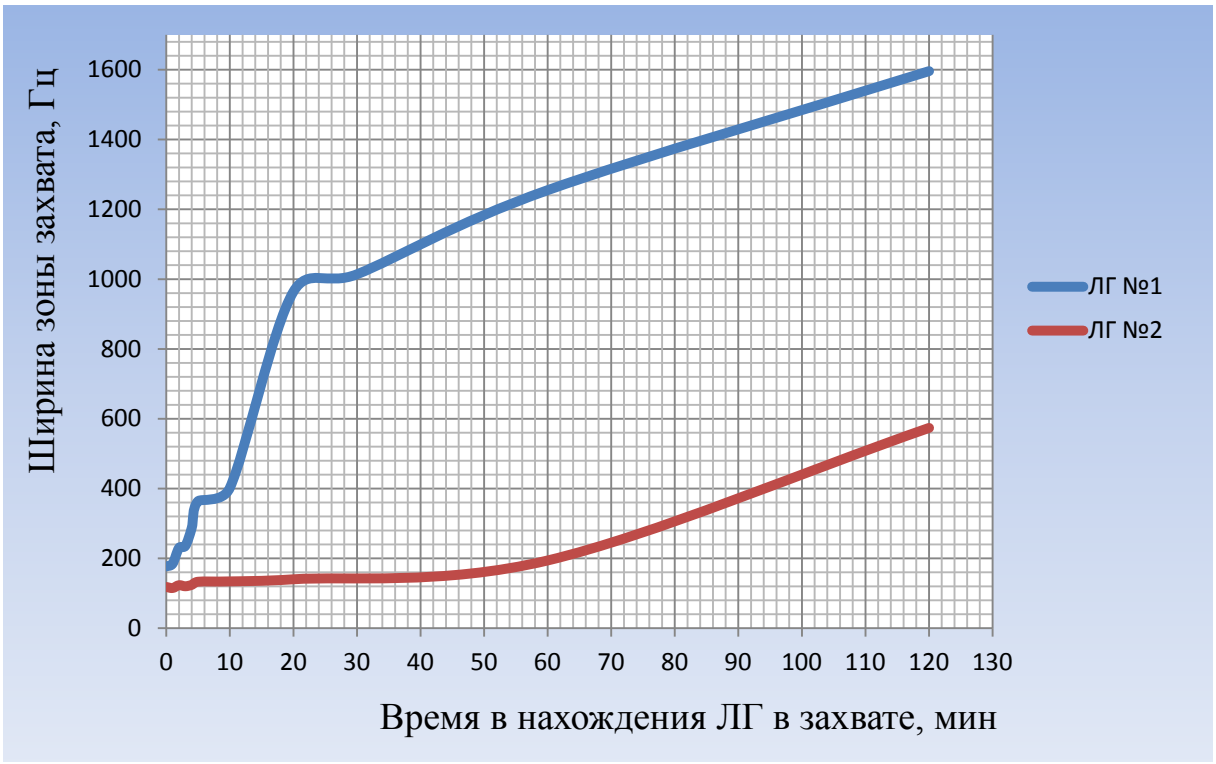


Рис. 1. Изменение ширины зоны захвата от времени работы ЛГ без частотной подставки.

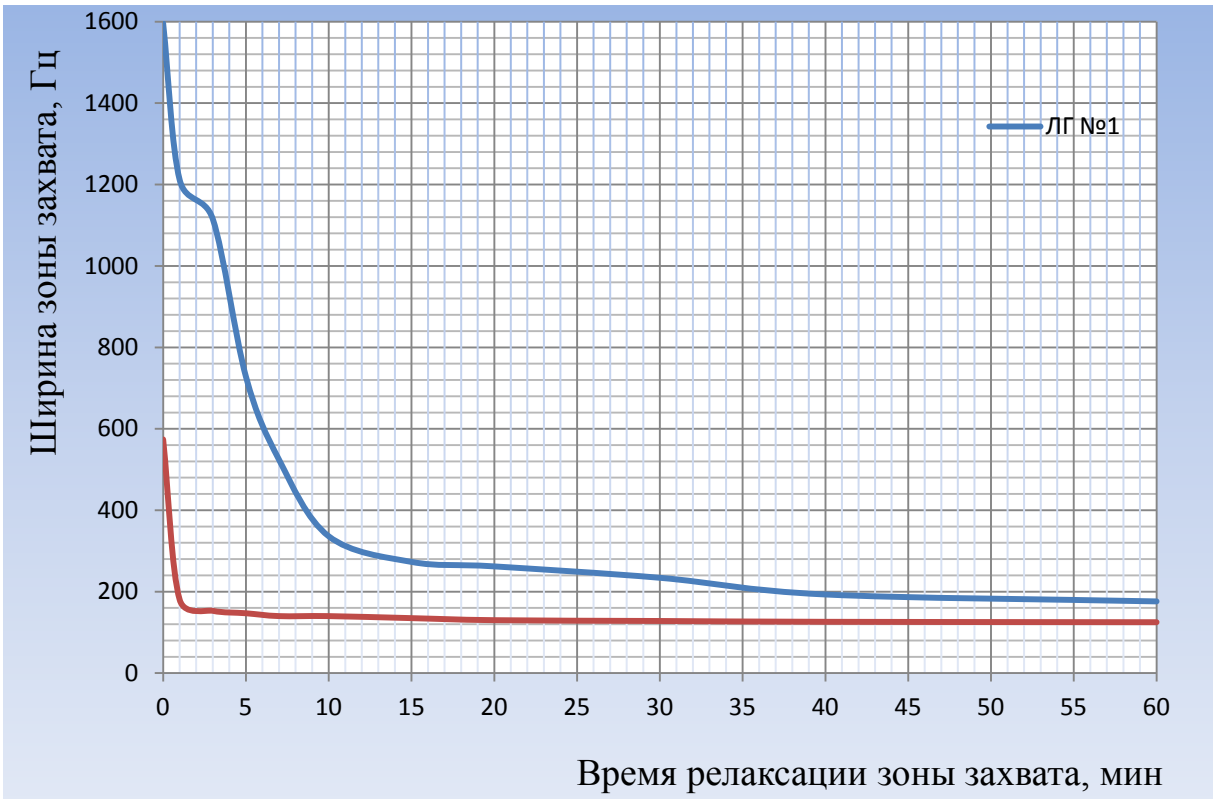


Рис. 2. Релаксация зоны захвата после включения частотной подставки.

Из полученных данных видно, что ширина зоны синхронизации при отсутствии частотной подставки, возрастала гораздо быстрее и имела большее значение для

первого ЛГ. Дело в том, что все диэлектрические зеркала в этом приборе имеют периодическую структуру SiO_2/TiO_2. Во втором ЛГдва зеркала имеют структуру SiO_2/Ta_2O_5, одно зеркало SiO_2/TiO_2 и последнее представляет собой смешанную структуру, в составе которой присутствуют все три компонента. То есть, возникновение дифракционной решетки, связано не только со свойствами поверхностного слоя SiO_2, но и последующих слоев. Поскольку слой TiO_2 обладает большим поглощением, то предпочтительней использовать Ta_2O_5 для изготовления диэлектрических зеркал. Стоит отметить, что зеркала ЛГ №1 не проходили процедуру отжига, следовательно, имеют большее количество структурных дефектов, которые могут захватывать электроны. Об этом также свидетельствует коэффициент обратного интегрального рассеяния, суммарная величина которого по всем четырем зеркалам для первого ЛГ составляет 0,046, а для второго 0,03.

Заключение

Полученные в работе данные свидетельствуют о том, что в зеемановском ЛГ с круговой поляризацией волн, также как и в ЛГ с линейной поляризацией волн, присутствует эффект увеличения статической зоны захвата после работы без частотной подставки и он напрямую связан с состоянием зеркал.

Использование диэлектрических зеркал со структурой SiO_2/Ta_2O_5 предпочтительнее, чем SiO_2/TiO_2. Предварительный отжиг зеркал способствует уменьшению структурных дефектов, что снижает как саму величину захвата, так и ее изменение при работе ЛГ с отключенной частотной подставкой.

Литература

1. В.В. Азарова, Ю.Д. Голяев, В.Г. Дмитриев. Кольцевые газовые лазеры с магнитооптическим управлением в лазерной гироскопии. Квантовая электроника, 30, №2, 2000, с.96-104.

2. В.А. Зборовский, В.Н. Куликов, А.В. Переверзев, Н.Г. Цигуро, Б.А. Шокин. Влияние взаимодействия излучения с веществом отражателей на характеристики кольцевого лазера. Квантовая электроника, 5, №3, 1978

3. В.А. Зборовский, В.А. Соломатин, Кольцевой лазер с инерционной обратной связью между встречными волнами. Квантовая электроника, 7, №4, 1980.

4. Синельников А.О., Ермак Е.М., Коржавый А.П. Особенности захвата частот в лазерном гироскопе с частотной подставкой на эффекте Зеемана. Наукоемкие технологии, №10, 2012, т.13, с. 40-45.

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Скворцов В.А.
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассмотрены методы ручного и автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей. Описана перспектива развития автоматизации технологического процесса изготовления деталей путем создания элементной базы на основе модульной технологии.

Method of design manufacturing processes for machine parts. Skvortsov V.

The methods of manual and automated design process of manufacturing processes for machine parts were considered. Prospects development of process automation parts

manufacturing by creating hardware components based on modular technology was described.

На сегодняшний день существует огромное количество методов и процедур проектирования технологического процесса. Некоторые из них автоматизированы, созданы классификаторы и справочные издания для снижения трудоемкости. Но проблема автоматизации всего технологического процесса изготовления деталей так и не решена. В настоящее время известно огромное количество программных разработок систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), которые включают в себя возможность 3-D моделирования, наполнении технологических операций и переходов из имеющейся базы данных станков, приспособлений и инструментов с назначением режимов резания. Это влечет за собой ошибки, т.к. нет однозначного выбора метода обработки, приспособлений и оснастки, которые в дальнейшем вытекают в увеличенный объем затрат при изготовлении деталей. Так же существующие методики, прописанные в нормативных документах на производстве, архив типовых и групповых процессов, локальны для каждого производства, что влечет за собой неполное видение технологом всех возможных вариантов методов обработки. Сюда относится отсутствие полной информации о новых видах обработки, оборудовании, инструменте и т.д.

Существует два метода проектирования технологических процессов: ручной и автоматизированный. При ручном методе технолог формирует управляющую программу непосредственно в коде станка, описывая технологические команды и элементарные перемещения. При авторизированном методе создания управляющей программы требуется наличия CAM (Computer Aided Manufacturing) системы. На сегодняшний день эти системы решают отдельные вопросы, которые упрощают работу конструкторов и технологов. Рассмотрим некоторые из них:

Определение режимов резания это одно из легко автоматизированных этапов проектирования технологических процессов. Рассмотрим на примере программного продукта “Iscar Tool Advisor” израильской фирмы ISCAR. Пользователь задает геометрические параметры поверхности или группы поверхностей изделия для одного перехода, материал заготовки и в результате выдаются инструменты, которыми можно обработать заданные поверхности с рекомендуемыми режимами резания. Но эти данные несут рекомендательный характер, т.к. необходимо учитывать особенности Российских стандартов, применяемых к материалам. По требованию ГОСТа о процентном содержании химических элементов они могут отличаться от зарубежных аналогов. Похожее программное решение предлагается фирмой Adem.

Создание управляющей программы для станков с ЧПУ на основе конструктивных элементов. Под конструктивным элементом понимается геометрический элемент детали, обрабатываемый за один технологический переход. В программном продукте Adem реализована обработка 13-ти типов конструктивных элементов (колодец, уступ, стенка, окно, плоскость и др.). Исходными данными для задания конструктивного элемента являются: тип создаваемого элемента, задаются необходимые параметры, указываются контуры, определяющие границы конструктивного элемента или профиль его сечения.

Составление конструкторско-технологической документации путем ручного занесения технологом значений из баз данных.

Но проблема автоматизированного проектирования технологического процесса изготовления деталей в целом так и не решена. В настоящее время ведутся исследования на основе модульной технологии, разработанной в Институте машиноведения им. А.А. Благонравова РАН профессором Базровым Б.М.. Эта

методика позволяет взглянуть на проектирование технологических процессов с другой точки зрения. В этом случае за предмет производства берется не деталь, а модуль поверхности. Такое решение было принято из-за огромного разнообразия видов и типов деталей. Если в качестве предмета производства принять деталь, то возникают трудности при создании банка конструкций деталей, обусловленные большим числом ее геометрических и размерных характеристик, разнообразием элементарных поверхностей и их сочетаний, количество которых практически не ограничено. При модульном проектировании деталь разбивается на модули поверхности по конструктивно-технологическим признакам и создается модульный технологический процесс. Так же это позволит снизить разнообразие технологических процессов для обработки требуемого модуля поверхности. Классификация функциональных модулей поверхностей представлена на рисунке 1.

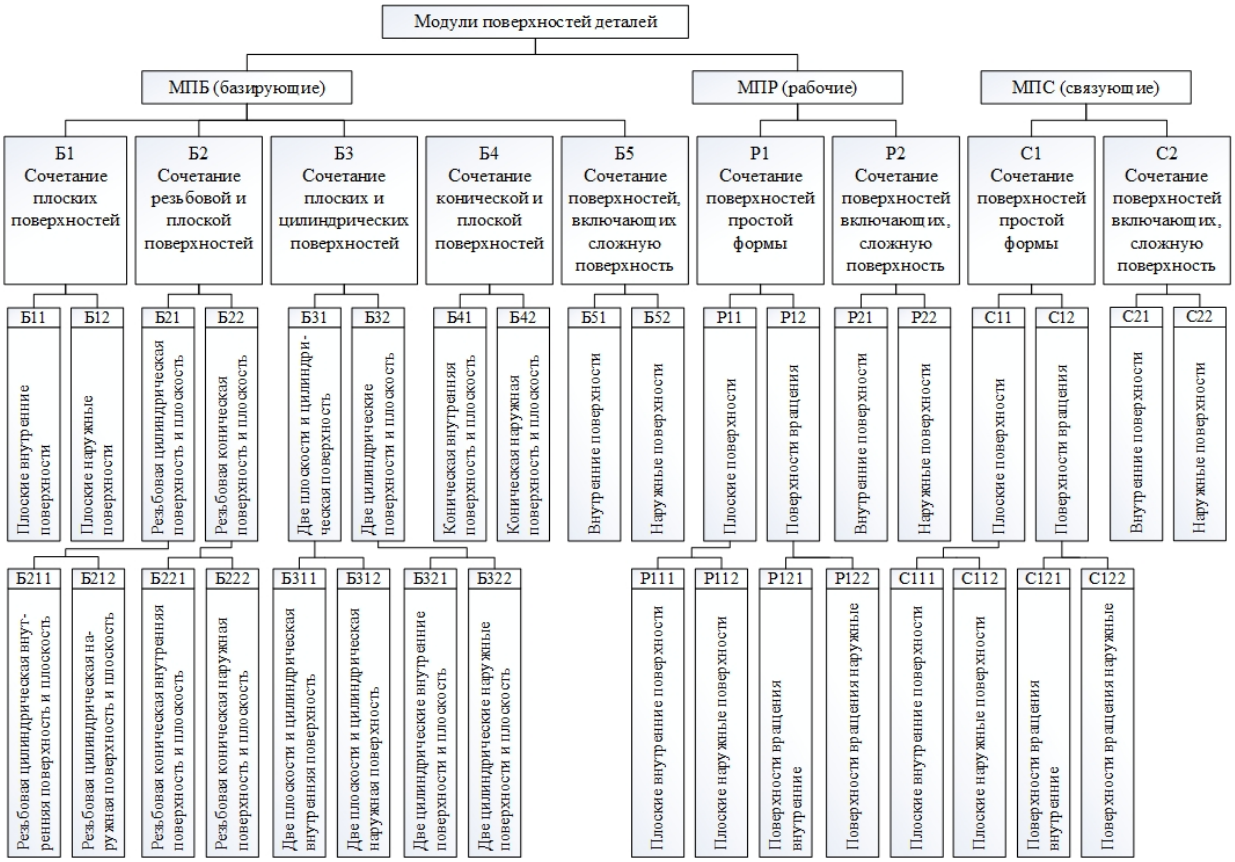


Рисунок 1. Классификация функциональных модулей поверхностей

В настоящий момент реализованы следующие задачи:

Унификация звеньев производственной цепочки (изделие - технологический процесс – оборудование – рабочее место) на модульном уровне;

Расчет затрат времени на изготовление деталей без разработки технологических процессов;

Размерный анализ конструкций изделий методом графов;

Автоматизация поиска чертежей станочных приспособлений;

Для развития существующей элементной базы необходимо решение вопросов по организации сотрудничества с обрабатывающими производствами, научными сотрудниками, занимающимися разработками в создании новых видов обработки, производителями станочного оборудования и инструмента.

Литература

1. Базров Б.М., Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. 2-е изд. (1-е изд. 2005 г.). М.: Машиностроение, 2007. - 736 с.: ил., ISBN 978-5-217-03374-4

2. Базров Б.М., Практическое приложение модульной технологии в машиностроении, ИМАШ РАН, 2010.

3. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / ред. Дальский А. М., Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Суслов А. Г. - 5-е изд., испр. - М. : Машиностроение : Машиностроение-1, 2003. - ISBN 5-217-03083-6. - ISBN 5-94275-013-0. Т. 2. - 2003. 943 с. : - ISBN 5-217-03085-2. - ISBN 5-94275-015-7

4. Горохов В.А., Схиртладзе А.Г., Беляков Н.В., Махаринский Е.И., Махаринский Ю.Е., Ольшанский В.И., Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: учебник для вузов: в 2-х ч. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - Ч. II. - 576 с.

МЕТОДИКА ОБЪЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ ПО СТАНДАРТУ МЭК 61131-3

Скоробогатько А.А.
Пенза, ПГУ

Пошагово рассмотрен процесс создания приложения для программируемых логических контроллеров, построенный на основе методов объектно-ориентированного анализа и проектирования.

Object modeling and application development procedure for industrial plcs according to IEC 61131-3 standard Skorobogatko A.

The article includes step-by-step application creation process for PLC, based on object-oriented analysis and development procedure.

Введение

Для программируемых логических контроллеров (ПЛК) существует несколько широко применяемых языков программирования, описанных в стандарте МЭК 61131-3 [1]. Рассмотрим структуру приложения, соответствующего этому стандарту.

Базовыми элементами, из которых строится приложение, являются компоненты организации программ (в инструментальной среде CoDeSys, к примеру, они

называются программными компонентами [2]). Каждый компонент имеет собственное наименование, определенный интерфейс и описание на одном из МЭК-языков.

Необходимо отметить следующие важные свойства компонентов [3]:

- Инкапсуляция – для использования компонента достаточно знать описание его входов и выходов, внутренняя реализация компонента скрыта.
- Разграничение доступа – вызывающий компонент имеет доступ к входным и выходным переменным вызываемого компонента, но не может обратиться к его локальным переменным. Таким образом, существует возможность управления областью видимости данных.
- Компоненты решают задачу структурной декомпозиции проекта. В общем случае проект разбивается на несколько крупных компонентов, каждый из которых, в свою очередь, может быть разбит на более мелкие компоненты.

Существует три типа программных компонентов: функции, функциональные блоки и программы.

Программа и функциональный блок – это компоненты, которые могут принимать и возвращать произвольное количество значений. Их отличие заключается в том, что программа является глобальной во всем проекте, тогда как функциональный блок является пользовательским типом данных и для использования функционального блока в конкретном программном компоненте необходимо объявить его экземпляр. Как программа, так и экземпляр функционального блока сохраняют значения своих внутренних переменных между вызовами. Состояние внутренних переменных программы не зависит от того, из какого программного компонента она вызвана – как отмечено выше, программа глобальна во всем проекте. Напротив, экземпляры функционального блока, объявленные в разных программных компонентах, могут иметь различные значения внутренних переменных.

С точки зрения ООП, функциональный блок можно рассматривать, как прототип класса: он поддерживает такие важные свойства, как инкапсуляция, разграничение доступа к данным, делегирование. Программа может использоваться как обычная процедура, не имеющая выходных значений, или как прототип статического класса.

Таким образом, при создании приложения для ПЛК возможно (с некоторыми ограничениями) использовать методы объектно-ориентированного анализа и проектирования.

Методика создания приложения для ПЛК

Приложение для ПЛК создается с учетом структуры и алгоритмов функционирования автоматизированной системы (АС), которые определяются на этапе ее проектирования.

Цель методики – средствами объектно-ориентированного проектирования создать приложение для ПЛК, работающего в рамках АС. Приложение должно обладать следующими свойствами:

- Модульная структура;
- Гибкость;
- Переносимость.

Преимущества объектно-ориентированного подхода к созданию приложений для ПЛК заключаются в следующем:

- Приложение является моделью автоматизированной системы и отражает структуру технологических объектов, входящих в состав АС;
- При изменении набора технологических объектов или алгоритмов их функционирования доработка системы минимальна;

- Одно и то же базовое приложение может быть с минимальными доработками использовано на разных автоматизированных системах, имеющих одинаковые функции;
- Сопровождение системы заметно упрощается.

Промежуточные результаты проектирования представляются в виде диаграмм UML, широко используемых в объектно-ориентированном анализе и проектировании [4].

Далее подробно рассмотрены этапы создания приложения.

Выделение логических объектов.

На первом этапе выделяются логические объекты, которыми будет оперировать приложение. Логические объекты – эквивалент классов в объектно-ориентированном программировании. Итогом этапа становится список логических объектов и отношения агрегации и композиции между ними, которые могут быть выражены посредством диаграммы логических объектов (эквивалентна диаграмме классов).

Сначала необходимо проанализировать состав автоматизированной системы и выделить все технологические объекты, от которых ПЛК будет получать сигналы, и те, для которых ПЛК будет формировать сигналы управления.

Для каждого из полученных объектов необходимо определить, имеет ли он собственное поведение.

Для объекта, являющегося источником сигналов для ПЛК, поведение подразумевает наличие у объекта ряда состояний, которые влияют на использование сигналов от этого объекта. Состояния определяются согласно специфике АС и могут отличаться для одинаковых объектов в разных системах. К примеру, если для аналогового датчика должен быть реализован контроль достоверности сигнала, то логический объект «Датчик» имеет два состояния – «показания достоверны» и «показания не достоверны». В первом случае в качестве итогового значения используется показания датчика, а во втором – некоторое договорное значение. Остальные объекты приложения используют итоговое значение, выдаваемое логическим объектом «Датчик». Если же контроль достоверности сигнала не реализуется, то независимо от состояния датчика используются его реальные показания; состояния объекта не влияют на использование его сигналов, т.е. объект не имеет собственного поведения.

Для объекта, принимающего сигналы управления от ПЛК, поведение подразумевает алгоритм функционирования этого объекта, который должен быть реализован в рамках приложения. В общем случае объект получает некоторые входные сигналы и формирует выходные на основе определенного алгоритма. Если этот алгоритм сводится к копированию значения входной переменной в выходную – то объект считается не имеющим собственного поведения.

Возможны случаи, когда объект состоит из нескольких частей, каждая из которых обладает собственным поведением. В качестве примера можно привести многоканальные регуляторы, разные каналы которых отвечают за управление разными процессами. Такие объекты разбиваются по количеству составных частей.

Также возможен случай, когда совокупность нескольких объектов обладает поведением, хотя сами объекты его не имеют. Такие объекты следует объединить.

Полученную схему можно дополнить следующим образом.

Во-первых, в отдельные объекты выносятся алгоритмы преобразования сигналов. Внешнее представление данных может меняться в зависимости от датчиков, тогда как внутреннее представление остается неизменным. В связи с этим может возникнуть необходимость в преобразовании сигналов. К алгоритмам преобразования

сигналов так же можно отнести вычисление косвенных величин, когда приложение использует величину, значение которой не подается на вход ПЛК прямо, а должно быть определено по некоторому алгоритму.

Во-вторых, выделяются объекты, которые реализуют функции отсутствующих технологических объектов внутри приложения. Например, это может быть ПИД-регулятор, разнообразные счетчики. Подобные функции могут выполняться как специализированными приборами, так и модулями приложения; это определяется на стадии проектирования АС исходя из выбранных критериев оптимальности и эффективности системы.

Таким образом, составляется список базовых логических объектов, соответствующих физической структуре АС. Пример такого списка в виде упрощенной диаграммы логических объектов отражен на рисунке 1. На этом этапе диаграмма может так же содержать отношения агрегации и композиции между объектами. При необходимости можно показать абстрактные объекты, в приложении они не реализуются.



Рисунок 1 – пример упрощенной диаграммы логических объектов (аналог диаграммы классов)

Выделение состояний

В общем случае поведение объекта представляет собой набор состояний, в каждом из которых объект функционирует по особому алгоритму.

Для каждого логического объекта необходимо определить:

- Совокупность состояний объекта
- Условия переходов между состояниями
- Начальное состояние (в котором находится объект при запуске приложения)

Полученные результаты отражаются на диаграммах состояний для каждого объекта.

Как уже отмечалось, у некоторых объектов может быть только одно состояние, в этом случае диаграмма состояний не строится.

Существует два основных способа выделения состояний: по состояниям технологического объекта и по функциям технологического объекта.

Если функционирование технологического объекта подразумевает несколько устойчивых состояний (например: котел может быть выключен, находится в режиме прогрева, работать в штатном режиме), то эти же состояния переносятся на логический

объект. При этом если в двух разных состояниях объект функционирует одинаково, то они должны быть объединены, и наоборот.

Если технологический объект может динамически перестраиваться на выполнение некоторой функции из ряда возможных, то набором состояний может служить набор этих функций. Например, для GSM-модема с функцией приема и отправки сообщений, можно выделить три состояния: получение сообщения, отправка сообщения, ожидание. Смена состояний может инициироваться как внутри приложения, так и внешними сигналами от модема.

Приведенные способы взаимозаменяемы по двум причинам:

- И состояния, и функции технологического объекта подразумевают разные алгоритмы функционирования;
- Технологический объект не может одновременно находится в разных состояниях, равно как не может одновременно выполнять две функции.

Выбор способа зависит от того, в каком виде составлено описание технологического объекта на этапе проектирования АС; это остается на усмотрение разработчика.

Пример диаграммы состояний приведен на рисунке 2.

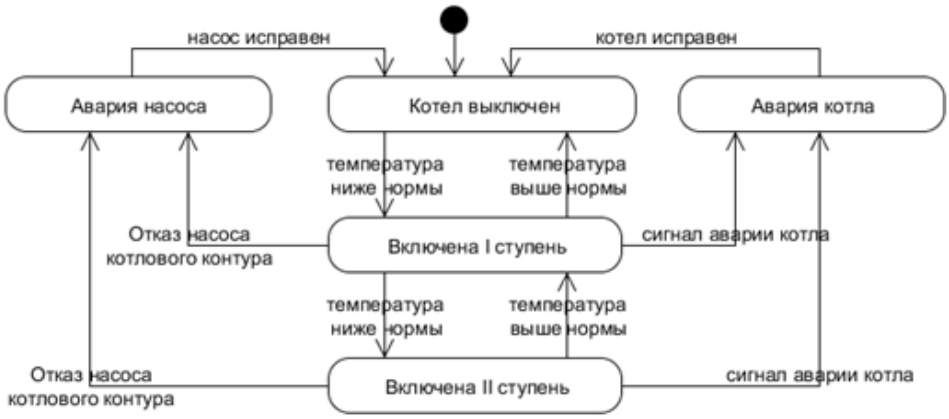


Рисунок 2 – пример диаграммы состояний

Определение алгоритмов функционирования

Выделив состояния объекта необходимо проработать алгоритмы функционирования объекта в каждом из состояний. Это можно сделать в виде схемы алгоритма [5], в виде диаграммы деятельности (стандарт UML 2.0) либо в виде программного кода.

Программный код должен быть реализован в соответствии с принципами структурного программирования, т.е. в рамках алгоритма так же могут быть выделены подпрограммы и функции. Реализацию следует проводить с использованием языков МЭК. Предпочтительным является текстовый язык ST, однако возможно использование и других языков на усмотрение разработчика. Так же возможна реализация на языке С, если система программирования и ПЛК поддерживают его использование.

Каждый алгоритм имеет некоторые исходные данные и результаты. Им соответствуют входные и выходные сигналы объекта. Важно, что набор сигналов объекта общий для всех состояний, поэтому учитывает данные и результаты всех алгоритмов функционирования объекта.

Необходимо определить все входные и выходные сигналы каждого из объектов. Каждый из входных сигналов объекта обязательно должен иметь источник – объект или вход ПЛК, от которого мы можем получить искомые данные. Каждый из выходных сигналов объекта должен иметь получателя – объект или выход ПЛК. Все, что не попадает под эти критерии, рассматривается как внутренние данные алгоритмов.

Полученные сигналы можно отобразить на диаграмме логических объектов как атрибуты с префиксами «in»и «out» для входных и выходных сигналов соответственно. Пример такой диаграммы приведен на рисунке 3.

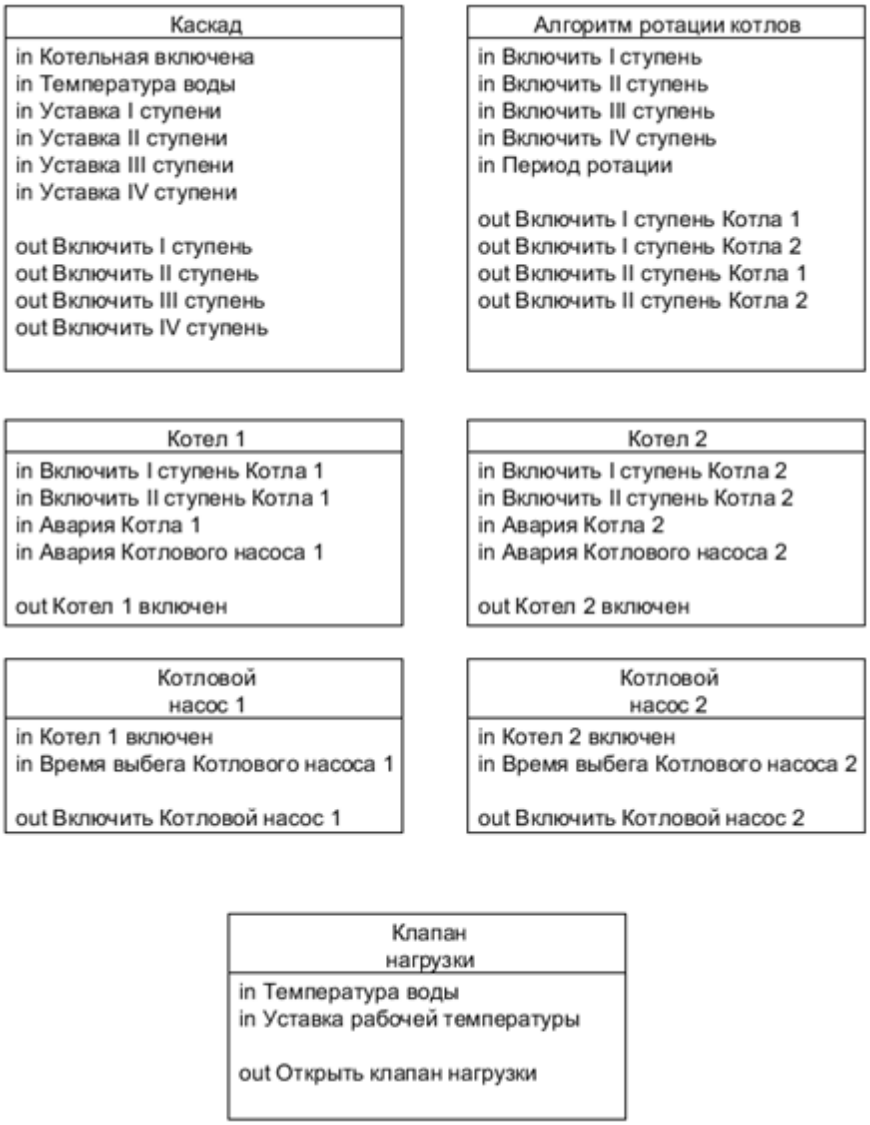


Рисунок 3 – пример диаграммы логических объектов с входными и выходными сигналами

Выделение уровней управления

Логические объекты более высокого уровня выделяются в двух случаях: для объектов, имеющих одинаковое поведение, и для объектов, имеющих синхронное поведение.

Если однотипные объекты имеют одинаковое поведение, то они – экземпляры одного логического объекта. Это означает, что при реализации необходимо будет

описать всего один функциональный блок. Выполнять подобное объединение на первом шаге нельзя, поскольку полностью идентичные технологические объекты АС могут функционировать по разным алгоритмам. Важно отметить, что этот тип выделения укрупненных логических объектов применяется к тем объектам, которые не синхронизируются между собой, т.е. в один и тот же момент разные объекты могут находиться в разных состояниях.

Если объекты синхронно реагируют на определенные условия, то эта часть их поведения может быть вынесена в объект более высокого уровня. Например, во многих АС при возникновении аварийной ситуации часть оборудования должна быть отключена. Исходя из вышеописанной логики, каждый логический объект, соответствующий технологическому, при получении сигнала на включение должен дополнительно проверять наличие аварий. В подобных случаях можно ввести объект, который преобразует сигналы включения, поступающие к оборудованию, с учетом наличия аварий. Конечные объекты получают только команды включения и выключения, соответственно упрощаются их алгоритмы или диаграммы состояний.

Суть этого подхода в том, что операции, которые несколько объектов должны выполнять синхронно, передаются новому объекту, а исходные получают только результат выполнения этой операции. Синхронность – обязательное условие для выделения нового объекта в этом случае. При этом исходные объекты могут относиться к разному оборудованию и иметь разное поведение.

Оба вида объединения следует проводить независимо. Для объектов, объединенных по первому принципу, может существовать и синхронное поведение, которое выносится в объект второго типа.

Кроме указанных типов объектов верхнего уровня могут существовать уровни управления, заведомо определенные структурой АС. Например, совокупность из нескольких котлов называется каскадом и имеет свой алгоритм управления, определяемый при проектировании АС. Такие объекты так же необходимо отразить.

Полученные изменения следует внести в диаграмму логических объектов.

Далее необходимо повторить пункты выделение состояний и определение алгоритмов функционирования для новых объектов, а так же скорректировать их для уже выделенных объектов. Если возникнет необходимость, после этого можно выделить еще более крупные уровни управления. Их количество определяется только сложностью АС.

Определение состава сигналов, передаваемых между логическими объектами

На предыдущих этапах были выделены логические объекты и их входные и выходные сигналы. На этом шаге необходимо объединить входы и выходы объектов и определить последовательность передачи сигналов.

Соединение входов и выходов показывается стрелками на диаграмме логических объектов. Это основа для построения структуры приложения. При этом показываются экземпляры логических объектов, т.к. связи устанавливаются именно между ними. Пример такой диаграммы приведен на рисунке 4.

Последовательность передачи сигналов отражается на диаграммах последовательности, которые могут быть составлены как для системы в целом, так и для каких-то отдельных функций.

Разработка приложения на основе полученных данных

Для каждого логического объекта необходимо определить функциональный блок. Входные сигналы объекта являются входными переменными блока. Выходные сигнал объекта являются выходными переменными блока.

Если логический объект имеет несколько состояний, то функциональный блок описывается на языке SFC. Особенности этого языка позволяют реализовать диаграмму

состояний практически в неизменном виде. Состояние объекта соответствуют шагу, внутри которого реализуется алгоритм функционирования объекта. Как уже упоминалось, алгоритм может быть реализован на любом удобном для разработчика языке, который поддерживает инструментальная система. Для перехода задается условие, соответствующее условию смены состояний.

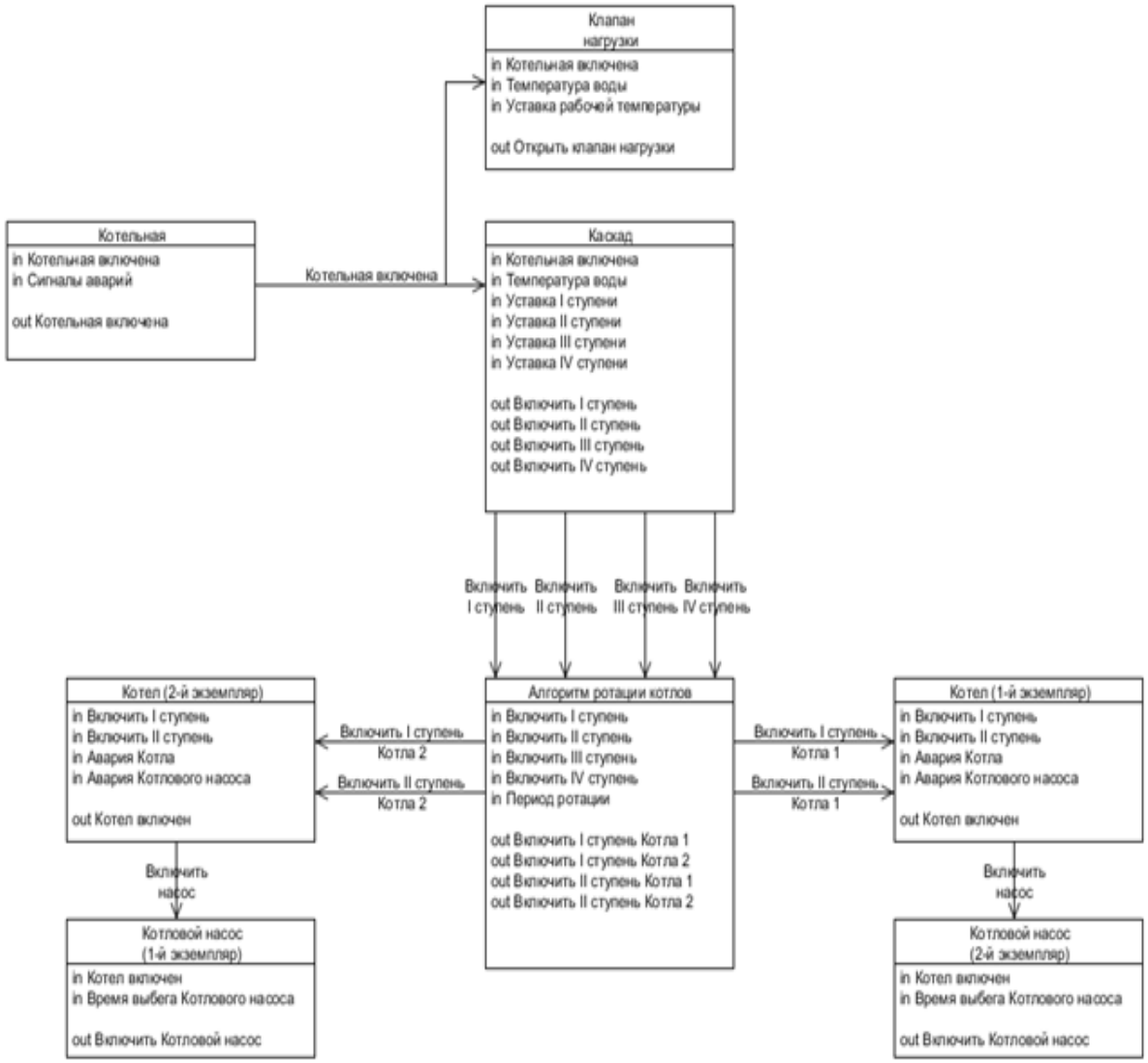


Рисунок 4 – пример диаграммы логических объектов со связями

Если логический объект имеет только одно состояние, то функциональный блок реализует его поведение целиком.

Приложение для ПЛК, как правило, имеет главную программу, которая перезапускается в каждом цикле ПЛК. Ее удобно реализовать в виде FBD-диаграммы.

Экземпляры логических объектов объявляются либо как глобальные переменные, либо как внутренние переменные главной программы. Входы и выходы экземпляров соединяются на диаграмме FBD.

Заключение

Подводя итог вышесказанному, можно отметить, что системы, созданные в рамках стандарта МЭК, не являются объектно-ориентированными. Однако выделенные

свойства программных компонентов позволяют использовать методы объектно-ориентированного анализа и проектирования при составлении приложения для ПЛК.

Литература

1. IEC 61131-3 Programmable controllers – part 3: Programming languages – IEC, 2003.
2. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3 - Смоленск: ПК Пролог, 2006.
3. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования – М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
4. Фаулер М., Скотт К. UML. Основы – Спб.: Символ-Плюс, 2002.
5. ГОСТ 19.701-90 Схемы алгоритмов, программ, данных и систем.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

П. А.Соколов, В.О. Кирюханцева
Закрытое акционерное общество Научно-производственное объединение «Мобильные Информационные Системы»

Рассмотрена алгоритмизация расчета систем электроснабжения (СЭС) летательного аппарата (ЛА). Результатом работы предложенного алгоритма является нахождение максимально возможных значений сил тока в проводниках всех участков схемы кабельных трасс СЭС ЛА.

Advanced methods algorithmic support design electrical systems. Sokolov P., Kiryukhantseva V.

We consider algorithmic calculation of power supply systems (PSS) of the aircraft. The result of the algorithm is to find the maximum possible values of amperage in all parts of the circuit conductors of cable routes PSS of the aircraft.

Современный рынок летательных аппаратов является одним из перспективных и динамически развивающихся. Круг решаемых на ЛА задач постоянно расширяется, что влечет за собой увеличение разнообразия наименований и количества целевой нагрузки на воздушном судне (ВС).

Бортовое оборудование представляет собой ряд комплексов, соединенных единой энергосетью. Наиболее распространенным и универсальным видом питания специальной аппаратуры является электрическая энергия. Вследствие того, что надежность, бесперебойность и качество электроснабжения непосредственно влияет на стабильность и точность работ различных систем летательного аппарата, совершенствование энергосистем является одной из наиболее важных и актуальных проблем на сегодняшний день.

Для успешного проектирования систем электроснабжения, на всех этапах разработки проводятся теоретические и экспериментальные исследования различных вариантов СЭС. В данной работе рассматривается один из алгоритмов расчета СЭС, который в будущем, в совокупности с уже существующими разработками в этой области, позволит максимально автоматизировать создание СЭС ВС.

Выбор оптимальной системы электроснабжения всегда определяется конкретным функционалом и типом ВС, так как из-за многообразия назначений

гражданских и военных летательных аппаратов невозможно создать единую рациональную СЭС.

Проектирование СЭС начинается с разработки эскизного проекта ЛА. На этой стадии происходит всесторонняя проработка и выявление основных возможных потребителей, характера и особенностей их эксплуатации. Определяются необходимые мощности по этапам полета. Выбирается основной род тока. Проводится сравнительный анализ надежности и веса различных вариантов электроаппаратуры. Разрабатываются принципиальные схемы энергосистем, в соответствии с которыми составляется подробный перечень электрооборудования по функциональному признаку. Этот перечень служит исходным материалом для компоновки, составления графика нагрузок и выбора мощности и типа источника энергии. На сегодняшний день уже существуют наработки методик автоматизированного синтеза возможных вариантов схем кабельных трасс компоновок, при известных габаритах и характеристиках оборудования и ВС.

Одним из основных технических требований, предъявляемых к СЭС является минимальный полетный вес и габариты, поэтому нам необходимо знать массовые характеристики полученных кабельных трасс. Для этого нужно вычислить параметры проводников.

Зная характеристики мощности потребителей и предъявляемые требования по качеству напряжения и силы тока можно рассчитать требования к кабелям трасс. Соответственно можно подобрать материал для проводов и соответствующее сечение.

Неизвестным остается значение сопротивления проводников СЭС, что ставит перед нами задачу определения необходимой величины силы тока.

Для удобства расчета силы тока в проводниках мы представим схему СЭС в виде графа, где все элементы схемы - это вершины, а в качестве ребер используются логические связи. Таким образом, представив граф в виде матрицы смежности, мы создадим математическую модель СЭС.

В качестве примера, рассмотрим участок СЭС (рис.1) состоящий из генератора (Г), фидера (Ф) и центрального распределительного устройства(ЦРУ).

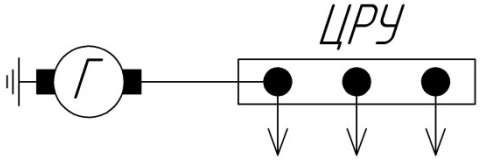


Рис.1

Представим взятую схему в виде графа и матрицы смежности (рис.2)

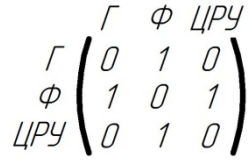
Граф	Матрица смежности
	

Рис.2

Матрицы смежности мы используем как цифровые исходные данные для разработанного нами алгоритма расчета СЭС. Для оценки сложности задачи, требуемого времени и вычислительных ресурсов применяется теорема Кирхгофа-Трента, по которой мы рассчитываем количество каркасов в данном графе. В нашем

примера количество каркасов равно 1. Из чего следует, что алгоритм будет находить силу тока по одному дереву. Сила тока в алгоритме рассчитывается по формулам:

$I = \frac{P}{U}$ - для участка цепи постоянного тока.$I = \frac{P}{U}\cos\varphi$ - для участка цепи переменного тока.

Для данного примера:$I = \frac{P}{U}$, где P- суммарная мощность потребителей на ЦРУ, U –напряжение генератора, которое питает данное ЦРУ.

На рис.3 приведен алгоритм расчета бортовой сети переменного и постоянного тока. В качестве начальных данных вводим матрицу смежности - матрицу соединений элементов СЭС (генераторы постоянного/переменного тока, потребители, проводники, преобразователи энергии) одной из возможных схем кабельных трасс.

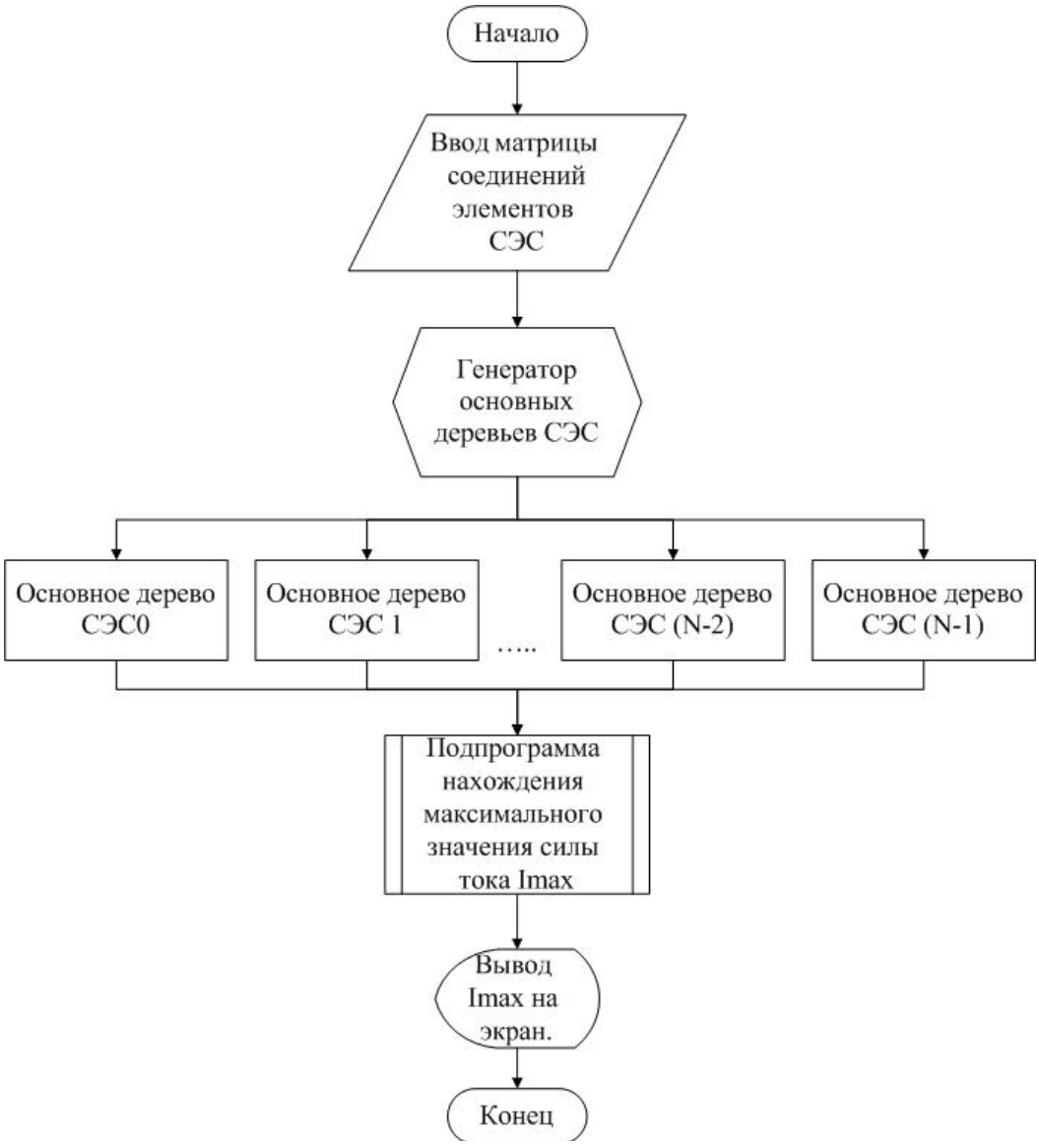


Рис.3 Алгоритм нахождения максимального значения силы тока СЭС

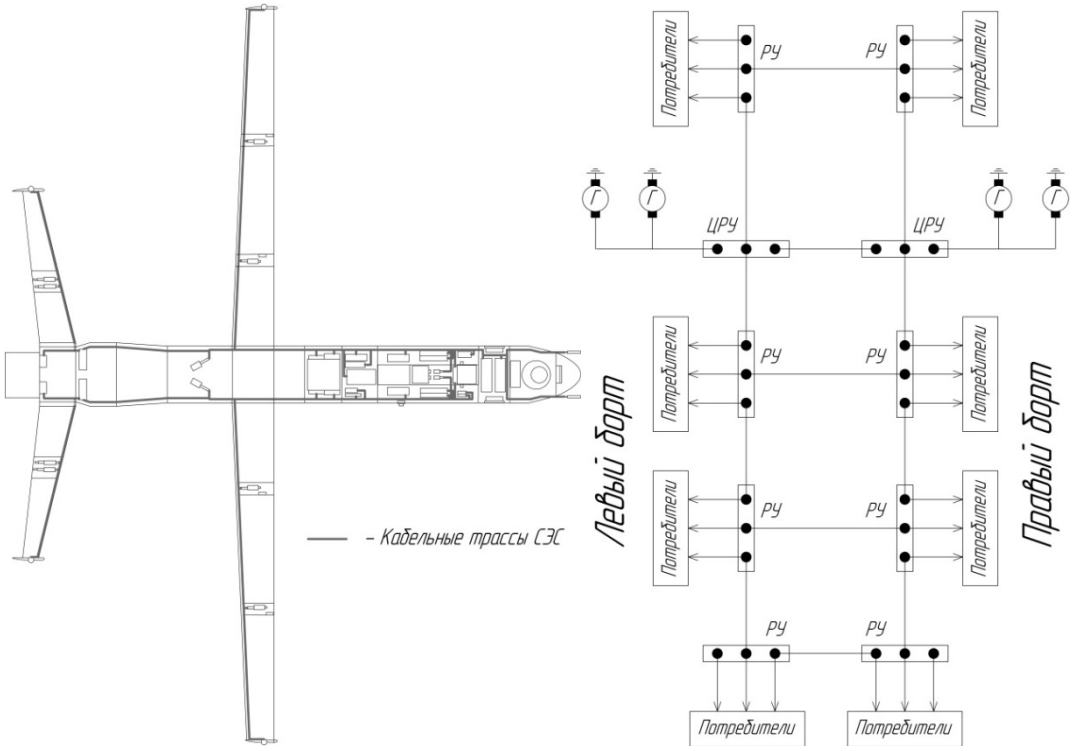
Далее генерируются основные деревья графа. Это необходимо сделать для учета возможных режимов СЭС (нормальный режим, аварийный режим и частичный отказ).

Так как одним из главных приоритетов в проектировании ВС являются

уменьшение габаритно-массовых характеристик, нам необходимо подобрать самое минимальное сечение проводника, которое будет удовлетворять заданным условиям эксплуатации. Поэтому результатом работы этого алгоритма является нахождение максимально возможной силы тока в проводниках (Imax), которую мы вычисляем с помощью известных характеристик каждого объекта энергосети (мощность, напряжение).

Данный алгоритм создан с учетом возможности распараллеливания вычислений с помощью новейших аппаратных технологий CUDA или OpenCL, которые позволяют значительно увеличить производительность и сократить расчетное время.

Для наглядного примера работы данного алгоритма рассчитаем СЭС представленную на рис.4

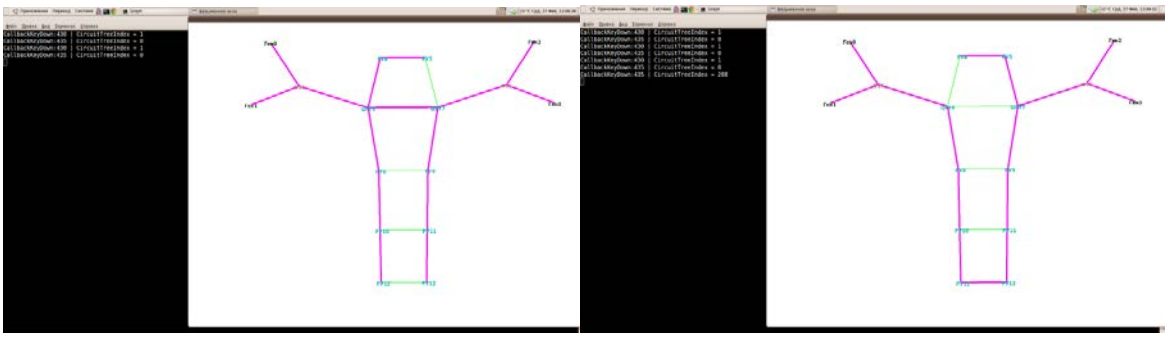


а) б)

Рис.4

а) Пример схемы кабельных трасс СЭС БПЛА. б) Структурная схема СЭС

После представления данной СЭС в виде матрицы смежности и определения количества каркасов в данном графе получим 208 возможных деревьев (рис. 5).



а) б)

Рис.5а) Дерево №1; б)Дерево №208,
где Ген – генератор, Ф – участок кабельной трассы, ЦРУ – центральное распределительное устройство, РУ – распределительное устройство

Далее рассчитываем необходимые силы тока всех участков кабельных трасс для каждого дерева и определяем максимально возможные значения.

Результаты расчетов данной СЭС приведены на рис.6.

	Д1(Ген0)	Д1(Ген1)	Д1(Ген2)	Д1(Ген3)	...	Д209(Ген0)	Д209(Ген1)	Д209(Ген2)	Д209(Ген3)	Рез-т: Imax
Ген0	23,15003	0	0	0	...	23,15003	0	0	0	23,15003
Ген1	0	23,15003	0	0	...	0	23,15003	0	0	23,15003
Ген2	0	0	23,15003	0	...	0	0	23,15003	0	23,15003
Ген3	0	0	0	23,15003	...	0	0	0	23,15003	23,15003
РУ4	3,372078	3,372078	3,372078	3,372078	...	1,308514	1,308514	1,308514	1,308514	22,968628
РУ5	2,063565	2,063565	2,063565	2,063565	...	3,372078	3,372078	3,372078	3,372078	22,616521
ЦРУ6	23,15003	23,15003	13,41185	13,41185	...	23,15003	23,15003	0,181402	0,181402	23,15003
ЦРУ7	9,738179	9,738179	23,15003	23,15003	...	3,905587	3,905587	23,15003	23,15003	23,15003
РУ8	9,858371	9,858371	9,858371	9,858371	...	22,968628	22,968628	3,706209	3,706209	22,968628
РУ9	9,20467	9,20467	9,20467	9,20467	...	6,036409	6,036409	19,244442	19,244442	22,616521
РУ10	6,333563	6,333563	6,333563	6,333563	...	19,443821	19,443821	6,975209	6,975209	19,443821
РУ11	7,073849	7,073849	7,073849	7,073849	...	9,583317	9,583317	17,113621	17,113621	20,485699
РУ12	3,064563	3,064563	3,064563	3,064563	...	16,174821	16,174821	10,039772	10,039772	16,174821
РУ13	3,526941	3,526941	3,526941	3,526941	...	13,110258	13,110258	13,566713	13,566713	16,938791
Ф14	23,15003	23,15003	0	0	...	23,15003	23,15003	0	0	23,15003
Ф15	0	0	23,15003	23,15003	...	0	0	23,15003	23,15003	23,15003

Рис.6

После получения и анализа результатов возможна корректировка компоновки оборудования на борту. Меняя варианты прокладки кабельных трасс можно подобрать рациональную СЭС ВС. Применение данных методов автоматизации позволит улучшить качество, повысить эффективность и ускорить время разработки всего летательного аппарата в целом.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОЕКТНОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИ СТРУКТУРНО СЛОЖНОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Тихменев А.Н.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В работе рассматривается методика оценки показателей безотказности структурно-сложной радиоэлектронной аппаратуры. Методика основана на имитационном моделирования и позволяет оценить проектные показатели безотказности с учетом реконфигураций и нестандартного резервирования.

Increasing the accuracy of the design calculation of structural reliability of complex electronic equipment. A.N. Tikhmenev.

This paper describes the method of calculation reliability of complex structural electronic equipment. The technique is based on simulation to evaluate design performance reliability with the reconfigurations and optional redundancy.

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.

Одним из часто применяемых методов для обеспечения качества, в том числе и уровня надежности, бортовой аппаратуры является использование реконфигураций различной сложности и на различных уровнях разукрупнения РЭА [1]. Анализ алгоритмов реконфигурации показал, что структуру бортовых РЭА часто нельзя свести к набору типовых групп, что одним из наиболее значимых ее особенностей с точки зрения надежности является уникальность конкретной реализации структуры и критериев отказов.

Так как структурная надежность закладывается на ранних этапах проектирования для минимизации риска возвращения к этим этапам необходимо проводить сравнение различных вариантов реализации реконфигураций и резервирования. Критерием выбора с точки зрения обеспечения надежности являются значения показателей безотказности, поэтому важно получить среднее значение ожидаемой структурной надежности, однако существующие методы и средства расчета не позволяют в сжатые сроки провести расчеты различных вариантов реализации структуры с точностью приемлемой для их сравнения.

В литературе неоднократно рассматривается применение метода имитационного моделирования, однако на практике он редко применяется из-за отсутствия подходящих инструментов [2, 3], позволяющих упростить создание и верификацию моделей. Это основная причина малого распространения этого метода, не смотря на то, что он имеет ряд преимуществ: он позволяет использовать произвольные законы распределения отказов и восстановлений и моделировать весь алгоритм функционирования и реконфигураций, то есть более точно оценивать структурную надежность [4].

Для решения этой задачи было реализовано специализированное программное обеспечение, которое реализовано в виде системы АСОНИКА-К-РЭС программного комплекса АСОНИКА-К [5]. За основу был взят метод имитационного моделирования и разработаны унифицированные модели для описания компонентов РЭА и модель объединяющая отдельные компоненты в структурно-сложное изделие. Модель компонента определяет реализацию времени до отказа на основе известных законов распределения наработок на отказ. В модели реализована возможность изменения законов распределения наработок на отказ и перенос времени функционирования между различными распределениями через процентное соотношение (рис. 1).

Множество компонентов объединяется в структуру РЭА через критерии отказов и действия реконфигурации, для их формального задания был разработан специализированный язык моделирования. Его основными конструкциями являются описание законов распределения, компонентов РЭА, процедуры по вычислению состояния РЭА и условные операторы для определения действий реконфигурации.

В условие события реконфигурации и критерий отказа можно использовать стандартный набор логико-математических операций как над состояниями компонента так и над переменными, локальными и глобальными, что позволяет учитывать как текущее состояние модели, так и историю возникавших в ходе моделирования событий.

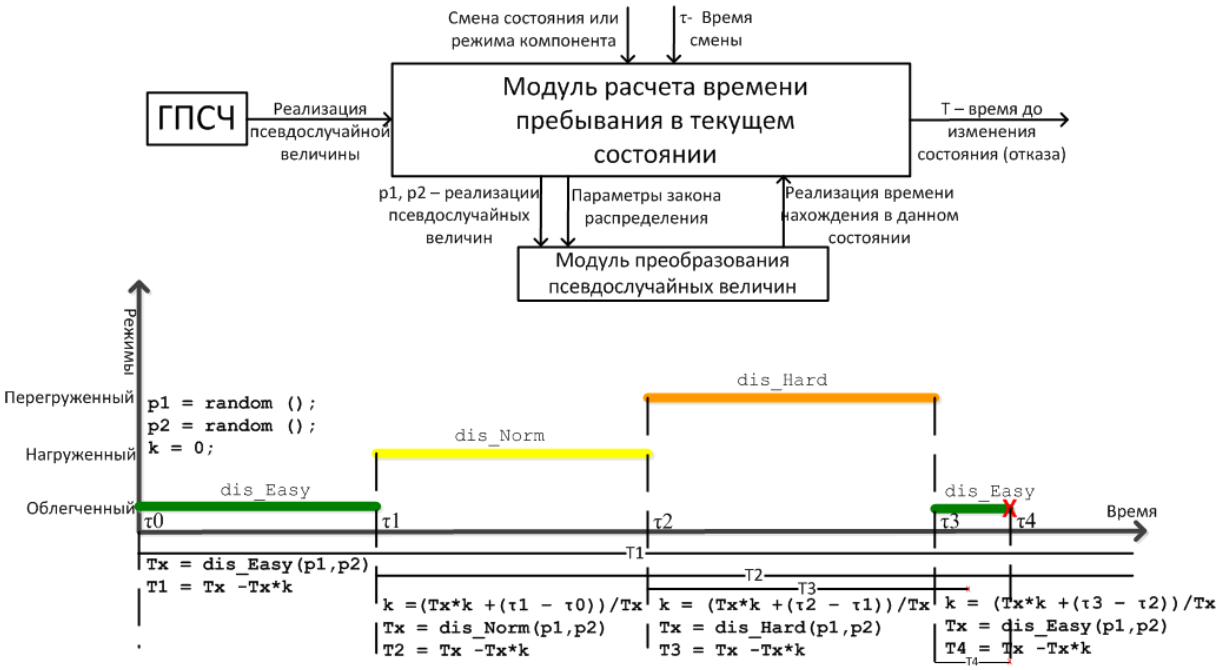


Рис.1. Модель компонента РЭА

Схематично способ определения состояния РЭА средствами предлагаемого языка представлен на рис. 2, где проиллюстрирован возможный состав логико-арифметических операций, предоставляющий широкие возможности для вычисления. Такая реализация позволяет записать в модели сложные критерии отказов и провести автоматизированное преобразование формальной модели в программную. Аналогичным способом задаются условия и действия реконфигурации.



Рис. 2. Формальная запись вычисления состояния РЭА

Для работы с формальными моделями разрабатывается программное средство, основными модулями которого является компилятор формальной модели, блок верификации и блок выполнения имитационных экспериментов.

В соответствии с принятой практикой имитационного моделирования необходимо перед началом имитационного эксперимента провести верификацию модели на соответствие описанию РЭА. Для верификации модели в ПС предусмотрена и возможность проведения управляемого эксперимента. В этом случае пользователь сам определяет последовательность отказов компонентов и контролирует состояние модели после каждого отказа. В случае несоответствия реакции модели описанию работы поиск ошибки можно осуществить при помощи анализа лог-файла выполнения шага эксперимента, в котором содержится информация о том, какие условия каких событий реконфигурации были выполнены и какие именно действия с компонентами модели ими были проведены.

Для работы с предложенными моделями и программными средствами разработана инженерная методика оценки надежности бортовой реконфигурируемой РЭА. В ее основу лег метод имитационного моделирования отказов, способ создания формальной модели реконфигурируемых РЭА и программное средство имитационного моделирования отказов. Методика представлена в виде на IDEF0-диаграммы на рис. 3.

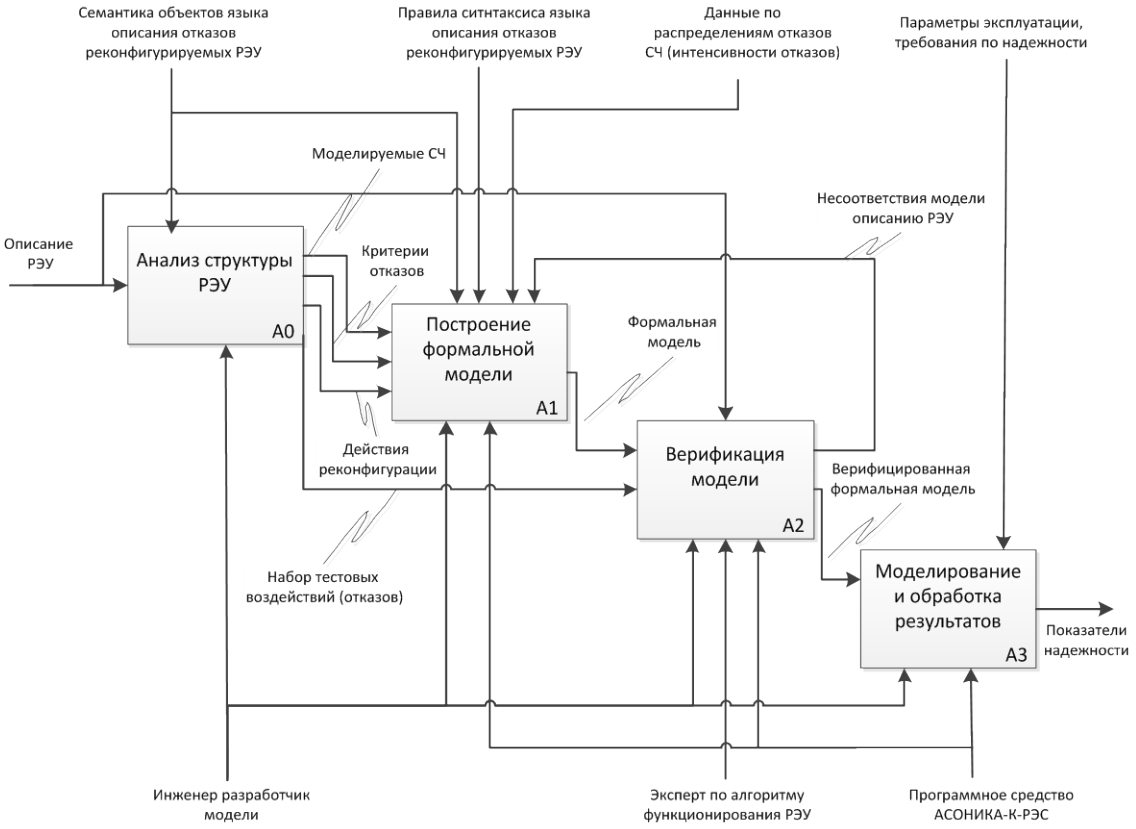


Рис. 3. IDEF0-модель процесса оценки надежности реконфигурируемой бортовой РЭА

С соответствии с методикой исходными данными для оценки надежности реконфигурируемой РЭА является описание алгоритмов функционирования и реконфигурации и данные по интенсивностям отказов СЧ. На основе из анализа формируются данные необходимые для построения формальной модели, это списки моделируемых СЧ, списки вводимых групп СЧ, критерии отказов для каждой группы и РЭА в целом, а также действия реконфигурации в формате «условие-действие». На

основе этого создается формальная модель РЭА, которая преобразуется в программную и подвергается верификации.

Верификация производится с использованием программного модуля управляемых экспериментов и представляет собой проверку различных сценариев отказов в составе РЭА, на каждый из которых модель должна среагировать в соответствии с описанием. При обнаружении несоответствия производится коррекция формальной модели и повторная верификация. После верификации переходят непосредственно к моделированию, результатом которого являются статистические данные по реализациям отказов РЭА и статистика по группам СЧ, по которой можно определить какие группы являются проблемными в составе РЭА с точки зрения надежности и какие наоборот обладают избыточной надежностью.

Экспериментальная проверка разработанных метода, моделей, алгоритма моделирования и программно-методических средств проводилась в два этапа. На первом проводилось моделирование стандартных структур, для которых известны точные аналитические формулы для оценки ВБР. По результатам моделирования были получены значения с ошибкой на уровне 1-3% относительно точных аналитических моделей [6], обусловленной погрешностью конечного числа экспериментов. На втором этапе проводился расчет показателей надежности сложных реконфигурируемых бортовых РЭА, одним из которых был БИВК. При этом для верификации моделей привлекались специалисты с предприятий-разработчиков РЭА, которые экспертно подтверждали соответствие модели алгоритму функционирования. Во всех случаях результаты моделирования давали ожидаемые результаты, которые можно считать ближе к истинным, в сравнении с аналитическими моделями, в которые заведомо были внесены допущения, приводящие к занижению показателей надежности [7, 8]. При этом разница в оценке надежности предложенным методом и аналитическими моделями достигала 15%.

Литература

1. Жаднов, В.В. Особенности конструирования бортовой космической аппаратуры: учеб. пособие. / В.В. Жаднов, Н.К. Юрков. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. - 112 с.

2. Половко, А.М. Основы теории надежности. / А.М. Половко, С.В. Гуров - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. - 704 с.

3. Ушаков, И.А. Надежность: прошлое, настоящее, будущее. Обзор. / И.А. Ушаков. // Методы менеджмента качества. - № 6. - 2001.

4. Строганов, А. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем. / А. Строганов, В. Жаднов, С. Полесский. // Компоненты и технологии. - 2007. - № 5. - с. 74-81.

5. Абрамешин, А.Е. Информационная технология обеспечения надежности 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.

6. Жаднов, В.В. Имитационное моделирование в задачах оценки надежности отказоустойчивых электронных средств. / В.В. Жаднов, А.Н. Тихменев. // Надежность. - 2013. - № 1.

7. Жаднов, В.В. Прогнозирование надежности структурно-сложных радиоэлектронных средств методами имитационного моделирования. / В.В. Жаднов, А.Н. Тихменев. // Качество. Инновации. Образование. - 2013. - № 3.

8. Жаднов В.В., Полесский С.Н., Тихменев А.Н. Современные подходы к исследованию безотказности электронных средств циклического применения. /

Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. // Под ред. Н.К. Юркова. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. - 1 т. - с. 70-74.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВПРЫСКОМ ДЛЯ ОДНОЦИЛИНДРОВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Золин М.В., Палагута К.А., Тройков С.М.
Москва, федеральное государственное образовательное учреждения высшего и профессионального образования «Московский государственный индустриальный университет» (ФГБОУ ВПО «МГИУ»)

В статье рассматривается способ повышения экономичности работы одноцилиндрового бензинового двигателя путём пропуска фазы впрыска в режимах частичной нагрузки.

The experimental controlling system of injection for single-cylinder gasoline engine. Zolin M.V., Palaguta K.A., Troykov S.M.

In the article the way to improve the fuel economy of the single-cylinder gasoline engine by skipping the injection phase at partial load.

По традиции все параметры автомобильного двигателя считаются для максимальной мощности. Но практике автомобильный двигатель, особенно в городских условиях, использует максимальную мощность примерно в 5% времени эксплуатации, а в основное время нагрузка равняется 20% мощности.

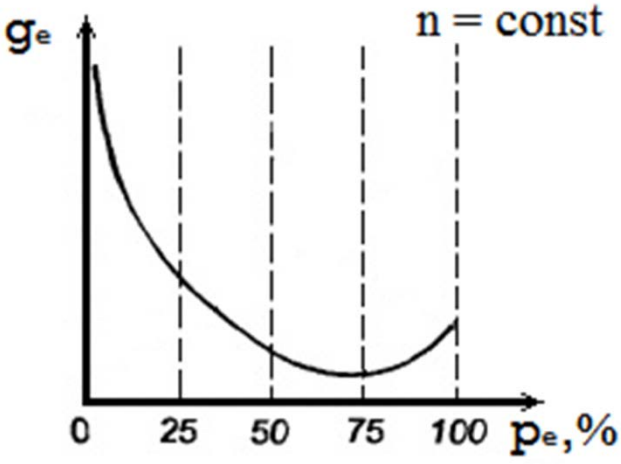


Рис. 1 Нагрузочная характеристика бензинового ДВС

На рис. 1 представлена нагрузочная характеристика бензинового двигателя внутреннего сгорания (график зависимости расхода топлива бензинового двигателя от его мощности при постоянном количестве оборотов). Из графика видно, что 95% времени двигатель потребляет намного большее количество топлива, чем заявленный расход.

Данный факт привел к идее искусственного снижения мощности двигателя. Так появился метод «Отключения цилиндров». В многоцилиндровом двигателе производится отключение некоторого количества цилиндров. Во время отключения поршень в цилиндре создает дополнительную нагрузку на коленчатый вал и максимальная мощность двигателя уменьшается. Эта теория появилась в нескольких

странах с небольшим временным разрывом, и сразу же стала воплощаться в жизнь. Данная разработка преследует цель создать систему, позволяющую «отключать» цилиндр двигателя с помощью ограничения подачи топливной смеси. Техническое задание было разработано кафедрой «Автомобили и двигатели» Московского государственного индустриального университета (ФГБОУ ВПО МГИУ), где планируется использовать данную систему для исследования работы одноцилиндровых двигателей при заданном алгоритме выключения цилиндра и регулировки количества топлива, поступающего в камеру сгорания.

Реализация проекта осуществляется сотрудниками и выпускниками кафедры «Автоматика, информатика и системы управления».

Основными требованиями к экспериментальной системе являются:

- Возможность регулировать время работы форсунки
- Возможность регулировать частоту срабатывания форсунки
- Возможность получать информацию о текущей частоте вращения вала двигателя
- Минимальное количество компонентов – это требование обусловлено облегчением ремонта или замены элементов системы
- Простота в настройке и эксплуатации

На основе этих требований была разработана структурная схема, представленная на рис.2.



Рис. 2 Структурная схема экспериментальной системы

Объектом управления данной системы является четырёхтактный одноцилиндровый двигатель. На вал двигателя устанавливается диск, частота вращения которого измеряется датчиком Холла, а также определяется положение коленчатого вала в данный момент. Сигнал с датчика поступает на микроконтроллер, который, используя эту информацию а также данные, полученные с задатчиков режимов работы, посылает управляющий сигнал на открытие форсунки. На дисплей выводится текущая частота вращения коленчатого вала.

Для получения информации о положении коленчатого вала используем датчик Холла TLE4905 фирмы Infineon Technologies (рис.3).



Рис. 3 Датчик Холла TLE4905

Для вывода информации о текущей частоте вращения коленчатого вала используем знакосинтезирующий жидкокристолический индикатор (ЖКИ) МТ – 10S1 фирмы МЭЛТ (рис.4).



Рис. 4 ЖКИ МТ-10S1

Модуль позволяет отображать 10 символов в одной строке при матрице символа 5x8 и курсор. Между символами имеются интервалы шириной в одну отображаемую точку. Управление производится по 4-х или 8-ми битным интерфейсам. Дисплей имеет встроенное ОЗУ, ПЗУ для хранения таблицы встроенного знакогенератора и 8-ми пользовательских символов.

В качестве каждого из устройств ввода используется комбинация из галетного переключателя и шифратора К555ИВ1. При подаче сигнала на галетный переключатель он направляет сигнал на один из восьми выходов. Сигнал попадает в шифратор, где номер входа преобразуется в двоичный код.

Управление двигателем осуществляется посредством изменения двух параметров – кратности срабатывания форсунки (цикл) и времени её включения. Комбинации этих величин устанавливаются с помощью галетных переключателей. Для начала работы с системой необходимо установить переключатель тактов в единичное положение. Положение переключателя времени выбирается экспериментально. Далее следует произвести запуск двигателя и подождать, пока его частота оборотов коленчатого вала не установится. Её значение можно наблюдать на экране ЖКИ.

Для выключения системы достаточно перевести хотя бы один из переключателей в нулевое положение.

На рис. 5 представлена электрическая схема экспериментальной системы. Питание на схему подается с источника 12 В. Микросхема L78L05 стабилизирует напряжения до 5В с выходным током до 100 мА, что является достаточным для питания всей подключаемой электроники. Источник также подключен к электронному ключу для коммутации форсунки. Для подключения дисплея используются семь битов

порта B. Данное подключение универсально для большинства дисплеев, что позволяет легко заменить ЖКИ без каких-либо дополнительных работ. Выходы шифраторов подключаются к младшим битам портов A и C, что упрощает обработку данных микроконтроллером. Галетные переключатели установлены на схеме в нулевое положение.

Графическое изображение алгоритма программы управления системой показано на рис. 6. Управление системой осуществляется недорогим и простым в программировании микроконтроллером AVR ATmega8535.

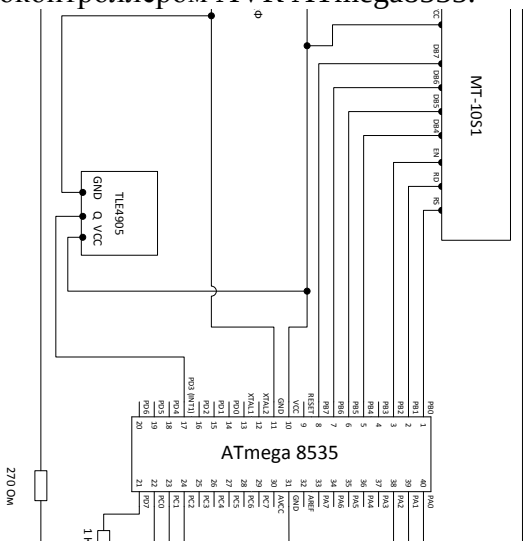


Рис. 5 Электрическая схема экспериментальной системы

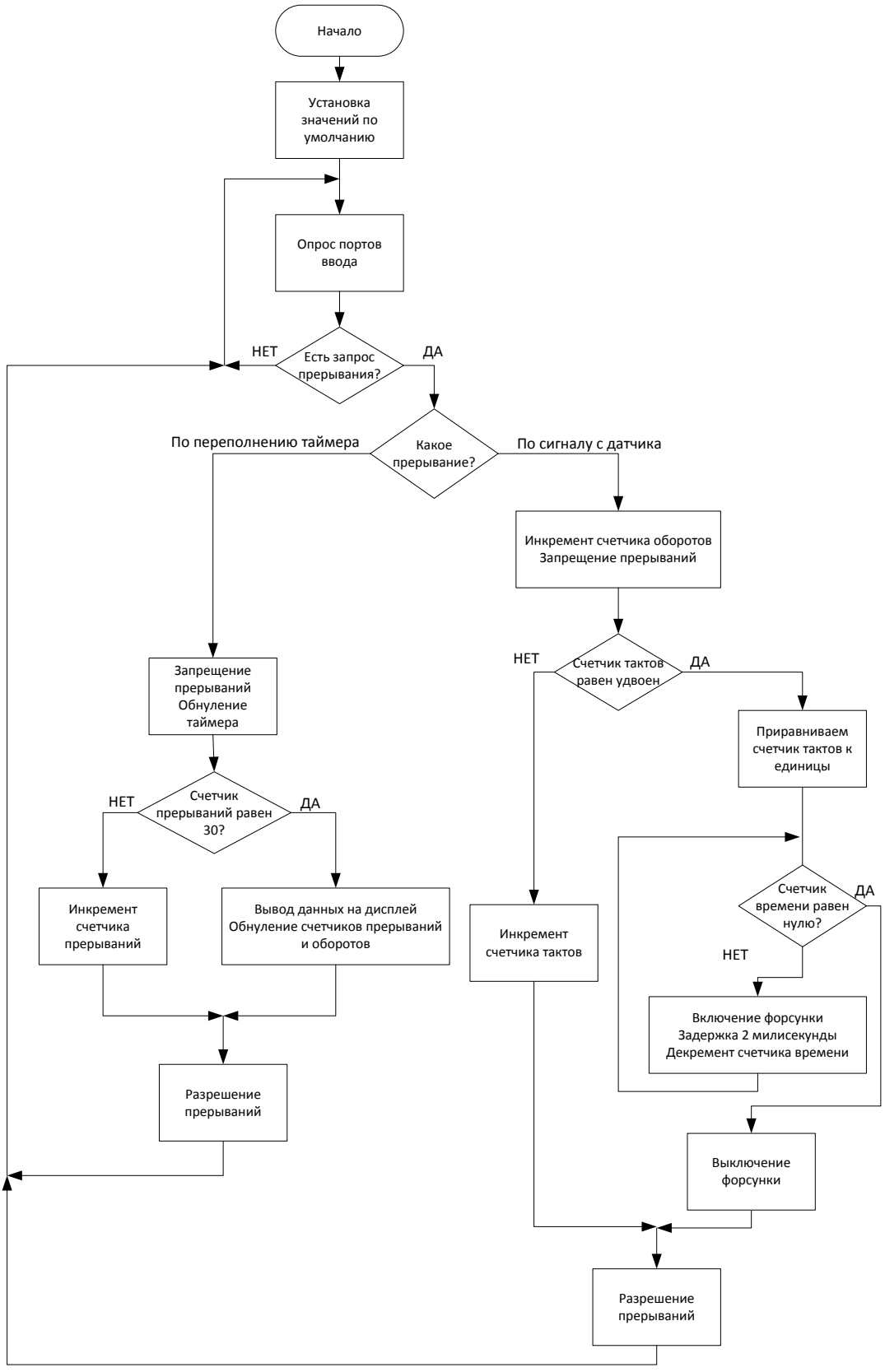


Рис. 6 Алгоритм работы системы

Литература

1. Пограммирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров./ Сост. Ю.А. Шпак – К.: «МК ПРЕСС», 2006.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов./ Сост. В.Н.Луканин, М.Г.Шатров - М: «ВЫСШАЯ ШКОЛА», 2005.

СВЯЗЬ ВАЖНОСТИ ПРОЕКТА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И МЕТРИКИ РЕПОЗИТОРИЯ

Укустов С.С.
Волгоград,Волгоградский государственный технический университет

В статье рассматривается взаимосвязь метрик репозитория программного кода и важности готового программного продукта на примере социальной сети разработчиков ПО ГитХаб. Демонстрируется наличие двух моделей при разработке ПО.

The relationship of software development project influence and its repository metrics. Ukustov S.S.

The paper discusses a relationship of a source code repository metrics and an importance of a finished software product on the example of a software development social network GitHub. Demonstrated that there are two models for open source software development.

Социальные сети как один из важнейших классов сетей давно привлекает к себе внимание. Широкое распространение интернета породило взрывной рост доступных данных, в том числе сетевых, для анализа. Наряду с часто применяемой коллаборативной фильтрацией, анализ подобных данных может помочь при обнаружении экспертов [1]. В зависимости от масштаба доступных данных обнаружение может осуществляться как в пределах одной компании, так и на глобальном уровне. Очевидным применением является рекрутинг, в том числе внутренний [2]. Менее очевидно использование технологии в службе технической поддержки (вопрос клиента сразу передаётся сотруднику, способному в нём разобраться) и службе взаимоотношения с клиентами (обнаружение клиентов-экспертов с целью предоставления особых привилегий).

Сфокусируемся на проблеме поиска экспертов в области разработки программного обеспечения. В этой сфере рекрутинг представляет собой особую проблему ввиду величины отрасли. Благодаря распространению открытого программного обеспечения, его благоприятному принятию в индустрии, становится возможным автоматически определять наиболее значимых программистов.

Разработка программного обеспечения с нашей точки зрения осуществляется следующим образом. Для продукта создаётся репозиторий (хранилище) исходного кода, из которого с разной степенью автоматизации создаётся готовый для распространения и употребления продукт. В исходный код программисты вносят изменения так называемыми «коммитами». Каждый коммит является атомарным объединением изменений в нескольких файлах с исходным кодом сразу. Для разработки в новом направлении или сохранения текущего статуса репозитория разработчик может создать свою собственную копию репозитория, так называемый «форк».

На схеме (рис.1) приведена схема типичного процесса разработки. Дополнительно цветом выделено отношение владения над репозиторием.

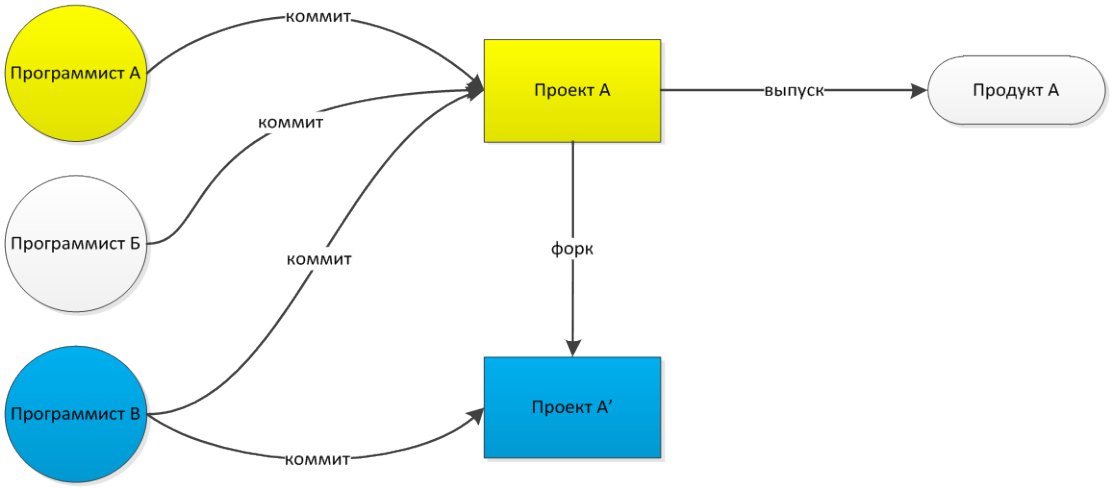


Рисунок 1 – Схема процесса разработки.

Это означает, что весь поток событий, связанных с репозиторием, в том числе о коммитах и сообщениях об ошибках, направляется владельцу репозитория. Стрелкой с надписью «форк» показано, что проект А' является форком проекта А, то есть его независимой копией.

Выделение экспертов родственно проблеме выявления распределения доверия и влияния и, шире, является проблемой распространения информации в сети.

Фокусируясь на свободном программном обеспечении, обратив внимание на крупнейший ресурс хранения репозиториев – Гитхаб [3]. В дополнение к схеме ресурс предоставляет механизм наблюдения за разработчиками и репозиториями. Так, программист А, заинтересованный работой его коллеги Б, может получать обновления о всех событиях в системе, в которых задействован Б. То же справедливо для заинтересованности в репозиториях. Таким образом, схема разработки принимает вид (рис.2).

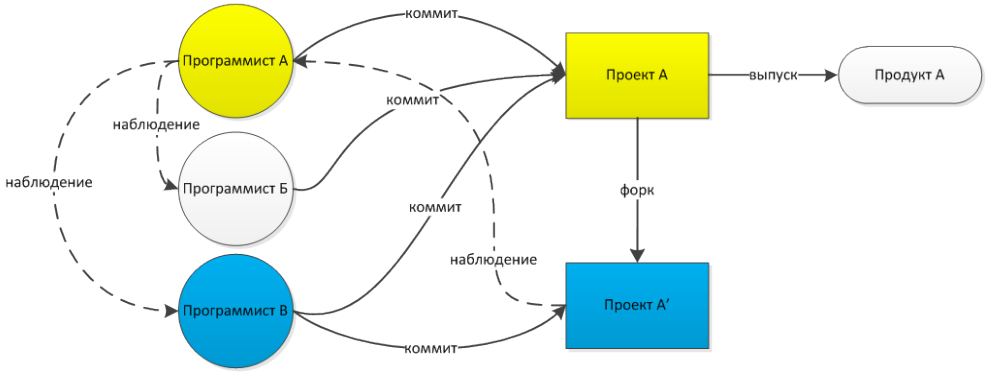


Рисунок 2 – Схема разработки ПО.

Экспертное влияние распространяется с общим потоком информации. Поэтому экспертное влияние разработчика зависит от его наблюдателей и обладаемых репозиториев:

$$\mathbf{inf}(dev) = \mathbf{inf}(repos_{own}, watchers) \quad (1)$$

Экспертное влияние репозитория в свою очередь зависит от наблюдателей, форков и коммитов:

$$\mathbf{inf}(repo) = \mathbf{inf}(commits, forks, repos_{own}) \quad (2)$$

В рамках Гитхаба изменения вносятся коммитами в основной репозиторий проекта А, что позволено только владельцам репозитория, или в собственный репозиторий, являющийся форком А. Отсюда по экспертному влиянию репозитория выводится экспертное влияние разработчика, вносящего вклад в развитие продукта, но при этом не являющегося его владельцем.

Число форков и фолловеров для репозитория является публично доступной информацией. Как только данный репозиторий тем или иным путём получает большое число фолловеров и форков, эти числа становятся в некотором роде мерой популярности и «успеха» проекта.

В экосистеме, сложившейся вокруг языка программирования Руби (Ruby, «рубин» в переводе на русский), готовые к использованию библиотеки и пакеты исполнимых программ распространяются в виде так называемых гемов (gem, «камень»). Гем обычно содержит набор файлов библиотек, исполнимых файлов и метаданные. Последние включают в себя такие сведения, как зависимости времени исполнения, времени разработки, список авторов и контрибьюторов, лицензию, адреса домашней страницы проекта и/или репозитория исходного кода проекта.

Рубигемс (rubygems.org) – это центральное хранилище для всех публично доступных гемов. Ресурс можно использовать для поиска подходящих гемов, просмотра зависимостей, авторов или перехода на ресурс с документацией к гему. Рубигемс публично предоставляет данные по общему числу скачиваний гема, по каждой версии и суммарно.

В сложившейся практике гемы, являющиеся зависимостями данного проекта, скачиваются с Рубигемс автоматически, так что число скачиваний можно считать мерой реальной популярности и уровня полезности гема. В самом деле, как показано в таблице 1, десять наиболее скачиваемых гемов также являются и одними из самых важных в экосистеме языка Руби.

Таблица 1. 10 проектов с наибольшим значением метрик

Скачивания	Коммиты	Форки	Фолловеры
rack/rack	rails/rails	rails/rails	rails/rails
rails/rails	AndyObtiva/glimmer	mojombo/jekyll	plataformatec/devise
svenfuchs/i18n	rhomobile/rhodes	spree/spree	mojombo/jekyll
brynary/rack-test	resolve/refinerycms	Shopify/active_mercha	thoughtbot/paperclip
cjheath/polyglot	spree/spree	nt	justinfrench/formtastic
josh/rack-mount	HeSYINUvSBZfxqA/	thoughtbot/paperclip	defunkt/resque
tenderlove/nokogiri	microwave	plataformatec/devise	binarylogic/authlogic
intridea/multi_json	wayneeseguin/rvm	resolve/refinerycms	sinatra/sinatra
rdoc/rdoc	danlucraft/redcar	sferik/rails_admin	chriseppstein/compass
rtomayko/tilt	mongoid/mongoid	mongoid/mongoid	mislav/will_paginate
		gregbell/active_admin	

Авторам интересны числа фолловеров, форков и скачиваний по каждому проекту. Первые два набора доступны на ГитХабе, последний можно взять из данных Рубигемс. На первом шаге происходит выделение тех гемов, исходный код которых размещён на ГитХабе. Второй шаг состоит в объединении числа фолловеров и форков с ГитХаба и числа скачиваний с Рубигемс. Наконец, эти наборы анализируются.

При изучении влияния на основе данных Твиттера [4,5,6] в качестве меры «действительного» влияния берут данные по CTR ссылок, указанных в сообщениях. Аналогично в данной работе мерой «действительного» влияния является число скачиваний проекта по данным Рубигемс. Чем больше раз гем скачали, тем более

нужным, важным, влиятельным является проект. Число форков и фолловеров показывает ожидаемое влияние, в соответствие со здравым смыслом, как изложено выше.

Таким образом, набор данных содержит информацию о том, как много фолловеров, форков и скачиваний имеет данный репозиторий. Авторы исследуют возможные корреляции между переменными, используя коэффициент корреляции Спирмена:

$$\rho = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

Здесь x_i , y_i – объекты соответствующих выборок, $\bar{x}$, $\bar{y}$ – соответствующие средние.

Для целей демонстрации авторы вычислили коэффициенты корреляции для всей имеющейся выборки, 10 % и 1 % самых скачиваемых проектов.

Среди всех 35741 гемов на 23-е марта 2012 г., 19791 имеют действительные репозитории на ГитХабе. Собранные числовые значения имеют большой разброс (таб. 2):

Таблица 2. Разброс значений исследуемых величин

	Скачивания	Фолловеры	Форки
Минимум	8	-2*	0
Максимум	11195071	13335	2949

*Значение -2, вероятно вызвано ошибкой в системе. Это значение доступно до сих пор для репозитория https://github.com/sonian/carrot

Основные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции

	Все	Верхние 10%	Верхний 1%
скачивания/фолловеры	0.474	0.427	0.220
скачивания/форки	0.444	0.447	0.223
скачивания/коммиты	0.486	0.307	0.183
фолловеры/форки	0.751	0.898	0.902
фолловеры/коммиты	0.436	0.401	0.631
форки/коммиты	0.346	0.395	0.743

Использовался коэффициент корреляции Спирмена, позволяющий сравнивать ряды с ненормальным распределеним. Авторы должны обратить внимание на сильную корреляцию в паре фолловеры/форки. Явление связано с тем, что каждый раз, когда разработчик делает форк, ГитХаб помечает его фолловером оригинального репозитория. Обоснование этому: разработчик форка должен оставаться в курсе событий, происходящих с оригинальным репозиторием.

Наблюдается корреляция средней силы между фолловерами, форками и числом скачиваний для общей выборки, что поддерживает предположение здравого смысла: чем больше фолловеров и форков, тем лучше. Однако, как только проект становится в самом деле влиятельным эти метрики теряют смысл. Как показывают коэффициенты корреляции для пар фолловеры/коммиты и форки/коммиты, с ростом влияния происходит качественное изменение аудитории репозитория на ГитХабе.

Это изменение может быть связано с различными моделями разработки, а именно кафедральной и базарной [8]. Для большинства проектов относительно малая пользовательская база некоторым образом компенсируется вовлечением пользователей, одновременно являющихся разработчиками – так называемый базар. Вовлечение, тем не менее, недостаточно велико для того, чтобы вносить значительные положительные изменения в проект, что демонстрируют коэффициенты корреляции для пар фолловеры/коммиты и форки/коммиты. В этом случае сделать форк или стать фолловером – пассивные действия, не подразумевающие дальнейшего приложения сил.

Более влиятельные проекты имеют несколько меньшее вовлечение пользователей, как показывают небольшие коэффициенты корреляции для первых трех пар в таблице 4. Тем не менее, существует активное ядро разработчиков, вносящих изменения в проект. Это то, что можно было бы назвать кафедральной моделью разработки. Ядро значительно отличается от случайных контрибьюторов в базарной модели тем, что их намерения делать вклад в проект постоянны.

В данной работе авторы сделали анализ метрик, доступных для репозитория на ГитХабе, и сравнили их с числом скачиваний готовых к использованию пакетов. Рассмотренные метрики могут быть использованы для не слишком популярных проектов, но они не связаны напрямую с влиянием. Число фолловеров и форков может быть важным для проекта на ранней стадии развития, но для больших, устойчивых проектов эти числа не имеют особого значения. Подобная разница может быть отнесена на счёт различных моделей разработки, а именно кафедральной и базарной моделей. Существующие данные показывают, что большие, влиятельные проекты используют кафедральную модель.

Схема может быть использована в неизменном виде для индивидуального [9] подбора персонала в компании, занимающиеся разработкой программного обеспечения. С минимальными изменениями её можно применить для внутреннего рекрутинга, в том числе с формированием проектных команд [10,11] в больших организациях, специализирующихся на разработке ПО.

Выполнено при поддержке гранта РФФИ № 12-07-00760-а.

Литература

1. Bonchi F. Social network analysis and mining for business applications / Bonchi F., Castillo C., Jaimes A. // ACM Trans. Intell. Syst. Technol. 2011. Т. 2, №3, С. 1–37.

2. Кравец А.Г. Теория согласованного управления региональными ресурсами рынка труда и качеством подготовки специалистов: основные положения / Кравец А.Г.// Известия Волгоградского государственного технического университета : межвуз. сб. науч. ст. № 1/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 86-89.

3. Github – Social Coding [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.github.com, свободный. – Загл. с экрана.

4. Romero, D. M., Galuba, W., Asur, S., Huberman, B. A.: Influence and Passivity in Social Media. Information Systems (August 2010).

5. Bakshy, E., Hofman, J., Mason, W., Watts, D.: Identifying ”Influencers” on Twitter. kdpaine.blogs.com

6. Wu, S., Hofman, J., Mason, W., Watts, D.: Who says what to whom on twitter. In: Proceedings of the 20th international conference on World wide web, ACM (2011) 705–714

7. Clauset, A., Shalizi, C.R., Newman, M.E.J.: Power-law distributions in empirical data. SIAM Review 51(4) (June 2007) 43

8. Raymond, E.S.: The Cathedral and the Bazaar. O'Reilly Media (1999)
9. Обухов А.С. Автоматизация управления уровнем профессиональных компетенций специалистов на предприятии. / Обухов А.С., Кравец А.Г. // Программные продукты и системы. 2008. № 2. С. 85-87.
10. Укустов С. С. Интеллектуальный подход к проблеме формирования проектной команды с учётом производительности и кооперативного эффекта / С. С. Укустов, А. Г. Кравец // Открытое образование. – 2011.- № 3. – С. 92-95.1.
11. Укустов С. С. Подход к решению задачи идентификации влиятельных разработчиков в социальной сети ГитХаб / Укустов С. С., Кравец А. Г. // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2012. — №15. — С.61-66.

ПОДХОД К ОЦЕНКИ РИСКОВ ПОДСИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

Усцелемов В.Н.
Москва, МЭСИ

Рассмотрены существующие подходы к обеспечению информационной безопасности за счет проведения оценки информационных рисков. Показаны недостатки используемых методик для решения задачи адаптивного управления информационной безопасностью, и предложена новая модель оценки информационных рисков на основе прецедентов.

Approach to risk assessment of information security subsystem based on precedents. Ustselemov V.N. Moscow, MESI

The existing approaches to information security by assessing information risks. The drawbacks of the methods used to solve the problem of adaptive security management and a new model for evaluating information risk based on precedents.

В современном мире информация рассматривается, как ресурс, способный, либо развить и усовершенствовать организацию, обладающую ей, либо способствовать ее деградации и разрушению. Следовательно, каждый руководитель государственной или частной кампании осознает важность и необходимость принятия мер по защите циркулирующей в его кампании информации. В результате организации защиты информации возникает ситуация, связанная с определением тех областей защиты, на которые требуется уделить внимание, так как сосредоточение средств защиты информации в узком направлении, без учета других возможных вариантов негативного воздействия на информацию, может повлечь за собой компрометацию информации. Таким образом, становится ясно, что к вопросу защиты информации необходимо подходить комплексно.

Под построением комплексной защиты информации, как правило, понимается организация выбора такого набора средств и методов защиты, которые позволяют защитить информационную систему от широкого спектра наиболее вероятных угроз.

Комплексная система защиты включает в себя набор механизмов защиты, реализованных в подсистемах:

- регистрации и учета;
- криптографической защиты;
- разграничения доступа;

- обеспечения целостности;
- аутентификации.

Существующие средства защиты информации можно разделить на следующие группы:

- средства позволяющие вводить разграничение прав доступа пользователей к информационному ресурсу;
- программы, задачей которых является борьба с вредоносным программным обеспечением;
- аппаратные и программные реализации контроля сетевой активности информационного объекта.

На основе приведенной статистики кампаний, занимающихся анализом и противодействием вредоносному программному обеспечению, представленной на рис. 1, можно сделать вывод, что прослеживается тенденция к ежегодному возрастанию количества атак на информационные ресурсы, не только на территории Российской Федерации, но и мира в целом. Требуются новые подходы и решения для борьбы с новыми, ежедневно модифицирующимися атаками на информационные ресурсы.

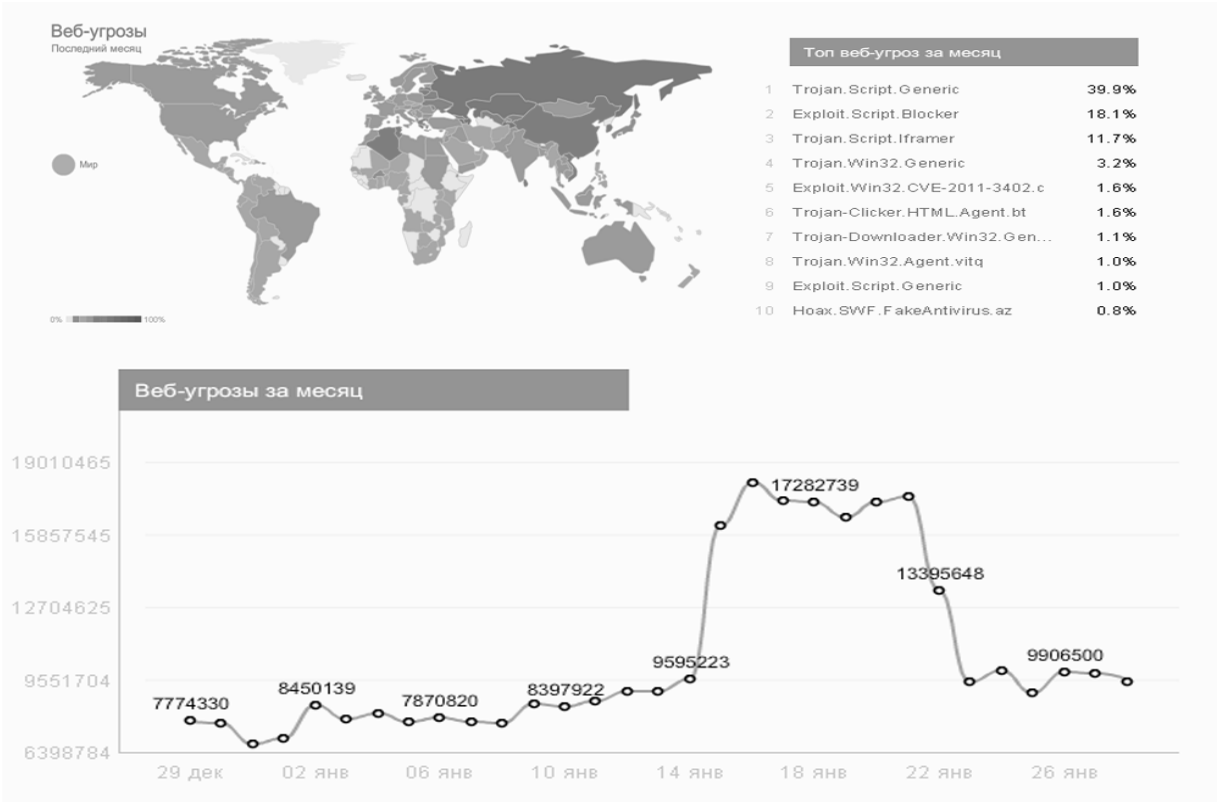


Рис. 1. График изменения количества веб-угроз за январь 2013 года с учетом территориального признака

Известно, что стоимость системы защиты должна быть меньше стоимости защищаемой информации, иначе такая система будет нерентабельной. Поэтому достаточно важной задачей является достоверная оценка информационных рисков. Анализ информационных рисков позволяет получить количественное или качественное описание значений возможных деструктивных воздействий, а так же определить набор эффективных контрмер [1].

При организации управления рисками возникает необходимость сравнения их между собой по степени важности. Для этого каждому риску необходимо поставить в

соответствие определенные количественные значения. Однако достаточно часто необходимо оценивать объекты, которые плохо формализованы. В этом случае, оценка рисков осуществляется с использованием качественных значений переменных, описывающих объект.

В настоящее время существует большое количество методик определения рисков, которые имеют незначительные отличия друг от друга. Рассмотрим наиболее часто используемые методики, которые являются ключевым звеном модифицированных подходов, родившихся в рамках частных кампаний. Условно их можно подразделить на следующие классы:

- качественные;
- количественные;
- смешанные.

Проведенный анализ показал, что наиболее востребованными подходами для оценки информационных рисков являются подходы представленные в табл. 1 [2, 3].

Таблица 1. Подходы оценки информационных рисков

№ п/п	Название подхода	Тип проводимой оценки	Достоинства	Недостатки
1	CRAMM	Смешанная	-возможность учета множества факторов; -подходит для организаций любого масштаба;	-необходима высокая степень квалификации аудитора; -невозможность применения для новых информационных систем; -трудоемкость реализации процесса аудита; -отсутствие функции модификации существующих шаблонов и расширения базы данных новыми.
2	RiskWatch	Количест-венная	-оценивает выгоду внедре-ния новых средств защиты; -генерирует отчеты и графики для модификации системы.	-не учитывает изменяющиеся организационные факторы; -не реализован комплексный подход в обеспечении информационной безопасности; -высокая стоимость лицензии (от 10 000 долларов за одно рабочее место).
3	ГРИФ	Количест-венная	-оценка остаточного риска; -простота реализации.	-отсутствие расширения требований политики безопасности; -отсутствие сравнительного анализа защищенности на разных этапах; - отсутствие привязки к бизнес - процессам.

Анализ существующих подходов для оценки информационных рисков показал, что для решения плохо формализованных и слабо структурированных задач в условиях ограниченности времени и ресурсов необходима разработка новых подходов для построения моделей оценки информационных рисков.

Показано, что одним из способов решения вышеизложенной задачи является построение модели оценки информационных рисков на основе прецедентов. При возникновении угрозы информационной безопасности системы производится поиск похожего прецедента. Каждому прецеденту соответствует описание состояния информационной системы в критической ситуации, связанной с невыполнением подсистемой защиты своих функций. Модель на основе значения степени близости проблемных ситуаций оценивает степень близости текущей проблемной ситуации к прецедентам и при необходимости выполняет его адаптацию.

Для повышения эффективности извлечения соответствующих прецедентов в базе данных обоснована целесообразность применения модифицированного метода «ближайшего соседа». В основе метода лежит измерение степени совпадения значений параметров, определяющих прецедент [4, 5]. Для повышения точности выбора прецедента за счет вычисления расстояния между прецедентом и текущей ситуацией обосновывается необходимость учета дополнительных параметров, таких как параметры приоритетности защищаемых ресурсов, а также ограничения на значения остаточного риска после реализации мер противодействия и затраты на вычислительные и финансовые ресурсы.

Таким образом, для поиска прецедента определяется расстояние *D* между текущей ситуацией и прецедентом из базы данных прецедентов:

$$D = f(P, A) \cdot W \cdot L \tag{1.1}$$

где: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - новый прецедент;

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – прецедент - аналог;

p_1 и a_1 - параметры соответствующих прецедентов;

f(P,A) - функция, определяющая близость значений параметров прецедентов (метрика);

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ — вектор весов параметров прецедента;

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ – вектор ограничений пула прецедентов, формируемый предпочтениями администратора системы.

Кроме того, вычисляется максимальное расстояние D_{max} между прецедентами, с использованием границ диапазонов параметров прецедентов:

$$D_{max} = f(P_{max}, P_{min}) \cdot W \cdot L, \tag{1.2}$$

где: $f(P_{max,}\, P_{min})$ - функция, определяющая близость значений свойств прецедентов, параметрами которой являются верхняя P_{max} и нижняя P_{min} границы значений свойств прецедента.

Затем вычисляется значение степени сходства $S(A, P) = 1 - D/D_{max}$ или в процентах $S(A, P) = (1 - D/D_{max}) \cdot 100\%$. В случае, когда присутствует несколько прецедентов, равноудаленных от текущей ситуации, вводится величина *K* - пороговое значение степени сходства *S(A, P)* прецедентов. В результате сравнения, выбирается не один единственный ближайший прецедент, а множество прецедентов, степень сходства которых удовлетворяет условию *S(A,P)>K.*

На рис. 2 представлена структурная схема подсистемы поддержки принятия решений, реализующая предлагаемую математическую модель.

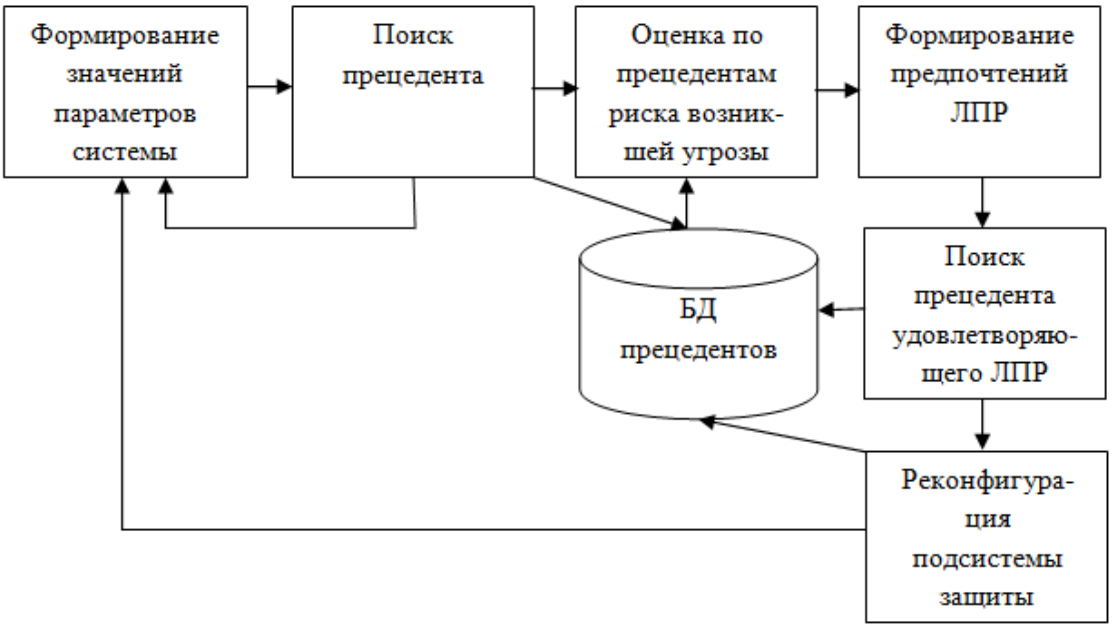


Рис. 2. Схема подсистемы поддержки принятий решений.

Основой предложенной структурной схемы является база данных прецедентов, которая формируется с использованием не только количественных значений параметров механизмов подсистемы защиты, но и качественных характеристик этих механизмов, которые описываются лингвистическими переменными. Это позволит выполнить более точную оценку степени близости возникшей ситуации прецеденту.

При этом, осуществляется выбор такой прецедентной ситуации, которой соответствует максимальное значение показателя степени риска для текущих параметров системы при ограничениях на выделяемые ресурсы и остаточный риск.

Использование сформулированных предложений позволит построить более точную модель для оценки рисков подсистемы информационной безопасности.

Литература

1.Беркетов Г.А., Микрюков А.А., Федосеев С.В. Оптимизация периода смены параметров механизмов защиты информации в АИС. Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве», Протвино, 2012, 2 том, стр. 246-248.

2.Петренко С.А. Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность / С.А. Петренко, СВ. Симонов — М.: Компания Аи Ти; ДМК Пресс; 2004. 384 с.

3.Симонов С.В. Современные технологии анализа рисков в информационных системах / С.В. Симонов // PCweek. 2001. №37. С. 14-15.

4.Варшавский П.Р. Реализация метода правдоподобных рассуждений на основе прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Труды 10 национальной конференции по ИИ с международным участием КИИ-2006. В 3-х т. - М.: Физматлит., 2006. - Т. 1. - С. 303 - 311.

5.Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Новости Искусственного Интеллекта. — 2006. - No 3. - С. 39 – 62.

ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРКИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ОАО «КАМАЗ»

Фатхуллин Р.Р.
Набережные Челны, Казанский (приволжский) федеральный университет

Проведен анализ и исследование процессов сборки грузовых автомобилей ОАО «КАМАЗ» путем использования средств имитационного моделирования Anylogic. Описываются этапы построения карты потока создания ценности, имитационной модели, проведения оптимизационного эксперимента и установления значений факторов, при которых общая прибыль достигает максимальной величины.

Improving operational efficiency truck assembly OJSC «KAMAZ». Fathullin R.

The analysis and study of assembly processes OJSC «KAMAZ» trucksthrough the use of simulation Anylogic. Describes the stages of mapping the value stream, a simulation model of the optimization experiment and establish the values of factors, in which the total profit reaches the maximum value.

Повышение эффективности бизнеса - одна из основных целей любой компании. Новое время, характеризующееся кризисными явлениями, растущей конкуренцией в мировой экономике, по-иному расставляет приоритеты на путях достижения этой цели. В этих условиях побеждает только тот, кто быстрее других реагирует на изменения в бизнесе и принимает более верные решения.

Среди наиболее важных задач, стоящих перед промышленными предприятиями в современных условиях, можно выделить следующие факторы, невыполнение которых, в конечном счете, приведут к удорожанию конечного продукта: снижение уровня потребления материальных запасов, сокращение неоправданных расходов, снижение времени выполнения операции, повышение качества продукции.

Для принятия грамотного управленческого решения в процессе решения этих задач, предприятию необходимо постоянно держать под контролем различные аспекты финансово-хозяйственной деятельности, будь то торговля, производство или предоставление каких-либо услуг. Поэтому современный подход к управлению предполагает вложение средств в информационные системы. Именно информационные системы помогают руководителям промышленных предприятий в решении этих сложных задач.

В данной статье рассмотрен пример применения информационной системы для повышения эффективности сборки грузовых автомобилей ОАО «КАМАЗ». В качестве интеллектуальной подсистемы информационной системы была использована имитационная модель, реализованная с использованием пакета имитационного моделирования – Anylogic. При разработке модели применялся дискретно-событийный подход, в котором функционирование системы представляется как хронологическая последовательность событий.

Современные технические и технологические объекты характеризуются большим числом элементов, множеством связей, значительным объемом перерабатываемой информации. Для систем, состоящих из большого числа взаимосвязанных элементов, наиболее эффективно вначале выделить основные подсистемы и установить главные связи между ними, а затем уже переходить к детальному моделированию механизмов функционирования различных подсистем [1].

В результате анализа текущей ситуации и сбора статистической информации о параметрах функционирования сборочного производства была разработана карта потока создания ценности, которая представлена на карте материальных и информационных потоков. Карта материальных и информационных потоков включает следующие объекты: департамент управления производством, департамент закупок и логистики, общие склады, планово-диспетчерский отдел, прессово-рамный завод, завод двигателей, автомобильный завод, автосборочное и агрегатное производство, торгово-финансовую компанию, бизнес-процессы, время выполнения операции (рис. 1).

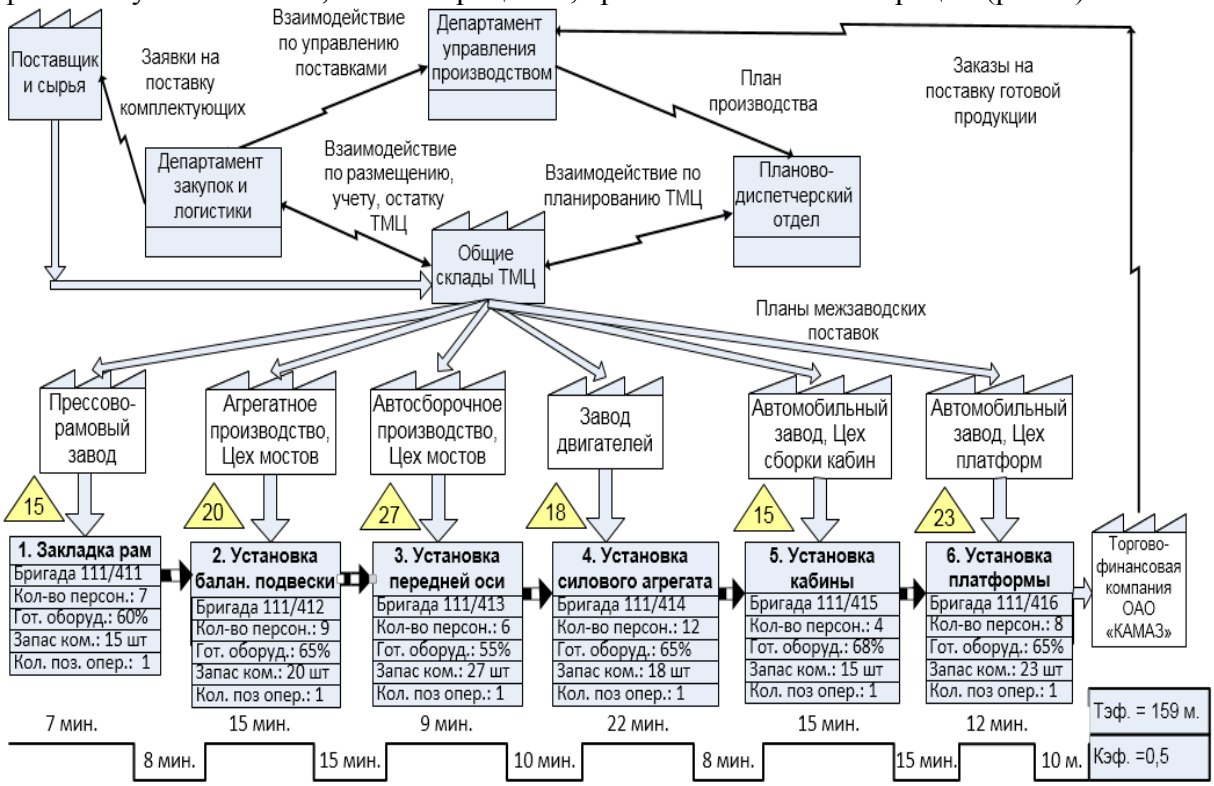


Рис. 1. Карта информационных и материальных потоков

Анализ текущего состояния процесса сборочного производства грузовых автомобилей на основе карты потока создания ценности, показывает, что в нынешнем состоянии процесс не эффективен, поскольку он характеризуется высоким уровнем запасов на складах, высокими трудозатратам на производство продукции, что приводит к необходимости организации сверхурочных работ, а также низким коэффициентом эффективности сборки.

При таком состоянии процессов предприятие не сможет собирать автомобили в срок, обозначенный клиентом, гибко реагировать на его потребности и, в конечном счете, это приведет к потере доверия клиента и падению уровня конкурентоспособности как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

Для оптимизации процесса сборки грузовых автомобилей необходима информационная система, в состав которой должны входить модули сбора и анализа информации о состоянии процессов [2]. В качестве интеллектуального ядра такой системы может использоваться имитационная модель, разработанная на основе карты потока создания ценности. В состав имитационной модели включены такие подпроцессы как установка рамы, балансирных подвесок, передней оси, силового агрегата, кабины, платформы.

Элементами разработанной имитационной модели являются следующие участки: закладки рам, установки подвески, передней оси, силового агрегата, кабины, платформы, пункт контроля. Такая модель позволяет исследовать влияние на характеристики процесса и прибыль предприятия: численности рабочего персонала, уровня страхового запаса, объема поставок (рис. 2).

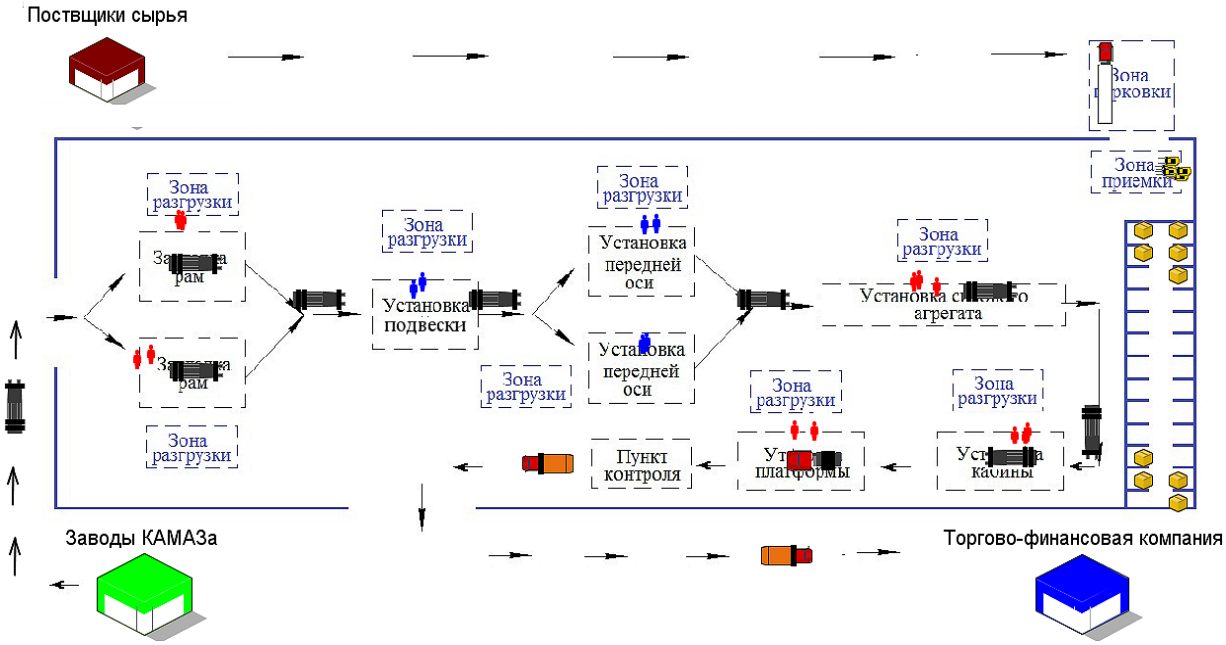


Рис. 2. Имитационная модель сборочного производства

Оптимизационный эксперимент на имитационной модели, позволяющий запускать модель с заданными значениями параметров, поддерживающий режимы виртуального и реального времени, позволяет выявить зависимости выходных параметров от различных факторов [3]. В ходе проведения оптимизационного эксперимента было установлено, при каких значениях вышеуказанных факторов средняя прибыль является наибольшей. Результаты оптимизационного эксперимента приведены на рис. 3.

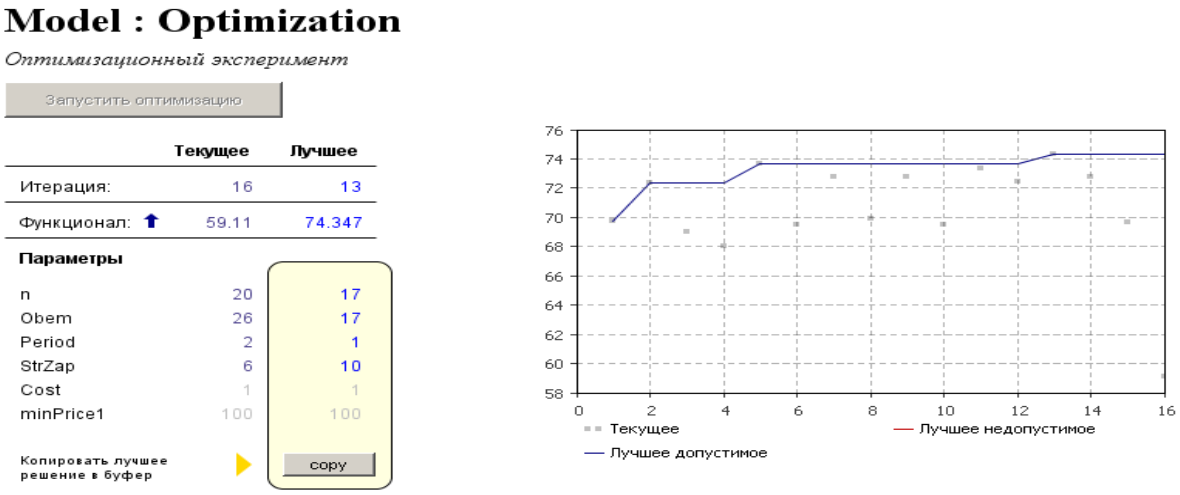


Рис. 3. Результаты оптимизационного эксперимента

Таким образом, применение указанной методики исследования позволяет увеличить среднюю прибыль предприятия и способствует повышению эффективности его деятельности.

Литература

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с Anylogic 5. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2006 г. – 325 с.

2. Большаков А.С. Моделирование в менеджменте. – М.: «Филинъ», 2000 г. – 464 стр.

3. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. – СПб.: «Питер», 2004 г. – 848 стр.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ НАСТРОЙКИ ИНСТРУМЕНТА

Филиппова Л.Б.
Брянск, БГТУ

Рассмотрены проблемы повышения точности при обработке на современном оборудовании с ЧПУ в машиностроительном производстве. Показаны недостатки традиционных подходов настройки инструмента, предложена автоматизированная система расчета коррекции на инструмент.

Automated complex for calculation error handling when using a system of active control setting. Filippova L.B.

The problems of increasing the accuracy of the processing on modern CNC equipment in the engineering industry. The drawbacks of traditional approaches, instrument settings, proposed an automated system for calculating the correction to the instrument.

Каждое предприятие, каждый производитель в области металлообработки стремится в условиях своего производства изготовлять изделия высокой точности, при этом не повышая их себестоимость за счет покупки нового дорогого высокоточного оборудования с ЧПУ. Как показывает практика, на большинстве предприятий стоит современное оборудование с ЧПУ с установленными на них датчиками активного контроля инструмента контактного типа. Погрешность измерения таких устройств составляет 0,02…0,04 мм, соответственно и точность изделия с учетом суммарной погрешности обработки будет составлять не менее чем 0,05…0,75 мм.

На сегодняшний день выделяют следующие методы настройки инструмента: по пробным деталям; по эталонам; по упорам; по индикаторам; с использованием специальных оптических и других приборов.

Первые три метода настройки инструмента являются длительными, трудозатратнами по сравнения с последними двумя из выше перечисленных. Однако, датчики оптические и лазерные являются дорогостоящим оборудованием и далеко не каждое предприятие может себе их позволить. Практика показывает, на большинстве металлообрабатывающих предприятий, на современном оборудовании с числовым программным управлением (ЧПУ), стоят датчики активного контроля инструмента контактного типа. Возникает вопрос, как на имеющемся оборудовании с минимальными затратами получить изделия более высокой точности.

Для решения этой проблемы был проведен ряд исследований, позволяющий повысить точность измерения инструмента датчиками активного контроля инструмента контактного типа, на примере вертикально-фрезерного обрабатывающего центра Quaser MV154EL с датчиком активного контроля контактного типа Renishaw TS27R.

Объектом данного исследования является математическая модель, позволяющая вычислить погрешность при формировании точности настройки режущего инструмента на станках с ЧПУ.

Цель работы заключается в анализе величин, влияющих на оценку точности настройки режущего инструмента, и построение, на основе полученных данных алгоритмической структуры программного комплекса и формирования отдельных модулей математической модели системы.

После анализа данных проведенных исследований процесса обработки изделия на обрабатывающем центре с ЧПУ и датчиком активного контроля инструмента контактного типа на данном оборудовании, был создан алгоритм работы разрабатываемого программного комплекса, согласно которому через интерфейс взаимодействия сначала выбирается вид инструмента, в зависимости от того какой инструмент выбран, необходимо ввести различные исходные данные (рис. 1).

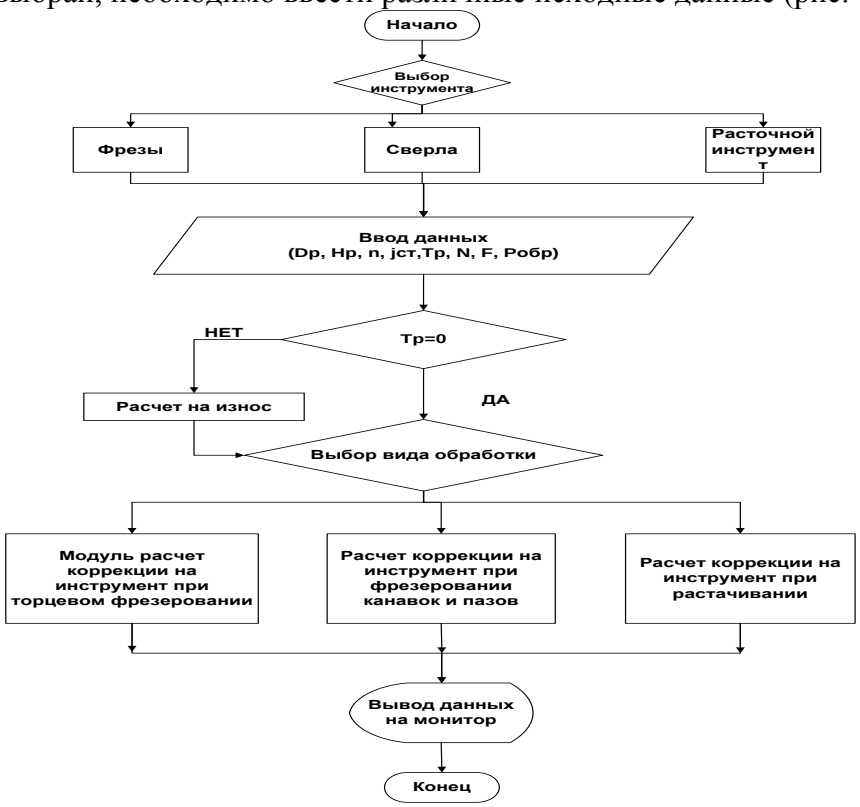


Рис. 1 – Алгоритм функционирования программного комплекса.

После ввода исходных данных, проверяем использовался ли раньше данный инструмент или нет. Если ранее проводилась обработка, рассчитываем коррекцию на износ инструмент. Затем определяем вид обработки выполняем соответствующие вычисления. Полученные данные выводтся в специальном диалоговом окне на экране монитора и вносятся в таблицу коррекции (Offset) станка и проводим обработку.

Создаваемая система, позволит для конкретных видов измерительных устройств вычислять коррекцию на инструмент, учитывающую различные факторы и влияющую на формирование погрешностей, и вносить определенную коррекцию управляющих

программ для станков с ЧПУ, оснащенных системами активного контроля режущего инструмента.

В рамках данного исследования был проведен анализ технической и эксплуатационной документации современных систем активного контроля положения инструмента, методов определения пространственного положения инструмента, методов вычисления погрешности настройки, измерения инструмента и погрешности установки заготовки. Были построены алгоритм проведения исследований и работы системы, определены отдельные модули математической, были проведены исследование процесса формирования размера при использовании датчиков контактного типа для контроля инструмента на станках с ЧПУ.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ФИРМЕННОГО АВТОСЕРВИСА КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ

Хабибуллин Р.Г., Макарова И.В., Беляев Э.И., Буйвол П.А.
г.Набережные Челны, филиал Казанского (Приволжского) Федерального университета

В статье рассмотрены способы совершенствования процессов в системе фирменного автосервиса для реализации принципа клиентоориентированности. В качестве управляющего воздействия предлагается применение системы варьируемых скидок при работе с поставщиками запасных частей, а также дифференцированного подхода к группам поставщиков, выделенным на основе кластерного анализа. Решена задача по автоматизации составления перечня работ по устранению дефектов, указанных в рекламационном акте.

Improvement of processes in firm car service system as one of the producer customer focus realization ways. Makarova I.V., Khabibullin R.G., Belyaev E.I., Buyvol P.A. Kazan (Volga Region) Federal University, Naberejnye Chelny, Russia

In article ways of processes in firm car service system improvement for realization of customer focus principle are considered. As operating influence use of varied discounts system during the work with suppliers of spare parts, and also the differentiated approach to the groups of suppliers allocated on the basis of the cluster analysis is offered. The task of drawing up the list of works of the defects specified elimination in the damage statement automation is solved.

Автосервис можно рассматривать, в широком смысле, как инфраструктуру автомобильного транспорта, в узком - как систему поддержания и восстановления работоспособности автомобиля на протяжении жизненного цикла и как элемент расширенного продукта - средство обеспечения конкурентоспособности автомобилей при их продаже производителями.

До 60-х годов XX столетия инвестировалась только техническая составляющая автосервиса. С возникновением концепции расширенного продукта большая доля инвестиций стала направляться в развитие инфраструктуры для клиентов. Концепция «заботы об автомобиле» предполагает инвестиции в стоянки для автомобилей клиентов, совмещенные со станциями технического обслуживания. В основе развития автосервиса в Западной Европе лежит концепция расширенного продукта, которая привела к созданию дилерских сетей фирм - производителей автомобилей [1].

Создание клиентоориентированной и эффективной системы фирменного сервиса, обеспечивающей доведение сервисных услуг до потребителя и организацию послепродажного обслуживания в течение всего периода эксплуатации автомобиля, является главным направлением комплексной системной стратегии крупных автомобилестроительных корпораций. Конкурентное преимущество при этом достигается за счет поддержания требуемого уровня обслуживания потребителей при одновременном снижении затрат на его обеспечение [2]. Системность подхода заключается в создании единого информационного пространства, координирующего деятельность всех участников жизненного цикла изделия: производственной системы (фирмы-продуцента и производителей запасных частей и комплектующих), системы обеспечения (логистического центра), системы сервиса и центра управления дилерско-сервисной сетью (ДСС).Такая информационно-логистическая система (ИЛС) реализуется в соответствии с требованиями системы международных стандартов, регламентирующих правила указанного взаимодействия преимущественно посредством электронного обмена данными.

С организационной точки зрения система фирменного сервиса представляет собой ДСС, элементами которой являются сервисные предприятия различных уровней и форматов. Эффективное управление ДСС должно быть основано на принципе обратной связи, позволяющей своевременно корректировать управляющие воздействия на основе сопоставления информации о текущем состоянии параметров деятельности субъектов с их ожидаемыми значениями и с учетом изменяющейся внешней среды.

Поскольку конкуренция на рынке сервисных услуг вынуждает искать новые формы повышения эффективности функционирования системы фирменного сервиса, для руководителей многих компаний становится очевидным, что клиентоориентированность не столько дань моде, сколько основное направление создания конкурентных преимуществ.

Клиент ждет от компании, что его заявка будет выполнена быстро и качественно. При организации систем фирменного сервиса следует учитывать то, что принцип «продал и забыл» в России уже не действует. Отечественному потребителю крайне важна возможность быстро и без проблем произвести ремонт и обслуживание купленного товара, в особенности такого высокотехнологичного и наукоемкого как автомобиль, то есть в сознании российского покупателя развитый сервис прочно ассоциируется с понятием «надежность».

В настоящее время покупатель отдает предпочтение тем производителям, которые не ограничиваются гарантийными обязательствами, а обеспечивают наиболее полную сервисную поддержку своей продукции. Уже при планировании покупки у потребителя возникают закономерные вопросы: что делать, если произойдет отказ приобретаемой техники? Во сколько обойдется гарантийное обслуживание и сколько времени оно займет? В особенности эти вопросы волнуют владельцев грузовой автомобильной техники, для которых каждый день внепланового простоя грозит значительными убытками.

Реализация принципа обратной связи направлена на то, чтобы повысить эффективность сервиса за счет анализа информации о недостатках как продукции, так и услуг, выработки стратегии непрерывных улучшений и реализации ее с помощью системы контролирующих мероприятий. По мнению Тагути: «Чем больше отклонений вы можете исключить, тем лучше будет ваш продукт или услуга».

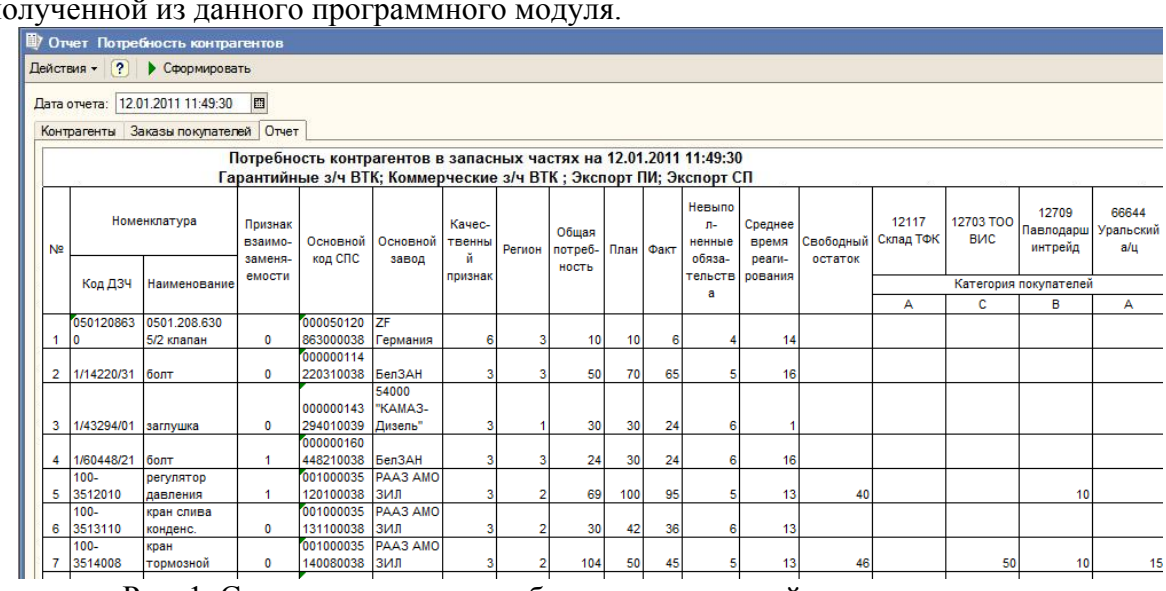
В качестве примера в статье [3] приводится система управления запасами. Если при организации обслуживания на складе нет того, что нужно клиенту, то вы не можете дать клиенту желаемое, значит, ваш сервис нельзя считать хорошим. Проблема заключается в том, чтобы на складе было все, что может понадобиться вашим

клиентам, причем в достаточном, но не избыточном количестве. Для этого ваши поставщики должны владеть информацией о продажах, а это можно сделать только с помощью детально продуманных технологий и автоматизации всех возможных процессов. Эффективность системы управления поставками запасных частей при построении ИЛС обеспечивается путем создания единого информационного пространства, оптимизирующего взаимодействие производственной системы, системы обеспечения и системы фирменного сервиса.

Эффективность системы управления поставками запасных частей при построении ИЛС обеспечивается путем создания единого информационного пространства, оптимизирующего взаимодействие системы закупок, производственной системы, системы обеспечения и системы фирменного сервиса [4].

Учитывая необходимость решения данной задачи, авторами был разработан программный модуль «Справка-отчет о потребности контрагентов в запасных частях» (рис. 1), предоставляющий сведения об общей потребности контрагентов в запасных частях на заданную дату, с указанием основного завода-поставщика, а также детализацию потребностей каждого из контрагентов. Список заказов контрагентов с номерами для детализации отчета формируется методом подбора на основе документов «Заказы поставщикам».

Данный программный модуль содержит информацию о планируемой потребности ДСС в запасных частях на основе предварительных заявок, фактической поставке в логистический центр производителем, среднем времени реагирования производителем на заявку логистического центра и качественной характеристике поставляемых им запасных частях, свободном остатке запасных частей на складе логистического центра, а также общей потребности в запасных частях как ДСС в целом, так и каждого покупателя. В отчете покупатели разбиты по категориям, выделенным на основе качества составленных предварительных заявок. Для совершенствования управления системой поставок запасных частей должна проводиться кластеризация поставщиков с учетом результатов анализа информации, полученной из данного программного модуля.



Отчет Потребность контрагентов

Действия | Сформировать

Дата отчета: 12.01.2011 11:49:30

Контрагенты | Заказы покупателей | Отчет

Потребность контрагентов в запасных частях на 12.01.2011 11:49:30
Гарантийные з/ч ВТК; Коммерческие з/ч ВТК ; Экспорт ПИ; Экспорт СП

№	Номенклатура		Признак взаимо-заменя-емости	Основной код СПС	Основной завод	Качес-твенный признак	Регион	Общая потреб-ность	План	Факт	Невыпол-ненные обяза-тельства	Среднее время реаги-рования	Свободный остаток	12117 Склад ТФК	12703 ТОО ВИС	12709 Павлодарш интрейд	66644 Уральский а/ц
	Код ДЗЧ	Наименование												Категория покупателей			
														A	C	B	A
1	0501208630	0501.208.630 5/2 клапан	0	000050120 863000038	ZF Германия	6	3	10	10	6	4	14					
2	1/14220/31	болт	0	000000114 220310038	БелЗАН	3	3	50	70	65	5	16					
3	1/43294/01	заглушка	0	000000143 294010039	54000 "КАМАЗ-Дизель"	3	1	30	30	24	6	1					
4	1/60448/21	болт	1	000000160 448210038	БелЗАН	3	3	24	30	24	6	16					
5	100-3512010	регулятор давления	1	001000035 120100038	РААЗ АМО ЗИЛ	3	2	69	100	95	5	13	40			10	
6	100-3513110	кран слива конденс.	0	001000035 131100038	РААЗ АМО ЗИЛ	3	2	30	42	36	6	13					
7	100-3514008	кран тормозной	0	001000035 140080038	РААЗ АМО ЗИЛ	3	2	104	50	45	5	13	46		50	10	15

Рис. 1. Справка-отчет о потребности покупателей в запасных частях

Поскольку процессы в логистической системе, начиная от прогноза потребности в запасных частях и заканчивая процедурой их получения, предполагают выполнение участниками взаимных обязательств, их оптимизация возможна только в том случае, когда планирование в системе поставок будет как можно более точным. Это позволит

снизить риски как заказчиков (от недопоставки необходимых запасных частей), так и производителей (от нереализованной продукции). Кроме того, совершенствуется процесс оказания сервисных услуг, поскольку наличие необходимой запасной части снижает время нахождения заявки в системе, т.е. время ожидания клиента.

При предварительном анализе заявок необходимо разделить их на две группы: те, в которых указаны запасные части, производимые только одним предприятием-монополистом и те, где содержатся взаимозаменяемые запасные части. Такое деление необходимо по той причине, что организация взаимодействия с поставщиками этих двух групп будет принципиально различной.

В условиях работы с монополистами центр управления ДСС направляет предварительную заявку поставщику. Далее логистический центр должен направить подтверждение данной заявки в виде заказа на покупку. В случае больших различий между заявкой и заказом поставщик, в лучшем случае, может наложить штрафные санкции в виде лишения скидки, в худшем – расторгнуть контракт.

Поскольку расторжение контракта с поставщиком может нарушить деятельность не только ДСЦ, составившего некачественную заявку, но и всей ДСС, ответственность за качество предварительных заявок несут центры управления ДСС и логистический центр фирмы-продуцента. Поэтому центр управления ДСС предлагает методики планирования поставок, а также разрабатывает механизмы управления данными процессами и стимулирования субъектов ДСС к качественному выполнению обязательств. Авторами предлагается механизм применения системы скидок для покупателей на основе анализа качества предварительных заявок как один из вариантов решения данной задачи.

Анализ качества составления предварительных заявок выполняется периодически (ежемесячно) в два этапа. Размер скидки в текущем периоде зависит от ряда величин, характеризующих процентное отношение совпадения предварительной заявки с последующим заказом в предыдущем периоде.

На первом этапе анализируется качественный состав заявки, т.е. при совпадении позиций номенклатуры в предварительной заявке и заказе СЦ начисляется 1, в противном случае – 0. Далее начисленные баллы суммируются, и рассчитывается процент некорректно заказанных позиций номенклатуры от общего количества заявленных позиций. Если полученный процент не превышает некоторого допустимого предела А, устанавливаемого центром управления ДСС, то СЦ начисляется скидка в размере X%.

На втором этапе анализируется количественный состав заявки. Из рассмотрения исключаются те позиции, по которым на предыдущем этапе был выставлен 0, по таким позициям заведомо начисляется 0 и на данном этапе. Для каждой номенклатурной позиции, по которой количество заказанных единиц продукции совпало в предварительной заявке и заказе, начисляется 1, при несовпадении количества – 0, затем рассчитывается процент отклонений для всей номенклатуры. В том случае, если среднее отклонение не превышает заданного допустимого предела В, СЦ начисляется скидка в размере Y%.

Далее вычисляется общий размер скидки Z% (где Z=X+Y). Если же заявка СЦ не удовлетворяет требованиям ни по качественному, ни по количественному составу, то СЦ лишается скидки, что приводит к значительной потере прибыли.

В случае заказа запасных частей у фирмы-монополиста, пороговое значение допустимых пределов А и В понижается, что стимулирует покупателя на применение методики расчета, предложенной центром управления ДСС, и, в свою очередь, улучшает показатель качества предварительных заявок.

Стимулирование покупателей – субъектов ДСС осуществляется путем

применения системы скидок. Из свободного остатка на складе логистического центра на основании оценки качества предварительных заявок, в первую очередь, удовлетворяются потребности тех ДСЦ, рейтинг которых выше. Для подсчета рейтинга все ДСЦ делятся на категории в соответствии с показателем качества предварительных заявок:

- Категория А - потребность в з/ч данных контрагентов удовлетворяется в первую очередь (размер скидки > А%);
- Категория В - размер скидки > В%;
- Категория С - потребность в з/ч данных контрагентов удовлетворяется в последнюю очередь (размер скидки > С%).

В случае работы с поставщиками взаимозаменяемых запасных частей центр управления ДСС должен принять решение, какому конкретно поставщику или группе поставщиков необходимо направить предварительную заявку. Поскольку процесс поставок связан с определенными рисками невыполнения обязательств поставщиками, то решение данной задачи основано на предварительной оценке поставщиков. После анализа качества заявок на запасные части, выбираются те позиции номенклатуры, по которым СЦ составили корректные заявки, т.е. им были присвоено по 1 в первом и втором этапах анализа, и по ним проводится кластеризация.

В случае превышения количества предварительно заявленных запасных частей над заказанным, необходимо ужесточать политику работы с СЦ, поскольку в данном случае поставщик может разорвать отношения в связи с понесенными им убытками ввиду перепроизводства и затоваривания склада.

Из всего массива поставщиков выделяются те, которые составляют группу «взаимозаменяемых». Эта группа, в свою очередь, делится на три категории: зарубежные поставщики, собственное производство и заводы-смежники. Анализ и кластеризация ведется отдельно для каждой из этих групп.

Для проведения кластеризации были выбраны четыре характеристики: качество запасных частей, спрос на запасные части, величина невыполнения поставщиками своих обязательств по поставке, время поставки. Для оценки качественной характеристики поставщика каждой позиции его номенклатуры присваивается определенное значение балла по трем показателям: уровень цены, процент брака, срок гарантии. Далее эти баллы суммируются и образуют показатель качества. Размер спроса на запасные части представляет собой сумму всех поступивших от субъектов ДСС заявок в разрезе номенклатурных позиций. Объем невыполненных обязательств определяется как разница между запланированным от конкретного поставщика объемом поставок (на основании предварительных заявок от центра управления ДСС) и фактически полученным (на основании документов поступления товара). Время поставки рассчитывается как время, прошедшее от момента формирования заявки поставщику до момента прибытия данных позиций в логистический центр.

Ввиду того, что характеристики задаются в разных единицах измерения, требуется их предварительная нормализация – переведение в безразмерные величины. Алгоритм решения данной задачи представлен на рисунке 2. Для кластеризации был выбран массив заводов-смежников, производящих взаимозаменяемые запасные части.

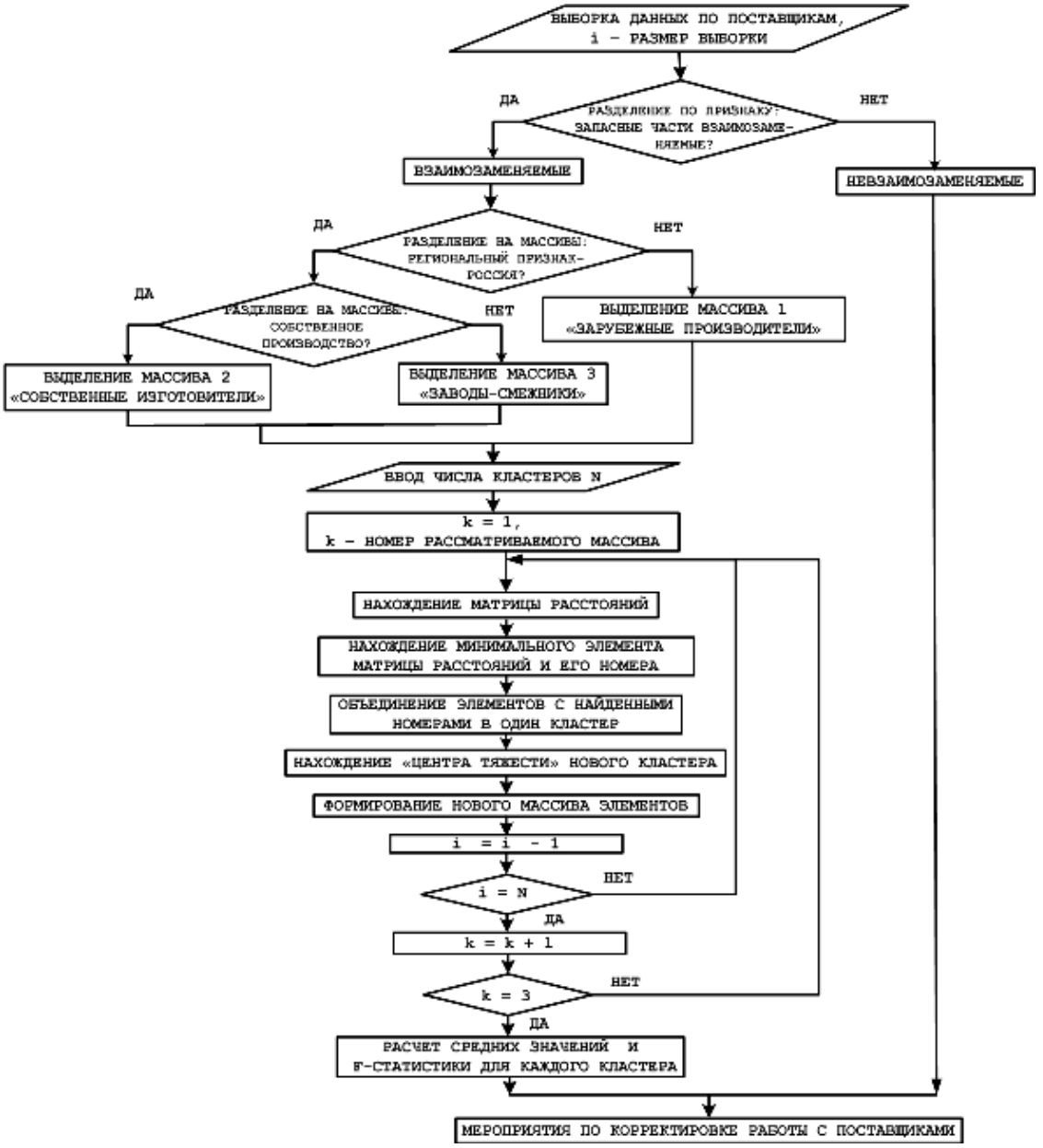


Рис. 2. Алгоритм оценки поставщиков

Нормализация была проведена согласно формуле (1).

$$x_{i\text{норм}} = \frac{x_i - \overline{x}}{\sigma} \qquad (1)$$

где: x_i – исходное значение, $x_{i\text{норм}}$ – нормированное значение,

$\overline{x}$ – среднее значение, σ – среднеквадратичное отклонение

i – число элементов массива.

В результате кластеризации в программе «STATISTICA 6» все поставщики были разбиты на 3 кластера [5].

Из графика, представленного на рисунке 3, видно, что размер невыполнения поставщиками своих обязательств по поставке находится в прямой зависимости от величины спроса, что можно объяснить негибкостью производственной системы предприятий-поставщиков. Помимо этого, специфика покупателей автомобильной

техники такова, что они в основном ориентированы на недорогие запасные части, что объясняет низкий спрос на продукцию поставщиков из кластера 1, характеризующуюся высоким качеством и, соответственно, стоимостью.

Можно рекомендовать продолжение работы с поставщиками из кластера 3, однако, необходим пересмотр и корректировка сроков поставок, а также совместные мероприятия по изысканию резервов для более быстрого реагирования поставщиков на изменяющийся спрос на запасные части. Несмотря на то, что поставщики из кластера 3 отличаются низким уровнем невыполнения обязательств по поставке и временем поставки, на запасные части их производства спрос минимален ввиду самого низкого качества из всего рассмотренного в ходе анализа перечня запасных частей.

Анализ значений F-статистики, рассчитанных для каждой характеристики, показал значимость выделенных кластеров. Кроме того, отличающиеся средние значения характеристик кластеров являются индикатором того, что выбранные характеристики хорошо дискриминируют кластеры (рис.3). На графике представлены средние нормализованные значения характеристик.

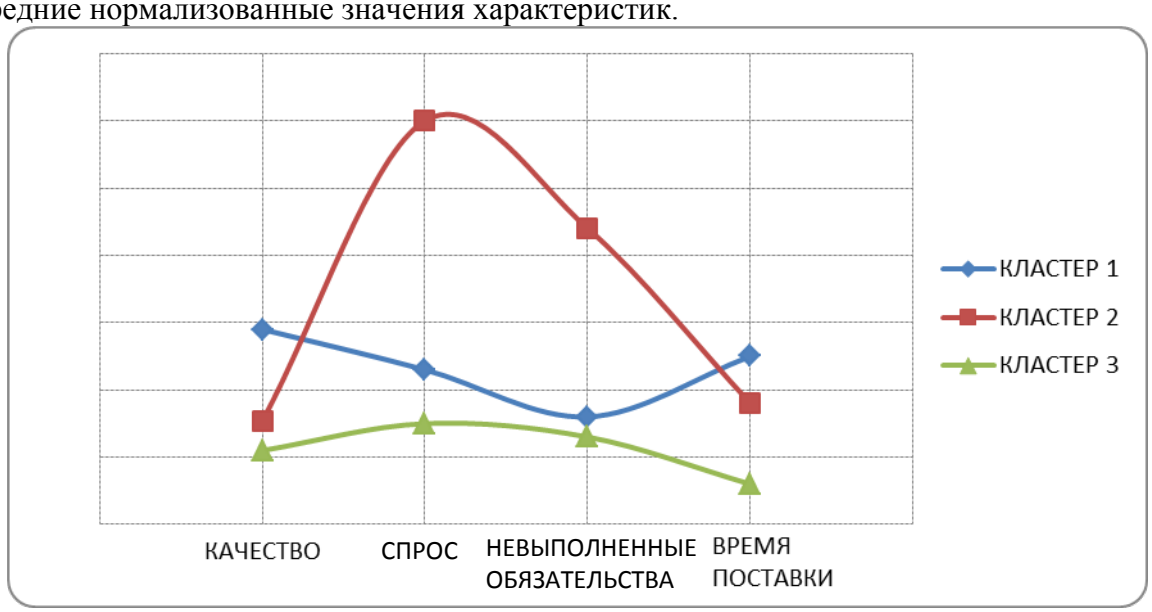


Рис. 3. График средних нормализованных значений характеристик по кластерам

Кластерный анализ дает возможность выбрать оптимальную стратегию работы с поставщиками взаимозаменяемых запасных частей для совершенствования процесса поставки на склад логистического центра и управления системой поставок в целом.

Таким образом, предложен один из вариантов решения остро стоящей проблемы повышения управляемости и оптимизации взаимодействия фирмы-продуцента (или центра управления ДСС) с поставщиками и покупателями в условиях фирменного сервиса. Использование механизма выбора оптимальной стратегии работы с поставщиками и покупателями является актуальным, поскольку решение этой задачи позволяет оптимизировать систему поставки запасных частей, а также повысить управляемость процессов данной системы. Решение этой задачи позволяет сократить простои автомобильной техники в сервисных центрах в ожидании обслуживания ввиду отсутствия необходимых запасных частей, а также повысить эксплуатационную надежность и качество сервисных услуг за счет качества и своевременности поставок запасных частей.

Не менее важным этапом проектирования информационной системы предприятия фирменного обслуживания автомобилей является автоматизация ввода норм времени на выполнение работ по восстановлению работоспособности

автомобильной техники при оформлении заказ-наряда на ремонтные работы.

На данном этапе проблема заключается в том, что устранение каждого вида дефекта подразумевает выполнение определенного перечня взаимосвязанных работ. Поскольку рекламация может содержать описание нескольких дефектов, то нередкой является ситуация, когда один из перечисленных дефектов может подразумевать выполнение сопутствующих работ, необходимых и для устранения других дефектов из данной рекламации. Таким образом, возможно дублирование списка работ, а соответственно, завышение трудоемкости облуживания, и, как следствие, ввод неверной информации. Алгоритм решения данной проблемы представлен на рис. 5.

Как видно из приведенного алгоритма, использование классификатора норм времени имеет определенную специфику, и правильно разработанный способ ввода данных по трудоемкости выполнения работ служит гарантом достоверной и правильной информации.

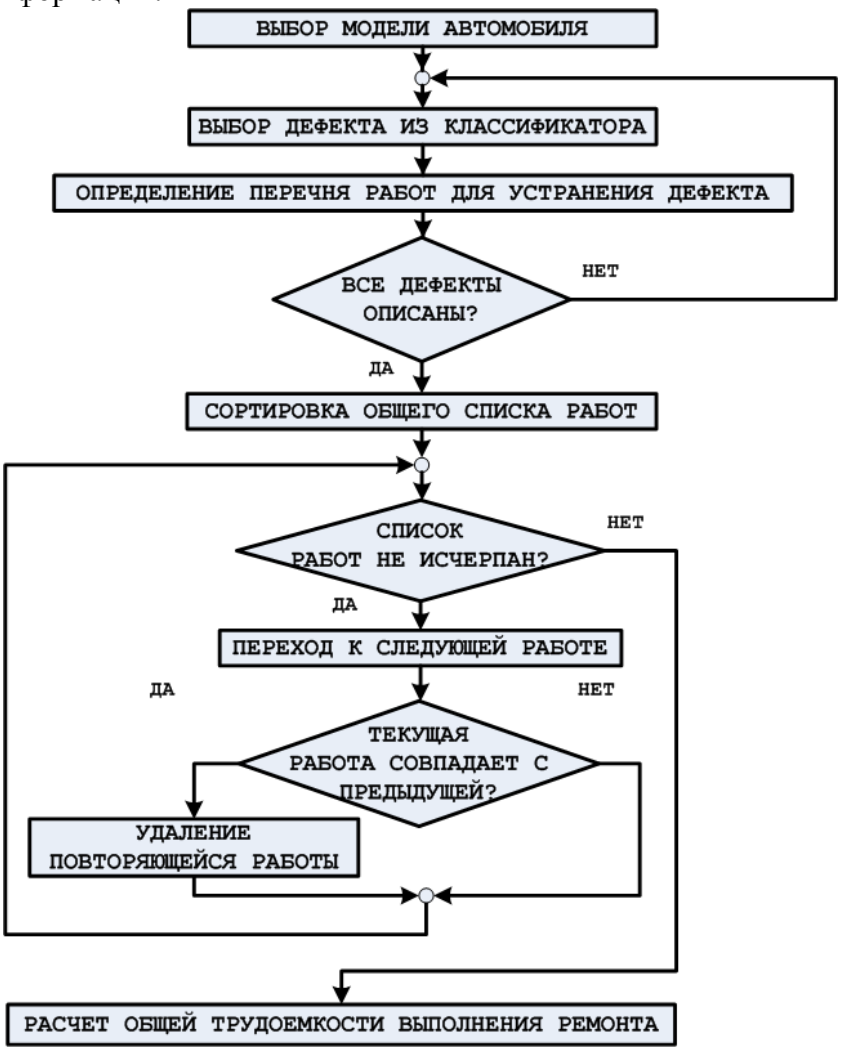


Рис. 4. Алгоритм автоматизированного ввода норм времени

В то же время, использование данного классификатора порождает другие проблемы: насколько формализованной должна быть вводимая информация и каким образом будет производиться актуализация справочника норм времени с учетом расширения модельного ряда автомобилей и модернизации уже существующего [6]. При решении указанных проблем необходимо понимать, что концепция фирменного сервиса, направленная на повышение качества сервисных услуг и удовлетворенности

клиента, может быть реализована только за счет интеллектуализации информационных процессов и совершенствования управления системой поддержания работоспособности автомобилей.

Таким образом, при проектировании информационной системы должны быть проанализированы все процессы, происходящие в каждой из подсистем, разработаны единые формы ввода данных и классификаторы, обеспечивающие возможность получения требуемой аналитической информации.

Литература

1. Автосервис. Инфраструктура автомобильного транспорта. [электронный ресурс] – Режим доступа. - URL: http://ecouniver.com/3619-avtoservis-infrastruktura-avtomobilnogo-transporta.html

2. Миротин, Л.Б. Логистика: обслуживание потребителей / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев. – М.: ИНФРА-М, 2002. 190 с.

3. Системы, а не улыбки. [электронный ресурс] – Режим доступа. - URL:http://truck.edma.com.ua/kbase/c22/id1274

4. Хабибуллин Р.Г. Реализация механизма обратной связи при управлении поставками в системе фирменного сервиса автомобилей / Р.Г. Хабибуллин, И.В. Макарова, Э.И. Беляев, П.А. Буйвол, Р.А. Козадаев // Перспективы науки. Тамбов. - 2011. - № 1 (16). – С. 77-81.

5. Боровиков, В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере.– СПб.: Питер, 2003. С. 344.

6. Нормы времени на регламентные работы по техническому обслуживанию автомобилей КАМАЗ-6520,-6460,-5360,-5460. Набережные Челны: ОАО «КАМАЗ» 2003. – 14 с.

МОДЕЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧЕ КОНТЕЙНЕРНОЙ ОРТОГОНАЛЬНОЙ УПАКОВКИ

Чеканин В.А., Чеканин А.В.
Москва, ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Рассматривается задача многомерной контейнерной ортогональной упаковки объектов произвольной размерности. Для управления свободными пространствами контейнеров предлагается новая модель представления ортогональных объектов в контейнерах.

A model of managing objects for the orthogonal bin packing problem. Chekanin V., Chekanin A.

The orthogonal multidimensional bin packing problem is considered in the article. A new model of orthogonal objects for managing free spaces of orthogonal containers is presented.

Введение. Задача ортогональной упаковки объектов представляет собой задачу оптимального размещения заданного набора ортогональных объектов в ортогональных контейнерах при выполнении следующих условий:

1) ребра размещенных в контейнере ортогональных объектов параллельны ребрам этого контейнера;

2) упакованные объекты не перекрывают друг друга;
3) упакованные объекты не выходят за границы контейнеров.

Эта задача актуальна и имеет место при решении многих практических задач распределения ресурсов [1], в частности, задач календарного планирования, распределения ресурсов в вычислительных сетях, контейнерной перевозки грузов [2] и др.

Для конструирования ортогональной упаковки могут быть использованы следующие модели представления объектов в контейнерах: блочная [3], узловая и модель «виртуальные объекты» [4, 5], обеспечивающая наиболее быстрое среди прочих моделей размещение объектов. Основной недостаток модели «виртуальные объекты» – существование вероятности образования неконтролируемых моделью локальных пустот контейнера при решении задач упаковки размерности выше двух, снижающих плотность размещения объектов в контейнерах [6].

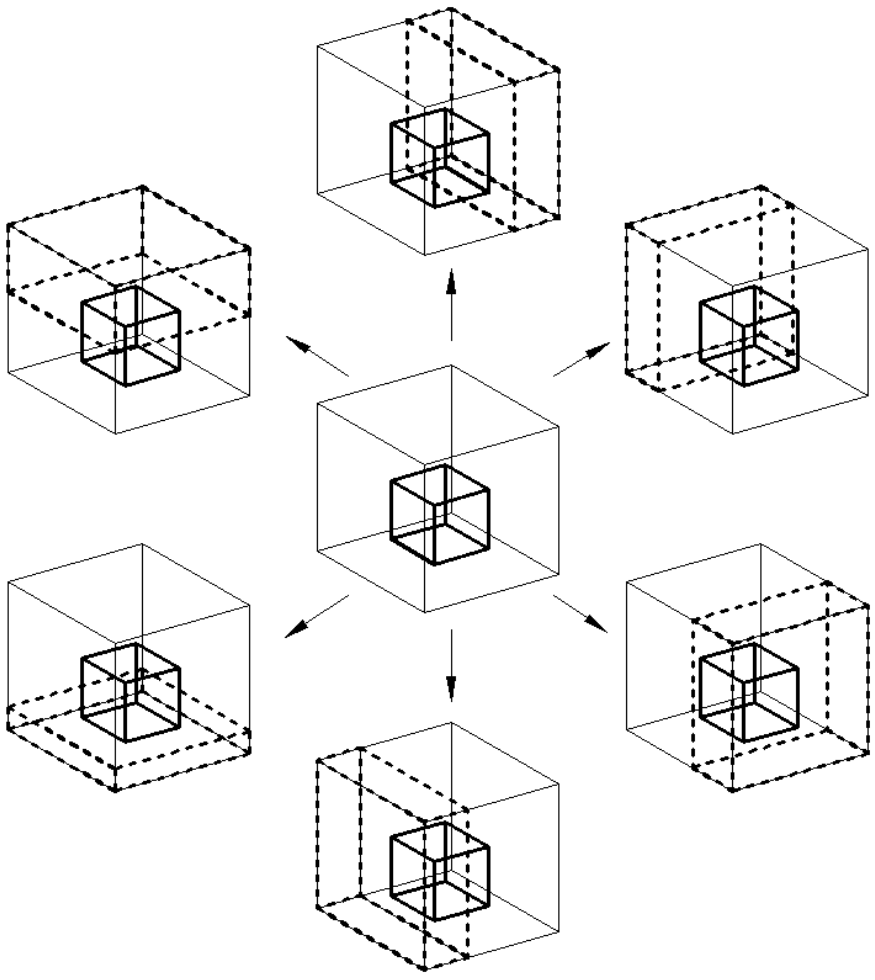


Рис. 1. Потенциальные контейнеры в задаче трехмерной упаковки

Описание модели. Разработанная модель потенциальных контейнеров является развитием модели «виртуальные объекты». В основе этой модели лежит модель управления свободными пространствами контейнера (так называемыми потенциальными контейнерами), которая включает алгоритм образования потенциальных контейнеров и алгоритм поиска и удаления вложенных потенциальных контейнеров.

Алгоритм размещения объекта в контейнере содержит следующие этапы:

1) выбор потенциального контейнера для размещения объекта;

2) размещение объекта в начале координат выбранного потенциального контейнера;

3) образование новых потенциальных контейнеров из потенциальных контейнеров, перекрывающих область размещения объекта;

4) удаление потенциальных контейнеров, перекрывающих область размещения объекта;

5) поиск и удаление вложенных потенциальных контейнеров.

Набор формируемых потенциальных контейнеров при размещении трехмерного объекта в ортогональном контейнере приведен на рис. 1.

Выводы. Предложена новая модель представления ортогональных объектов в контейнерах, описывающая все существующие свободные пространства размещаемых контейнеров. Разработанная модель потенциальных контейнеров в отличие от модели «виртуальные объекты» описывает все существующие свободные пространства размещаемых контейнеров, что исключает вероятность образования неконтролируемых моделью локальных пустот при конструировании упаковки.

Литература

1. Dyckhoff H. A typology of cutting and packing problems. – European Journal of Operation Research. 1990. Vol. 44. P. 145-159.

2. Мухачева Э.А., Бухарбаева Л.Я., Филиппов Д.В., Карипов У.А. Оптимизационные проблемы транспортной логистики: оперативное размещение контейнеров при транспортировке грузов // Информационные технологии. 2008. № 7. С. 17-22.

3. Филиппова А.С. Моделирование эволюционных алгоритмов решения задач прямоугольной упаковки на базе технологии блочных структур // Информационные технологии. 2006. № 6. Приложение.

4. Чеканин В.А., Чеканин А.В. Эффективные модели представления ортогональных ресурсов при решении задачи упаковки // Информационно-управляющие системы. 2012. № 5. С. 29-32.

5. Чеканин В.А. Эффективное решение задачи двухмерной контейнерной упаковки прямоугольных объектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 6. С. 35-39.

6. Чеканин В.А., Чеканин А.В. Оптимизация решения задачи ортогональной упаковки объектов // Прикладная информатика. 2012. № 4. С. 55-62.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕЙНИТНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Шиманов М.Л., Терцик А., Корпала Г., Кавалла Р.
Технический Университет Фрайбергская Горная Академия, Бернард-фон-Котта-Штрассе 4, 09596 Фрайберг, Германия

Рассмотрена классификация бейнитных сталей по температуре превращения и содержанию углерода. Кроме того, было установлено влияние легирующих элементов. Определенны способы производства бейнитных сталей благодаря моделированию и лабораторным испытаниям. Проведена оптимизация химического состава и технологических параметров производства бейнитной стали. Было достигнуто снижение веса автомобиля на 40%.

Production optimization of the bainitic steels for Automotive Industry. M. Shimanov, A. Terzic, G. Korpala, R. Kawalla. Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institute of Metal Forming, Bernhard-von-Cotta-Str. 4, 09596 Freiberg, Germany

The bainitic steels were classified according to transformation temperature and carbon content. Additionally, the influence of alloying elements was determined. Ways of production of the bainitic steel were determined by simulation and supported by laboratory testing. The optimization of the chemical composition and technological parameters of the bainitic steel were carried out. The reduction in weight of the body car reached 40%.

Введение

Мировая индустрия находится под постоянным давлением, которое связанно с производством экологически чистой продукции. Основное внимание в этом процессе является автомобильная промышленность, так как черная металлургия предстает в качестве основного поставщика. Каждый год эти отрасли проводят массивные исследованиям в целях повышения эффективности транспортных средств в отношении расхода топлива. Ключом к решению проблемы является снижение массы транспортного средство, в особенности кузова. Снижение массы кузова достигается за счет использования высокопрочных и сверх-высокопрочных сталей. Это использование основано на хороших свойствах штампуемости высокопрочных сталей. В прошлом, в производстве стали подавляющий спрос приходился на целевые значения отдельных свойств, таких как прочность, пластичность, коррозионную стойкость. Сегодня же, наблюдается спрос на совокупность свойств материала. На основе сочетания всех упрочняющих механизмов, как дисперсионное твердение, измельчения зерна, наклеп и упрочнение благодаря образованию фаз, происходит с увеличением прочности и пластичность стали.

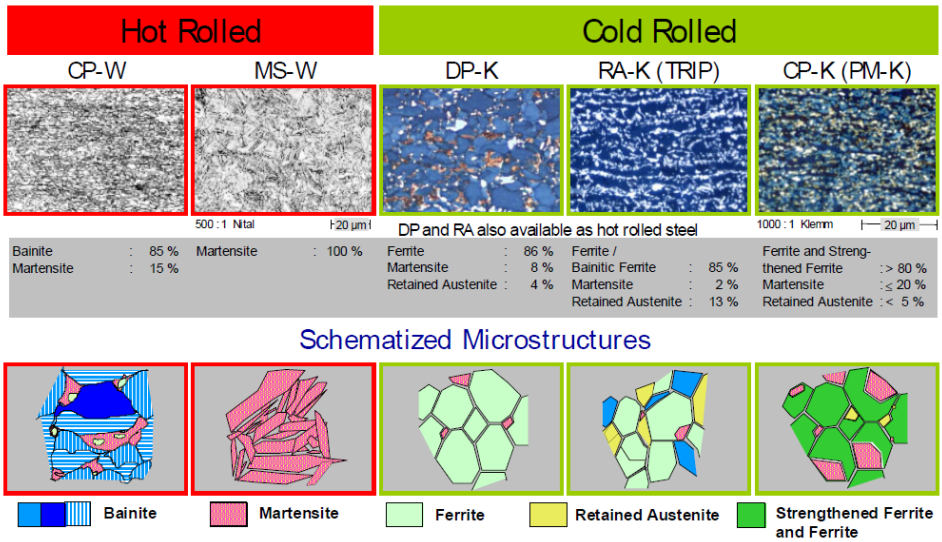


Рисунок 1: Типичная структура многофазных сталей, [Hof10]

Ключевое развитие в этой области, помимо многофазной стали (рис. 1), представляют стали с бейнитной структурой. Эти стали благодаря благоприятному соотношению прочности и относительного удлинения при низких производственных затратах находятся в центре исследования [Gar01].Увеличение прочности за счет карбидов и осадки микролегирования элементов, как это происходит в высокопрочных сталях из рисунка 1, ограничивается примерно 1000 МПа. При таком пределе

прочности этот материал имеет низкую ударную вязкость. Бейнитные стали имеют значительно более высокие прочности при умеренных значениях ударной вязкости. В рамках этой работы необходимо рассмотреть виды бейнитных сталей и их возможное использование в автомобилестроении.

Бейнитные стали

Бейнит является промежуточной фазой. Температура превращения бенита лежит выше температуры образования перлита и ниже температуры образования мартенсита. Бейнитная фаза в верхнем диапазоне температур (400°C - 550°C) пересекается с перлитной фазой и в нижнем диапазоне температур (250°C - 400°C) с мартенситной фазой. Бейнитная микроструктура зависит в значительной степени от содержания углерода, других легирующих элементов, таких как бора, молибдена и МЛЭ (титан и ниобий), скорости охлаждения, деформации до превращения и результирующей температуры превращения. Как правило, за счет добавки легирующих элементов снижается температура бейнитного превращения. Высокое содержание углерода приводит к снижению свободной энергии (энтальпии) между аустенитом и ферритом и тем самым замедляет превращение. В основном классификация бейнита базируется на его температуре превращения. Существует нижний и верхний бейнит. При температурах между 550 °C и 400 °C образуется гранулированный, (зернистый) верхний бейнит, а при температурах от 400 °C до 250 °C – нижний бейнит. Ферритная пластина в нижнем бейните не содержит карбидов. Гранулированный бейнит встречается в основном в сталях с низким содержанием углерода и непрерывном охлаждении. В бейните возможны значительные микроструктурные изменения, что позволяет получать различные механические свойства стали.

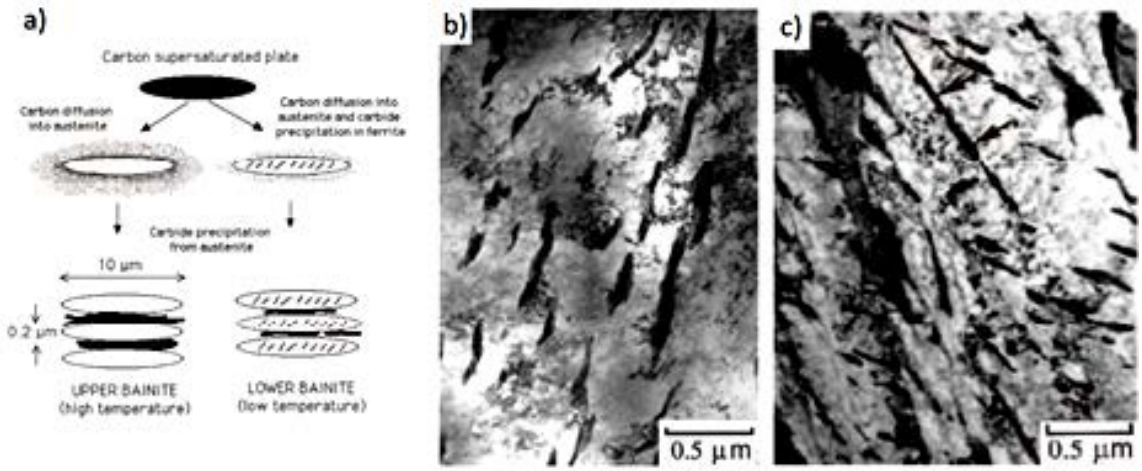


Рисунок 2: Механизм бейнитного превращения (a), растровая микроскопия верхнего бейнита (b), нижнего бейнита (c) [Bha01]

Температура превращения, наряду с другими факторами как легирующие элементы, оказывает значительное влияние на механические свойства. Микроструктура при низких температурах превращения является более мелкой, что дает высокий предел прочности, смотри Рис.2c. В тоже время при низких температурах превращения существенно возрастает ударная вязкость [Kaw94]. Гранулированный бейнит, который образуется при высоких температурах в сравнении с нижним бейнитом показывает низкие значения ударной вязкости. Однако благодаря добавки определенных легирующих элементов удается улучшить ударную вязкость гранулированного бейнита.

Классификация бейнитных сталей

Наряду с характеристикой по температуре превращения существует также и другое определение бейнитных сталей по содержанию углерода, как низкоуглеродистые и высокоуглеродистые бейнитные стали.

Низкоуглеродистые бейнитные стали

Низкоуглеродистые бейнитные стали имеют реечную структуру. В этом смысле, весь бейнит низкоуглеродистых сталей классифицируется как верхний зернистый бейнит [Oth90] [Bha01]. При этом существует три различные формы бейнита: 1) безкарбидный бейнит, 2) бейнит со слоями цементита между ферритными пластинами, 3) бейнит с мелкими пластинками цементита, которые лежат параллельно ферритной плоскости в бейнитном феррите [Bha01].

Типичный химический состав для низкоуглеродистых сталей описан в таблице 1.

Таблица 1: Типичный химический состав для низкоуглеродистых бейнитных сталей [мас.%]

C	Si	Mn	Al	Cu	Mo	Cr	Ti+V+Nb	B
0,05-0,2	0,2-0,6	1,2-2,0	0,01-0,03	0,02-0,06	0,1-0,3	0,3-1,5	0,1-0,6	0,001-0,005

Известно, что бейнит обладает значительно более высоким сопротивлением к разрыву, чем мартенсит или перлит [Cai11]. При очень мелкой микроструктуре у высокопрочных материалов должен учитываться тот факт, что за счет выделения цементита по границам зерен в значительной степени снижает ударную вязкость стали. Отсюда следует, что для достижения высоких значений предела прочности и относительного удлинения необходимо предотвращать выделения цементита и тем самым получить бейнит без цементита [Cab05]. Для получения высокопрочного бейнита без цементита играет важную роль легирование титаном. При этом титан имеет два эффекта: он способствует бейнитному превращению и увеличивает предел прочности за счет образования выделений [Cab05].

В высокопрочных безцементитных бейнитных сталях существуют следующие механизмы повышения предела прочности: 1) очень низкий размер зерна, менее 1 мкм, 2) упрочнение благодаря легированию твердыми элементами Mn, Si, B, 3) упрочнение благодаря растворению атомов внедрения, 4) дислокационное упрочнение.

Высокоуглеродистые бейнитные стали

Производство высокоуглеродистых сталей в сравнении с низкоуглеродистыми бейнитными сталями требует больше времени превращения. В производстве это время может быть осуществлено только при долгих процессах или при больших объемах, в которых происходит бейнитное превращение [Bha79]. В таблице 2 представлен типичный химический состав высокоуглеродистой бейнитной стали.

Таблица 2: Типичный химический состав для высокоуглеродистых бейнитных сталей [мас.%]

C	Si	Mn	Al	Cu	Mo	Cr	Co	Ti+V+Nb	B
0,3-1,0	1,0-2,0	1,5-3,0	0,1-1,5	0-2,0	0,1-0,6	0-2,0	0-1,5	0,1-0,6	0,001-0,005

Сверх-высокопрочные бейнитные стали обязаны своей микроструктуре за высокий предел прочности и одновременно достаточное относительное удлинение для холодной обработки давлением. Благодаря комбинации всех упрочняющих механизмов, высокоуглеродистые бейнитные стали способны переносить большие статические и динамические нагрузки. У низкоуглеродистой, как и у высокоуглеродистой бейнитной стали важную роль играет обогащение углеродом

остаточного аустенита во время превращения. Вредным явлением у высокоуглеродстых бейнитных сталей является наличие остаточного аустенита в виде блоков, который является нестабильным и хрупким. Это приводит к образованию трещин и быстрому разрушению во время холодной обработки давлением. Это негативное влияние можно предотвратить следующими мероприятиями [Bha01]:

- Снижение температуры изотермического превращения, что ведет к формированию тонких пластин
- Снижение содержания углерода в стали, чтобы уменьшить присутствие блочного аустенита
- Добавление легирующих элементов, и тем самым изменить свободную энергию Гиббса

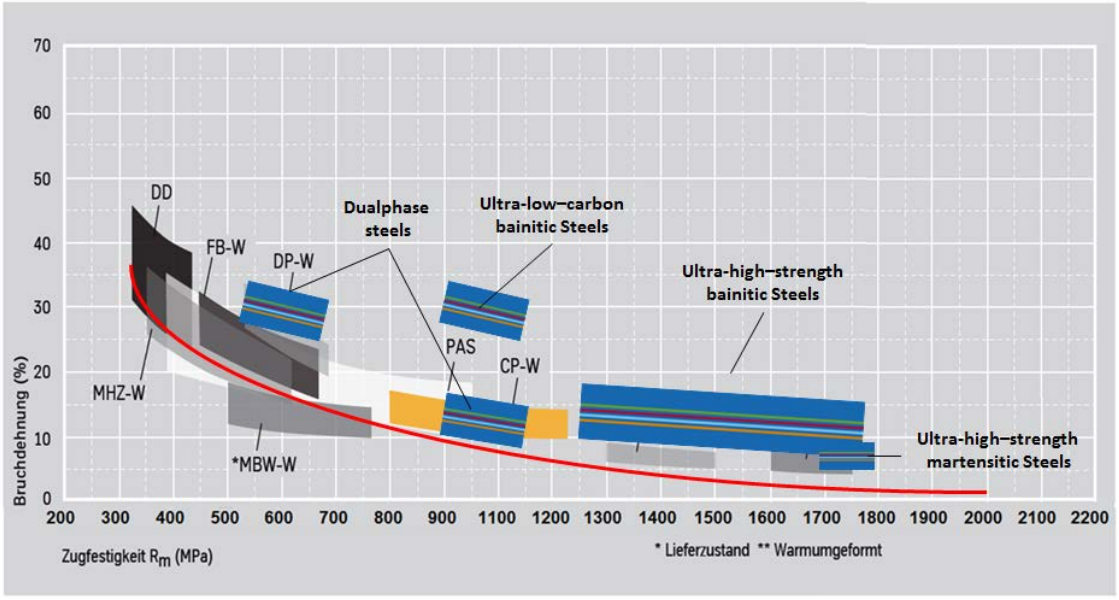


Рисунок 3: Разработка сверх-низкоуглеродистых бейнитных и сверх-высокопрочных бейнитных сталей в институте ОМД Фрайбергской Горной Академии (IMF)

Влияние морфологии остаточного аустенита на механические свойства бейнитных сталей

Согласно [San81] большое влияние на количество и морфологию остаточного аустенита, который обладает высокой пластичностью, оказывает легирование кремнием. Бейнитное превращение протекает так долго, пока остаточный аустенит не стабилизируется углеродом. В соответствии с [Bha79] было установлено два основных вида остаточного аустенита в бейнитных сталях: блоки и пленки остаточного аустенита. Остаточный аустенит в виде блоков, который во время деформации не превратился в отпущенный мартенсит, повышает хрупкость стали. Пленочный остаточный аустенит является более стабильным даже при больших степенях деформации за счет диффузии углерода из бейнитных пластин [Sug93], [Han97], [Park02], [Bha83], [Jeo93].

Микроструктура стали 0.4-C-3Mn-2Si содержит много блочного аустенита. Две другие стали имеют измененную термодинамическую стабильность аустенита, что как результат ведет к росту количества бейнита и пленочного остаточного аустенита.

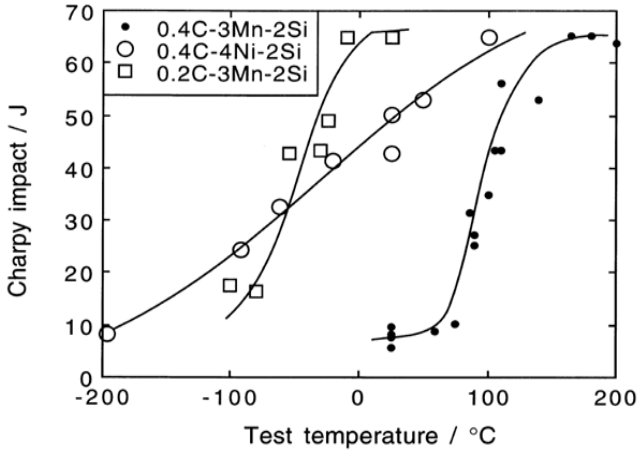


Рисунок 4: Ударная вязкость кремниевых сталей с бейнитной микроструктурой в зависимости от температуры испытания [Bha79]

Влияние легирующих элементов

Основываясь на знаниях о влиянии температуры превращения на механические свойства, в особенности предел прочности, возможно с помощью целенаправленного легирования регулировать температуру превращения. На рисунке 5 приведен соответствующий обзор.

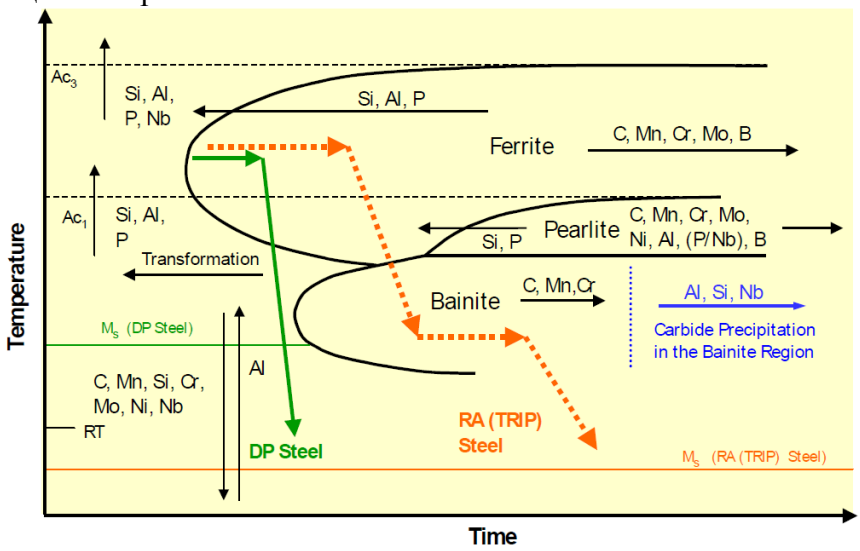


Рисунок 5: Изменение диаграммы изотермического превращения за счет влияние легирующих элементов [Hof10]

В последние годы очень часто встречается легирование бором, в особенности для сталей с бейнитной структурой. При этом используется свойства бора, которое подавляет образования феррита и способствует образования бейнита [Mis01]. Растворенный бор выделяется на границах аустенита и тем самым препятствует образованию феррита, смотри рисунок 5. Выделения бора ограничивают подвижность границ за счет так называемого solute-drag-Effekt и уменьшает динамическую рекристаллизацию деформированного материала [Wan02], [Lóp08].

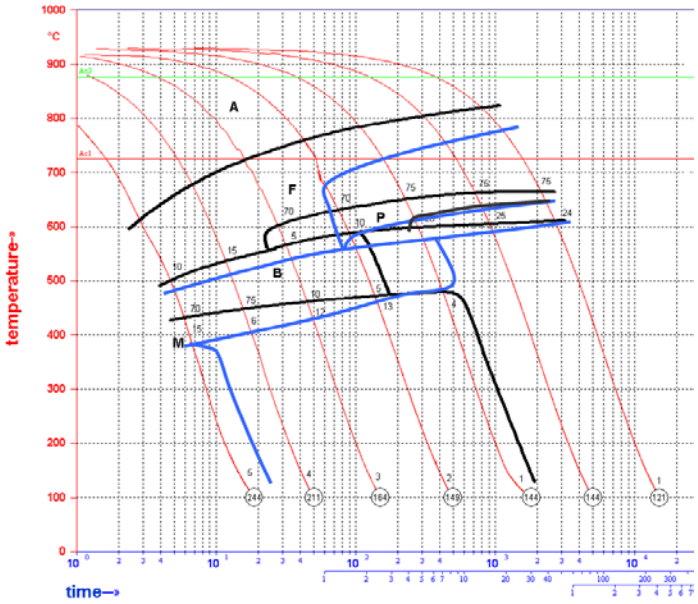


Figure 6: Термокинетическая диаграмма для низкоуглеродистой стали бед добавки бора (черная линия, C-Mn-сталь) и с 30ppm добавкой бора (голубая линия, C-Mn-B-сталь)

МЛЭ Ti и Nb образуют карбиды и нитриды с углеродом и азотом. Они имеют огромное влияние на рекристаллизацию, фазовые превращения и размер зерен. Кроме того, они увеличивают предел прочности благодаря образованию выделений и измельчению зерна. Через совместное действие Ti, Nb и B можно оптимизировать действия этих элементов и использовать целенаправленно их влияние на механические свойства.

Для формирования бейнитной структуры без карбидов используются повышенное легирование кремнием и марганцем. Кремний отделяет углерод из аустенитной и ферритной области, и тем самым предотвращает образование цементита, в то же время способствует образованию верхнего бейнита [Bha79]. Легирование марганцем способствует стабилизации остаточного аустенита при комнатной температуре, и таким образом вносит вклад для дополнительного роста предела прочности путем последующий термообработки [Bha79], как например пресс-закалка.

Производство бейнитных сталей

Для производства бейнитных продуктов используется два метода, рисунок 7. Первый метод основан на производстве феррито-перлитной горячекатаной полосы путем смотки при температуре, которая соответствует феррито-перлитной структуре на диаграмме изотермического превращения. Потом горячекатаная полоса подвергается холодной обработки давлением и затем после термической обработки получается бейнитная микроструктура, рисунок 8.

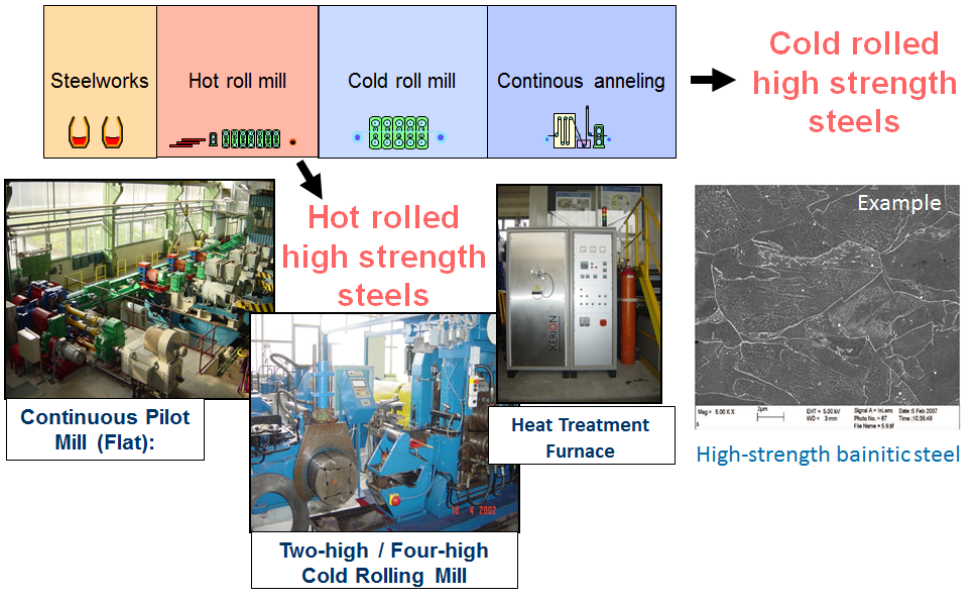


Рисунок 7: Общий цикл в производстве высокопрочных сталей в IMF

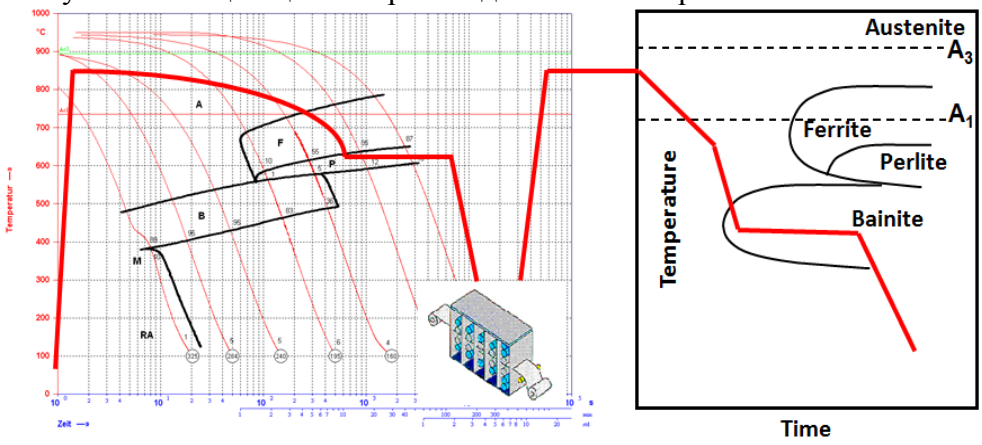


Рисунок 8: Производство бейнитных продуктов, включая горячую и холодную прокатку и термическую обработку

Описанная на рисунке 8 термообработка может быть также реализована в процессе пресс-закалки.

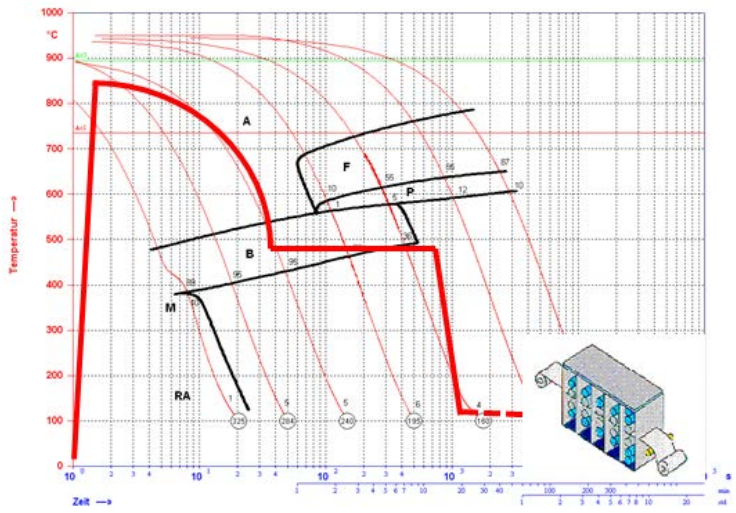


Рисунок 9: Производство горячекатаной бейнитной полосы

Другим принципом является производство горячекатаной бейнитной полосы. При этом материал сматывается при температурах 400-550°C, а затем охлаждается до комнатной температуры, рисунок 9. Для дальнейшего упрочнения и уменьшения толщины горячекатаной бейнитной полосы можно провести дополнительно холодную прокатку. Наклеп резко уменьшает относительное удлинение, что делает последующую термообработку по снятию напряжений очень значимой.

Варианты использования

Из литературы известно, что за счет оптимизации состава стали и температуры смотки, можно произвести бейнитную сталь с высоким пределом прочности при умеренном относительном удлинении. В таблице 3 приведен обзор механических свойств бейнитной стали.

Таблица 3. Механические свойства бейнитной сверх-низкоуглеродистой и низкоуглеродистой сталей

Rm [МПа]	Rp0,2 [МПа]	A [%]	Источник
590-670	480-580	мин. 18	SZ
740	567	30	Cui11
800-980	мин. 600	мин. 10	SZ
910	850	23	Gho04
1015	960	21	Gho04
1080		10	Yas91
1170	925	12	Nie10
1490		10	Yas91
1800	1250	28	Gar05
2200	1400	8	Gar05

В силу выбора технологических параметров и химического состава существует конкретное применение материала. Бейнитные стали используются для сильно нагруженных частей автомобиля. Благодаря своей хорошей сочетаемости прочности и штампуемости они идеально подходят для инновационного автомобиля строения.

Одно из основных преимуществ является свариваемость благодаря низкому содержанию углерода, фосфора и серы. Кроме того, эти стали, в зависимости от степени деформации, могут быть обработаны всеми известноми методами обработки давлением.

В таблице 4 приведены некоторые детали, которые в настоящие время производятся из многофазных высокопрочных сталей и могут быть заменены на бейнитные стали. При этом используется похожий химический состав и отсутствует специфичный метод производства этих сталей.

Таблица 4. Потенциал бейнитных сталей в автомобильной промышленности и экономия веса детали [Arc]

Деталь	Существующий материал	Замена из бейнитной стали
 Поперечная планка	Феррит-бейнит Толщина: 1,8мм FB560 (Rm=560-640МПа, Rp0,2=450-530 МПа, A80≥17%)	Высокопрочный бейнит Rm=800 МПа Толщина: 1,5мм 20%

 Поперечный рычаг	Феррит-бейнит Толщина: 4мм FB540 (Rm=540-610 МПа, Rp0,2=400-485 МПа, A80≥18%)	Высокопрочный бейнит Rm=910 МПа, A80=23% Толщина: 2мм 50%
 Поперечный рычаг	Феррит-бейнит Толщина: 4мм FB560 (Rm=560-640 МПа, Rp0,2=450-530 МПа, A80≥17%)	Высокопрочный бейнит Rm=910 МПа, A80=23% Толщина: 2мм 50%
 Стойка кузова	Феррит-бейнит Толщина: 1,6мм FB560 (Rm=560-640 МПа, Rp0,2=450-530 МПа, A80≥17%)	Свех-высокопрочный бейнит Rm=1000 МПа Толщина: 1,0мм 38%
 Диск	Феррит-бейнит FB590 (Rm=590-670 МПа, Rp0,2=480-600 МПа, A80≥16%)	Свех-высокопрочный бейнит Rm=1000 МПа до 30%

Заключение

Оптимизация химического состава стали и технологическиз параметров позволяеи бейнитным сталям вместе с изменением структуры установить очень хороший компромисс между прочностью и пластичностью. На основании этого можно производить высокопрочные и сверх-высокопрочные материалы, которые представляют огромной интерес для автомобильной индустрии, и с помощью которых возможно достичь снижения веса автомобиля на 40%.

Литература

[Arc] Internetseite von ArcelorMIttal: http://www.arcelormittal.com/automotive/saturnus/sheets/catalogue.pl?id_sheet=D&header=&language=DE Seitenaufruf: 13.03.2011, 14:30 Uhr

[Bha79] H.K.D.H. Bhadeshia, D.V. Edmons: The Bainite Transformation in a Silicon Steel; Metallurgical Transactions A, Volume 10A, 1979, P. 895-907

[Bha01] Bhadeshia HKDH. Bainite in steels. The University Press Oxford (2001)

[Cab05] Technical Steel Research: Novel high strength, high toughness carbide-free bainitic steels; 2005, Contract No: 7210-PR/345

[Cai11] Ming-hui Cai, Hua Ding, Young-kook Lee, Zheng-you Tang, Jian-su Zhang: Effects of Si on Microstructure Evolution and Mechanical Properties of Hot-rolled Ferrite and Bainite Dual-phase Steels; ISIJ International, Vol. 51 (2011), No. 3, P. 476-481

[Cui11] W.F. Cui, S.X. Zhang, Y. Jiang, J. Dong, C.M. Liu: Mechanical properties and hot-rolled microstructures of a low-carbon bainitic steel with Cu-P alloying; Materials Science and Engineering A 528 (2011), P. 6401-6406

[Gar01] C. García de Andrés, F.G. Caballero, C. Capdevila and D. San Martín, Revista Metalúrgica deMadrid, 37, 2001: 240-244

[Gar05] C. Garcia-Mateo, F.G. Caballero: Ultra-high-strength Bainitic Steels; ISIJ International, Vol. 45 (2005), No. 11, P. 1736-1740

[Gho04] A. Ghosh, B. Misra, S. Das, S. Chatterjee: An ultra low carbon Cu bearing steel: Influence of thermomechanical processing and ageing heat treatment on structure and properties; Materials Science and Engineering A 374 (2004), P. 43-55

[Hof10] Harald Hoffmann, Dorothea Mattissen, Thomas Wilhelm Schaumann: Advanced Cold Rolled Steels for Automotive Application; steel research international, Volume 80, Issue 1, P. 22-28

[Kaw94] Kawalla R., Lotter RNU, Pircher -H & Twickler -M. Simulation of material flow and microstructural evolution during the hot rolling of flat products. *Journal of Materials Processing Technology* (1994) **45**: pp. 477-484.

[Lóp08] E. López-Chipres, I. Mejía, C. Maldonado, A. Bedolla-Jacuinde, M-El-Wahabi, J.M. Cabrerra: Hot flow behavior of boron microalloyed steels: Materials Science and Engineering A 480 (2008) 49-55

[Mis01] R.D.K. Misra, G.C. Weatherlx, J.E. Hartmann, A.J. Boucek, Mater. Sci. Technol. 17 (2001) 1119

[Nie10] Nie Yi, Shang Cheng-jia, You Yang, Li Xiu-cheng, Cao Jian-ping, He Yin-lai: 960 MPa Grade High performance Weldable Structural Steel Plate Processed by Using TCMP; journal of Iron and Steel Research Int., 2010, P. 63-66

[Oht90] H. Ohtani, S. Okuaguchi, Y. Fujishiro and Y. Ohmori, Met. Trans. Vol. 21A, 1990, pp. 877-888

[SZ] Salzgitter Flachstahl, Lieferprogramm online, Bainitischer Stahl SZBS600 und SZBS800, http://www.salzgitter-flachstahl.de/de/Produkte/warmgewalzte_produkte/stahlsorten/Hochfeste_Sonderstaehle/ Seitenaufruf: 13.03.2011

[Wan02] Wang X & He X. Effect of boron addition on structure and properties of low carbon bainitic steels. ISIJ International (2002) 42: pp. 38 – 46

[Yas91] Yasuharu Sakuma, Osamu Matsumura, Hiroshi Takechi: mechanical Properties and Retained Austenite in Intercrtitically Heat-treated Bainit-Transforemd Steel with Their Varioation with Si and Mn Additions, Metallurgical transactions A, 1991, P. 489-498

[Bha79] Bhadeshia, H. K. D. H.:The Teory and Significance of Retained Austenite in Steels. Cambridge. : s.n., 1979. Dissertation.

[Bha83] Bhadeshia, H. K. D. H. und Edmonds, D. V.: Bainite in Silicon Steels: New Composition-Property Approach Part 1. Material Science. 1983, Bd. 17, P. 411-419.

[Han97] Hanzaki, A. Z., Hodgson, P. D. und Yue, S. 1997. Retained Austenite Characteristics In Thermodynmically Processed Si-Mn Transformationinduced Plasticity Steels. Metallurgical and Materials Transactions A. 1997, Bd. 28, P. 2405-2414.

[Jeo93] Jeong, W. C., Matlock, D. K. und Krauss, G. 1993. Observation of Deformation and Transformation Behavior of Retained Austenite in a 0.14C-1.2Si-1.5Mn With Ferrite-Bainite-Austenite Structure. Material Science. 1993, Bd. 165, P. 1-8.

[San81] Sandvik, B. P. J.; Nevalainen, H. P. 1981. Structure-Property Relationship in Commercial Low-AlloyBainitic-Austenitic Steel With High Strength, Ductility and Toughness. Metals Technology. 1981, Bd. 8, P. 213-220.

[Sug93] Sugimuoto, K. -i., et al.: Efects of Second Phase Morphology On Retained Austenite Morphology And Tenstile Properties in TRIP- aided Dual-Phase Steel Sheet. The Iron and Steel Institute of Japan. 1993, Bd. 33, P. 775-782.

СИСТЕМА РАСПОЗНОВАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА (ТС)

Шубникова И.С., Федин Д.Н.
ФГБОУ ВПО «МГИУ»

В статье рассмотрен алгоритм распознавания препятствий и определения расстояния до обнаруженных препятствий.

System of recognition obstacles for moving vehicle. Shubnikova I., Fedin D.

This article describes an algorithm for recognizing the obstacles and determine the distance to an obstacle is detected.

С задачей распознавания образов человек сталкивается постоянно с момента своего появления. С развитием вычислительной техники стало возможным решить ряд задач распознавания образов, возникающих в процессе жизнедеятельности, облегчить, ускорить, повысить качество результата. И одним из направлений тематики распознавания образов является распознавание препятствий для движущегося транспортного средства (ТС). Систему распознавания препятствий можно сконструировать по двум кардинально отличающимся подходам: с помощью двух камер или с помощью камеры и устройства, определяющего расстояние до объекта. Второй вариант более точно определяет местоположение объекта относительно ТС, на котором установлена система распознавания. Ниже представлена структурная схема устройства.

Элемент 1. Web-камера “Minoru 3D” с функцией съемки в формате 2D; поддерживаемые разрешения: 800x600, 640x480, 352x288 и 320x240. Обладает удобной многопозиционной подставкой.

Элемент 2. Лазерный дальномер фирмы BOSH, предназначен для измерения расстояния до объекта. Имеет множество режимов работы из них использован только один «Измерение глубины емкости», т.к. только в этом режиме данные с лазерного дальномера поступают потоком, а не единоразово. Данный дальномер имеет опцию связи с ПК при помощи Bluetooth адаптера, но, к сожалению, эта связь односторонняя.

Элементы 3,4. Являются средствами связи внешних устройств с персональным компьютером. Никаких особых свойств не имеют. Могут быть заменены на любые другие, выполняющие те же функции.

Элемент 5. Блок первичной обработки информации. Представляет собой часть программного кода, написанного на Delphi, служит для преобразования получаемого цветного изображения в оконтуренное черно-белое изображение и преобразования сигнала, получаемого с дальномера, в переменную для дальнейшего использования в программном коде.

Элемент 6. Блок бинаризации. Служит для преобразования черно-белого изображения в двумерный массив чисел, в котором черный цвет обозначается «1», а белый цвет «0». Это необходимо для уменьшения временной задержки на обработку изображения и ускорения работы всей системы в целом. По этой же причине программный код для этой процедуры написан на языке ассемблер.

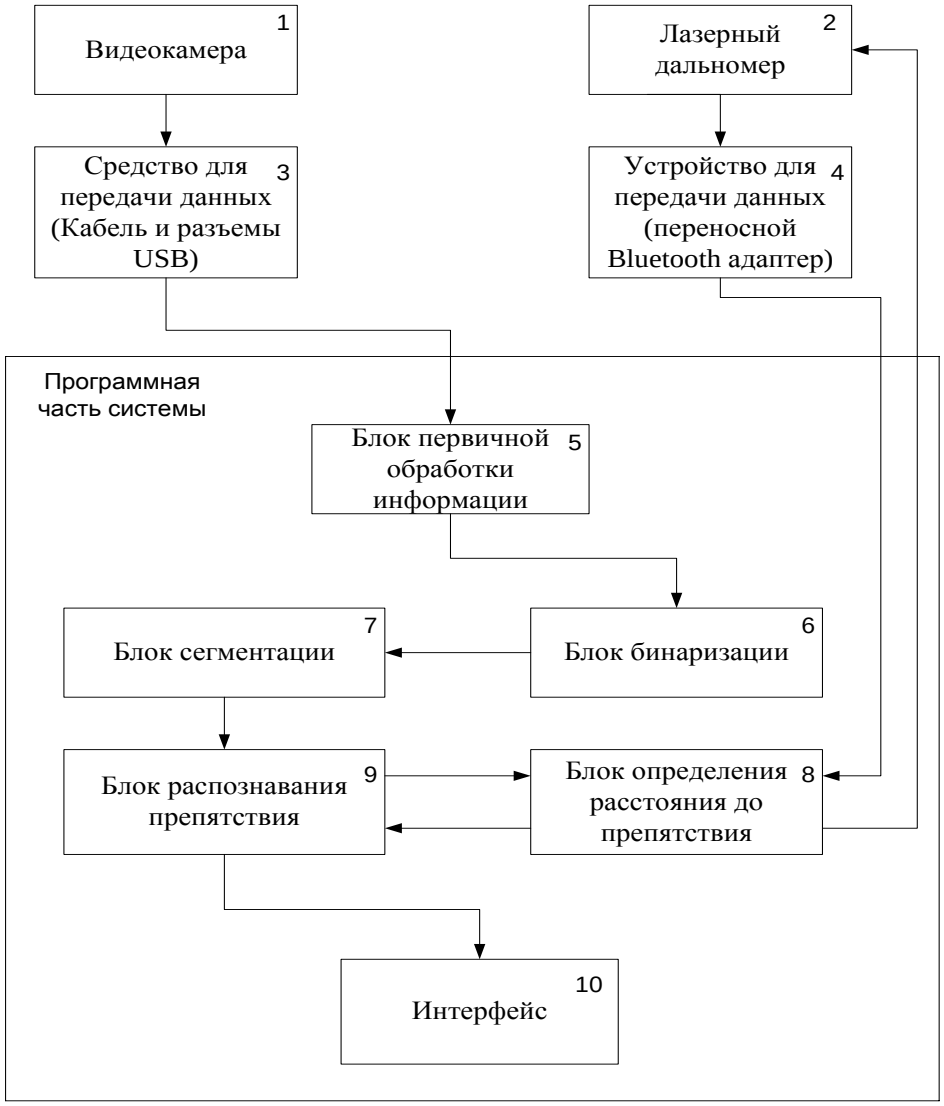


Рис. 1. Структурная схема системы распознавания препятствий.

Элемент 7. Блок сегментации. Необходим для разделения массива бинарных чисел на части с целью выделения отдельных «образов препятствий». Реализуется это разделение путем присвоения разных «меток» каждой отдельной фигуре. Выходным параметром этого элемента является матрица элементов 384x284, содержащая образы препятствий отмеченные каждой своей меткой.

Элемент 8. Блок определения расстояния до препятствия. Этот блок предназначен для управления лазерным дальномером.

Элемент 9. Блок распознавания препятствий. Этот блок обрабатывает входные данные (массив размеченных образов препятствий, массив расстояний до объекта и массив координат точек резкого перепада значений расстояний до объекта) и на выходе формирует изображение в реальном времени, на котором рамкой отмечено препятствие, выведены его координаты и расстояние до него (если реализована опция определения расстояния до объекта).

Элемент 10. Интерфейс. Этот элемент предназначен для удобства общения человека с системой. Внешний вид показан на рис. 2.

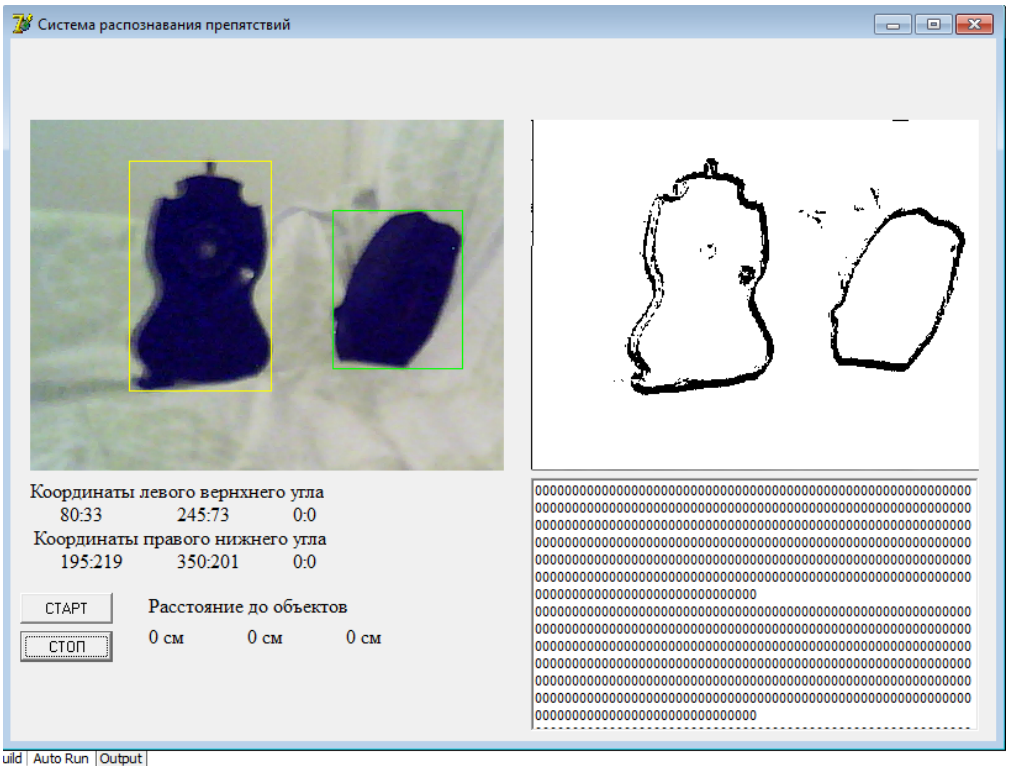


Рис. 2. Внешний вид интерфейса.

После нажатия кнопки «СТАРТ» данные с видеокамеры и лазерного дальномера начинают поступать потоком и обрабатываются в режиме реального времени. На выходе получаются оконтуренные изображения, изображение в двумерном массиве меток и изображение найденных препятствий на пути ТС. А также определяются координаты верхнего левого и нижнего правого угла этих препятствий и расстояния до обнаруженных препятствий. Все данные записываются массивами чисел в отдельный файл, что позволяет обрабатывать эти данные в различных прикладных программах. Остановить процесс распознавания можно нажатием клавиши «СТОП».

Литература

1. Y. LeCun and Y. Bengio: Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series, in Arbib, M. A. (Eds), The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press, 1995

2. Ranzato Marc'Aurelio, Christopher Poultney, Sumit Chopra and Yann LeCun: Efficient Learning of Sparse Representations with an Energy-Based Model, in J. Platt et al. (Eds), Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2006), MIT Press, 2006

3. Н. Культин, Основы программирования в Delphi 7, БХВ-Петербург, СПб., 2005, 608 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННОГО ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Горячев Н.В., Юрков Н.К.
Пенза, ПГУ.

В работе усовершенствована предложенная ранее структура информационно-измерительного комплекса (ИИК), с целью расширения её функциональных

возможностей. Фактически предложена универсальная, междисциплинарная структура ИИК позволяющая увеличить жизненный цикл комплекса как научно-исследовательского лабораторного оборудования.

Improvement of the structure of information-measuring complex. Goryachev N.V., Yurkov N.K.

In the work of the improved suggested earlier structure of information-measuring complex (ICC), with the purpose of extending its functionality. Actually proposed a universal, interdisciplinary structure of the ICC allows to increase the life cycle of the complex as the scientific-research laboratory equipment.

Развитие современных информационно-измерительных комплексов (ИИК) идёт по пути совершенствования их интеллектуальных возможностей в части обработки измерительных сигналов [1]. Одновременно возрастают требования к универсальности комплексов. В отдельных случаях, для обеспечения целостности восприятия свойств исследуемого объекта (ИО), ИИК должны обеспечивать снятие измерительных параметров не только в конкретно взятой предметной области, но и в смежных областях. Для проведения подобных исследований, не всегда удаётся использовать существующие ИИК, которые не обладают гибкой архитектурой. Последние не позволяет быстро, без изменения аппаратной части, перепрофилировать комплекс. Это обстоятельство снижает эффективность информационного измерительного оборудования, и заставляет нести дополнительные временные и материальные затраты на дооборудование лабораторий.

Для повышения эффективности ИИК, снижения затрат на модернизацию лабораторного оборудования и увеличения его жизненного цикла, авторы предлагают открытую структуру ИИК [2] показанную на рисунке 1. Структура построена на основе положений изложенных в [3].

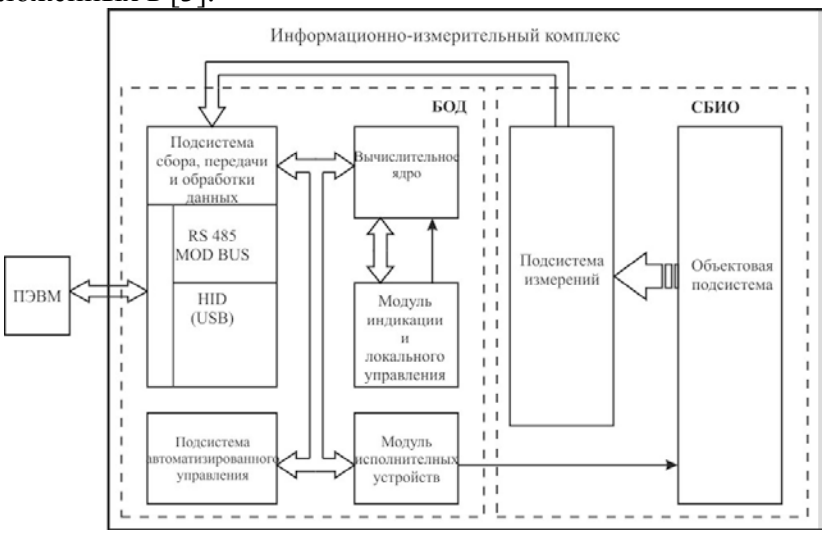


Рис.1 Открытая структура ИИК:
БОД - блок обработки данных; СБИО – сменный блок исследуемого объекта.

Блок обработки данных (БОД) включает вычислительное ядро (микроконтроллер), подсистему автоматизированного управления, подсистему сбора передачи и обработки данных, а также часть рабочего места пользователя (модуль индикации и локальные органы управления). Подсистема сбора, передачи и обработки данных осуществляет сбор и обработку сигналов с датчиков СБИО. Также эта

подсистема, используя возможности вычислительного ядра, обеспечивает математическую обработку результатов измерений и их передачу в ПЭВМ. С помощью специального программного обеспечения ПЭВМ осуществляет визуализацию полученной информации. Подсистема сбора обработки и передачи данных реализуется на специализированных интегральных схемах, которые обеспечивают требуемые протоколы передачи данных. Фактически эта подсистема реализует интерфейс технической системы (ИТС), который связывает ИИК с ПЭВМ.

Подсистема автоматизированного управления формирует внешние воздействия на ИО, и осуществляет управление всеми подсистемами БОД. Взаимодействие человека с ИИК осуществляется как с помощью органов локального управления входящих, так и с помощью ИТС, реализованного в подсистеме сбора, передачи и обработки данных.

Сменный блок исследуемого объекта (СБИО) состоит из подсистемы измерений и объектовой подсистемы. Подсистема измерений - это набор первичных преобразователей физических величин (датчиков). Объектовая подсистема представляет собой исследуемый объект.

Предложенная структура ИИК отличается от существующих образцов лабораторного практикума пространственным разделением ИО и блока обработки данных, что позволяет без изменения архитектуры БОД, (простой сменной СБИО и изменением программы исследования, заложенный в БОД), организовать исследования в различных областях. Например, при исследовании теплоотвода транзистора объектовая подсистема СБИО содержит исследуемый теплоотвод, а при исследовании работы самого биполярного или полевого транзистора объектовая подсистема будет уже содержать транзистор, при этом архитектура БОД не изменяется, меняется только программа исследования. Это и определяет возможность предлагаемой открытой структуры обеспечивать исследования в различных предметных областях.

В ходе апробации работы, авторы усовершенствовали предложенную структуру с целью наделения её возможность изучения набора исследуемых объектов и сравнением результатов измерения с математической моделью (ММ) изучаемого объекта или процесса (рисунок 2).

Физической моделью является набор СБИО. ММ является описание ИО или процесса. За счет применения наборов СБИО структура позволяет расширить функциональные возможности ИИК. В тоже время, за счет введения модуля межсистемного взаимодействия, усовершенствованная структура позволяет объединить в единой проектной среде результаты исследования ФМ и ММ. Таким образом, появилась возможность определять адекватность ММ на основе исследования ФМ СБИО.

Показанная на рисунке 2 расширенная структура может использоваться не только при исследование технических элементов и объектов. Структура найдёт эффективное применение, например, при определении концентрации тяжёлых металлов в почве, с применением электрохимических методов.

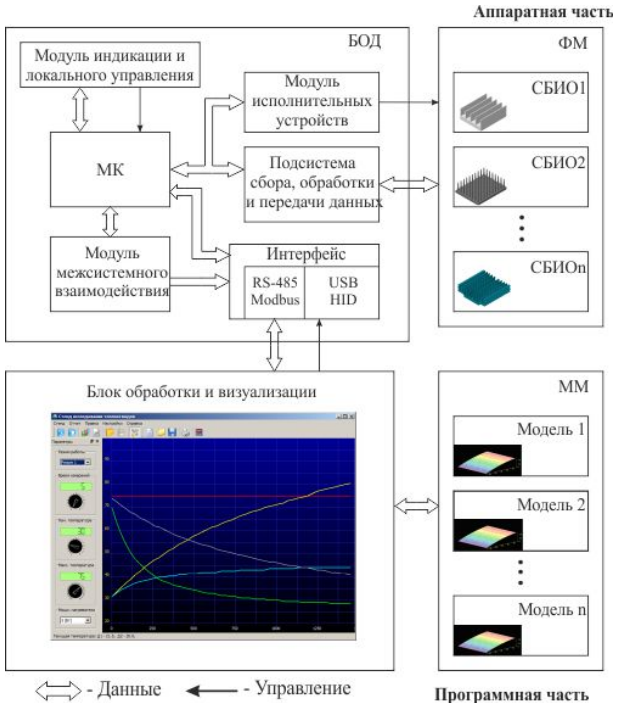


Рис.2 Расширенная структура ИИК
ФМ – физическая модель; ММ – Математическая модель.

Таким образом, предложена открытая структура, позволяет расширить функциональные возможности современного ИИК. Чёткое разделение функций БОД и СБИО увеличивает жизненный цикл ИИК, что при быстрой смене версий и инструментальных средств лабораторного практикума позволяет снизить затраты на модернизацию лабораторного оборудования.

Литература

1. Рубичев Н.А. Измерительные информационные системы: Учебное пособие. М.: Дрофа, 2010. – 334с.
2. Горячев Н.В. Информационно-измерительный лабораторный комплекс исследования теплоотводов электрорадиоэлементов/ Н.В. Горячев, А.В. Лысенко, И.Д. Граб, Н.К. Юрков //Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2012. Т. 2. С. 239-240.
3. ОСТ 9.2-98 Система разработки и постановки продукции на производство. Учебная техника для образовательных учреждений. Системы автоматизированного лабораторного практикума.

КОРРЕКЦИЯ ЭФФЕКТОВ ОПТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ В ЛИТОГРАФИИ

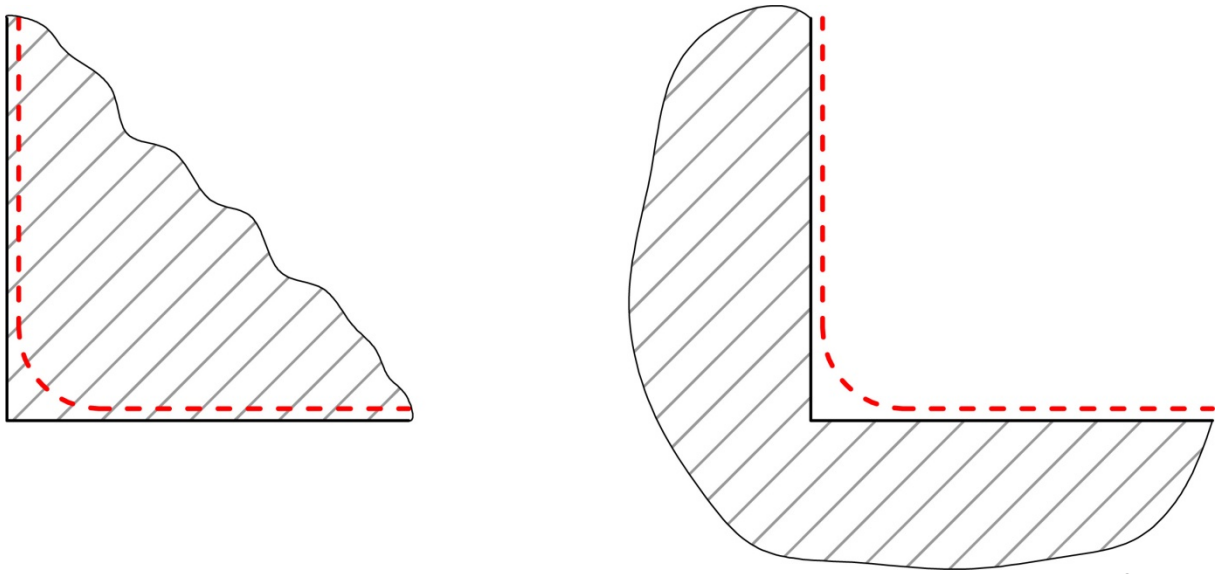
Ивашов Е.Н., Корпачев М.Ю., Костомаров П.С.
Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ

Рассмотрен один из методов преодоления дифракционного предела в литографии – коррекция эффектов оптической близости. Показаны методы практической реализации данной коррекции с помощью специальных компенсирующих элементов или «выточек».

Correction optical proximity in lithography. Ivashov E.N., Korpachev M.Y., Kostomarov P. S.

Considered one of the methods to overcome the diffraction limit in lithography - optical proximity effect correction. The methods of practical implementation of this correction with the help of special compensating elements or "grooves".

Современная ультрафиолетовая литография (УФЛ) по технологическому стандарту далеко ушла за дифракционный предел в сторону уменьшения размеров. Метод введения фазосдвигающих элементов, наряду с иммерсированием [1], обеспечивает значительное уменьшение габаритов рисунка и, в случае разности фаз в пол периода, приводит к нулевому значению сигнала.



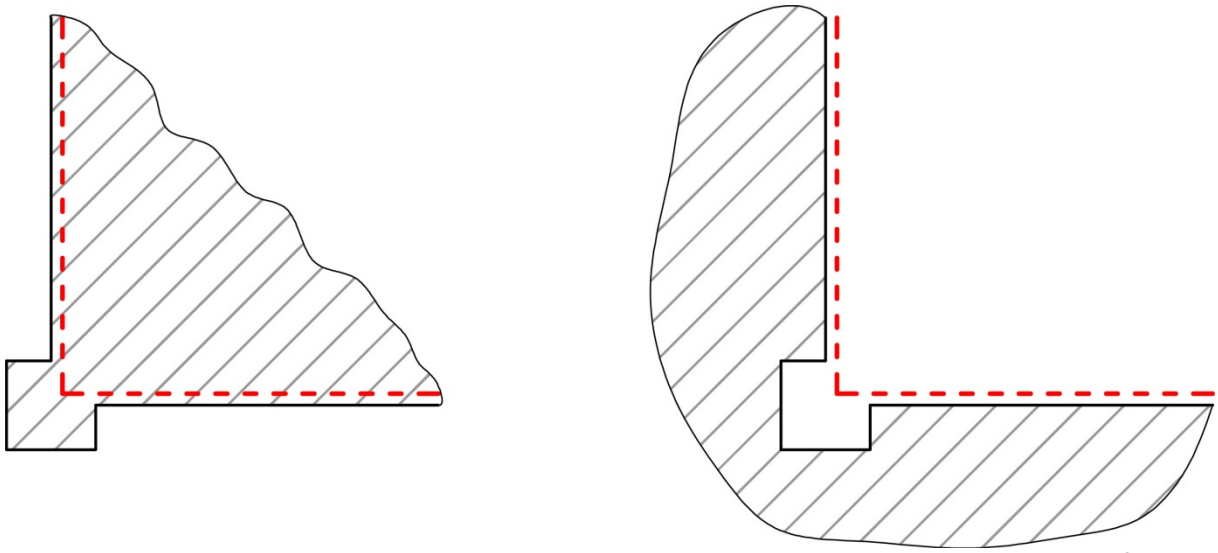
а) с углами порядка $\frac{\pi}{2}$ б) с углами порядка $\frac{3\pi}{2}$

Рис. 1. Округление прямых углов объекта, в случае отсутствия упреждающих компенсирующих элементов на фотошаблоне, пунктиром показаны реально получаемые линии.

Однако такой эффект возможен и в случае применения обращателей волнового фронта (ОВФ), например, газообразного метана под большим давлением.

При экспонировании наноизображения с размерами равными и меньшими предельного размера по Рэлею-Аббе, изображение претерпевает искажения, связанные с дифракционными явлениями (рис. 1).

Устранение таких дефектов обеспечивается введением упреждающих компенсирующих элементов на фотошаблоне (рис. 2).



а) с углами порядка $\frac{\pi}{2}$ б) с углами порядка $\frac{3\pi}{2}$

Рис. 2. Упреждающие компенсирующие элементы на фотошаблоне, пунктиром показаны реально получаемые линии.

Явление дифракции указывает на нарушение законов геометрической оптики и наблюдается на расстоянии l от препятствия $l \approx \frac{D^2}{4\lambda}$, где D – линейные размеры препятствия, λ – длина волны [2].

Усиление или ослабление света при огибании волнами видимого диапазона встреченных препятствий наблюдается при дифракции под углами φ, удовлетворяющему условию

$$b \sin\varphi = (2m+1)\frac{\lambda}{2}, \qquad m = 0; 1; 2; \ldots \tag{1}$$

– дифракционные максимумы.

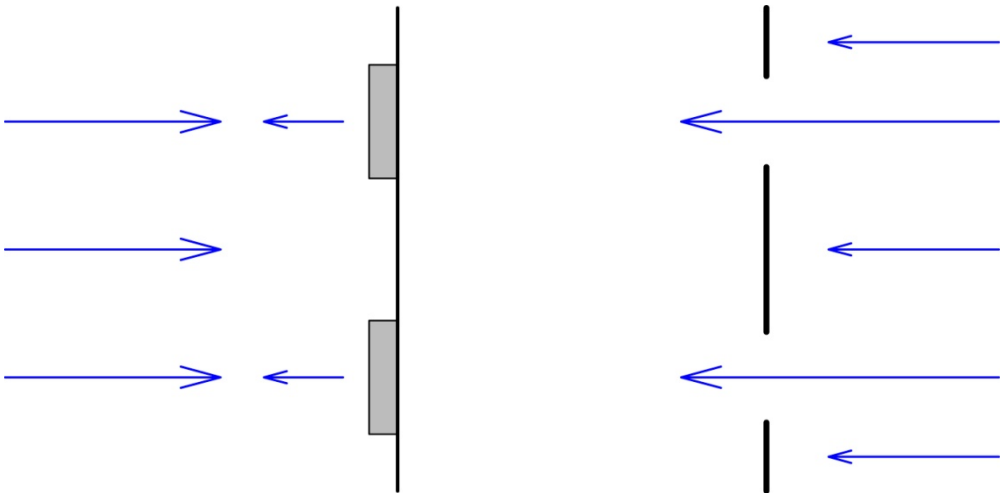
$$b \sin\varphi = 2m\frac{\lambda}{2}, \qquad m = 1; 2; 3; \ldots \tag{2}$$

– дифракционные минимумы.

Число m называется порядком дифракционного максимума или минимума.

При переходе от видимого диапазона в область длины волн глубокого ультрафиолета номенклатура прозрачных материалов резко сокращается до SiO_2 и CaF_2. В существующих литографических установках, используется излучение с длиной волны $\lambda = 193$ *нм*, для которого прозрачным материалом является CaF_2, активно используемый в просвечивающих шаблонах. Сапфир также прозрачен на длине волны $\lambda = 193$ *нм* [3].

Отражательный шаблон рассматривается структурой, в которой одни участки отражают излучение, а другие не отражают, что эквивалентно действию традиционного, просвечивающего шаблона (рис. 3).



а) отражательный шаблон б) просвечивающий шаблон

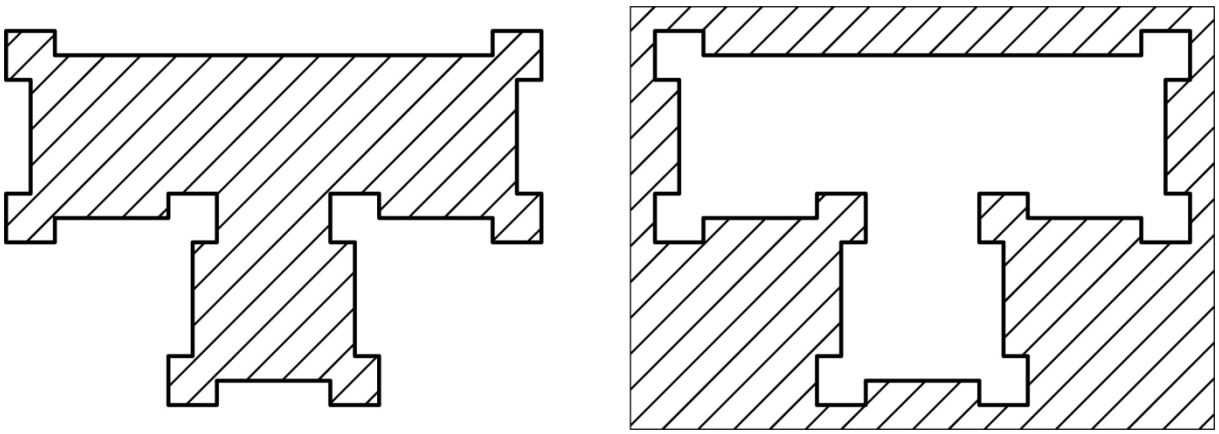
Рис. 3. Действие отражательного и просвечивающего шаблона

Алюминиевые участки отражают падающее излучение с коэффициентом отражения $R_{Al} = 0{,}92$ на длине волны $\lambda = 193$ *нм*. Темные участки выполнены из подрезистивного антиотражающего покрытия ARC DUV 42/42P фирмы Brewer Scienc обладающего коэффициентом отражения $R_{\text{ARC}} = 0{,}09$.

В более коротковолновом – экстремальном ультрафиолетовом и мягком рентгеновском диапазонах отсутствуют оптически прозрачные материалы ($\lambda \leq 13{,}5$ *нм*).

Поэтому, наиболее целесообразно использовать эксимерный лазер *ArF* с длиной волны $\lambda = 193$ *нм*, а шаблоны дополнить компенсирующими элементами.

Приемы коррекции эффектов оптической близости стали необходимыми условиями реализации технологического процесса формирования сверхбольших (СБИС) и ультрабольших (УБИС) интегральных схем (рис. 4) [5].



а) отражательный шаблон б) просвечивающий шаблон

Рис. 4. Коррекция эффектов оптической близости на шаблонах

Разрешающая способность проекционной литографии, т.е. минимальная толщина линии, которую можно получить на фоторезисте, определяется по формуле

$$h_{min} = \frac{k_1 \cdot \lambda}{n \cdot N_A} \qquad (3)$$

где n – показатель преломления среды; k_1– коэффициент пропорциональности, зависящий от типа фоторезиста и технологического процесса ($k_1 = 0{,}4 \div 0{,}8$); N_A– числовая апертура [6].

Существуют три способа уменьшения k_1:

1. Применение масок, создающих более высокий контраст в оптическом поле изображения за счёт искусственного фазового сдвига на границах элемента рисунка.
2. Обработка фоторезиста после образования в результате экспонирования т. н. «скрытого изображения», – которое делает дальнейшее ионно-плазменное проявление микрорисунка квази-вертикальным.
3. Повышение «контрастности» самого фоторезиста.

Наряду с коррекцией оптической близости существуют и другие способы преодоления дифракционного предела: введение искусственного фазового сдвига, иммерсия, двойное экспонирование и двойное создание нанорисунка (паттернирование), внеосевое освещение маски, многослойный фоторезист, силицирование в процессе проявления рисунка.

Но именно использование приёмов коррекции оптической близости позволяет наиболее эффективно преодолевать дифракционные ограничения на штатном литографическом оборудовании, без внесения изменений в его конструктивную схему и, не меняя технологический процесс ультрафиолетовой литографии. Коррекция оптической близости применима также в литографических установках использующих эффект обращения волнового фронта и отражательную оптику, что делает этот метод универсальным, широко применимым и экономически эффективным.

Литература

1. Hand A. Double Patterning Wrings More From Immersion Lithography // Semiconductor International. 2007. January. 17 p.

2. Визильтер Ю.В. Обобщенная проективная морфология / Компьютерная оптика. – Том 32, № 4 ÷ 2008 С. 384 – 399.

3. Ивашов Е.Н., Костомаров П.С. Информационная технология моделирования процессов иммерсионной ультрафиолетовой литографии // 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. 394-400.

4. Ивашов Е.Н., Корпачев М.Ю. Методы снижения характеристического размера при автоматизированном проектировании элементов СБИС // 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. 284-287.

5. Ивашов Е.Н., Костомаров П.С. Обобщенный критерий качества в информационной технологии проектирования оборудования иммерсионной ультрафиолетовой литографии // 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. 182-188.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГРЕССИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Мартюков А.С.
Москва, Московский институт электроники и математики НИУ «Высшая школа экономики»

Статья посвящена проблемам регрессионного тестирования программного обеспечения с точки зрения повышения его качества. Для этого в ней описывается модель системы, которая позволяет автоматизировать основные этапы регрессионного тестирования.

System of automated regression testing of the software. Martyukov A.

The article deals with the problems of regression testing of software in terms of improving quality. To do this, it describes a model system that allows you to automate the main stages of regression testing.

Сегодня сложно представить жизнь современного человека без информационных технологий, они присутствуют во всех сферах нашей жизни. Ежедневно нам приходится пользоваться различными техническими средствами. В них применяется всевозможное программное обеспечение, основной характеристикой которого является качество, для повышения которого при разработке программного обеспечения применяют процесс тестирования. Тестирование это процесс исследования программного обеспечения с целью определения степени его соответствия заявленным спецификациям. Наиболее часто применяемый вид тестирования – это регрессионное функциональное тестирование. Регрессионное тестирование это комплексное тестирование новой версии продукта с целью проверки, отсутствия ошибок в уже протестированных участках кода. Оно включает в себя проверку исправления ошибок, которые были найдены при предыдущем тестировании, проверку новых добавленных элементов и проверку ошибок, исправленных ранее (этот пункт не всегда выполняется, так как в нем проверяются ошибки, которые воспроизводились в более чем двух различных версиях программы).

Регрессионное тестирование состоит из следующих этапов:

1. получение новой версии продукта и входной документации;
2. анализ входной документации;
3. составление регрессионного множества тестов на основе данных анализа;
4. выполнение тестов;
5. анализ результатов выполнения тестов;
6. составление отчетной документации.

Выполнение всех этих этапов вручную может отнимать у тестировщиков достаточно много времени и всегда есть вероятность неточности в анализе или выполнении тестов. Поэтому для повышения качества продукта в процессе тестирования предлагается использовать разработанную автоматизированную систему, позволяющую на основе входной документации и множества тестов проводить тестирование, создавать отчетную документацию и формировать новое множество тестов для следующего регрессионного тестирования (на основе результатов тестирования). Модель системы представлена на рисунке 1.

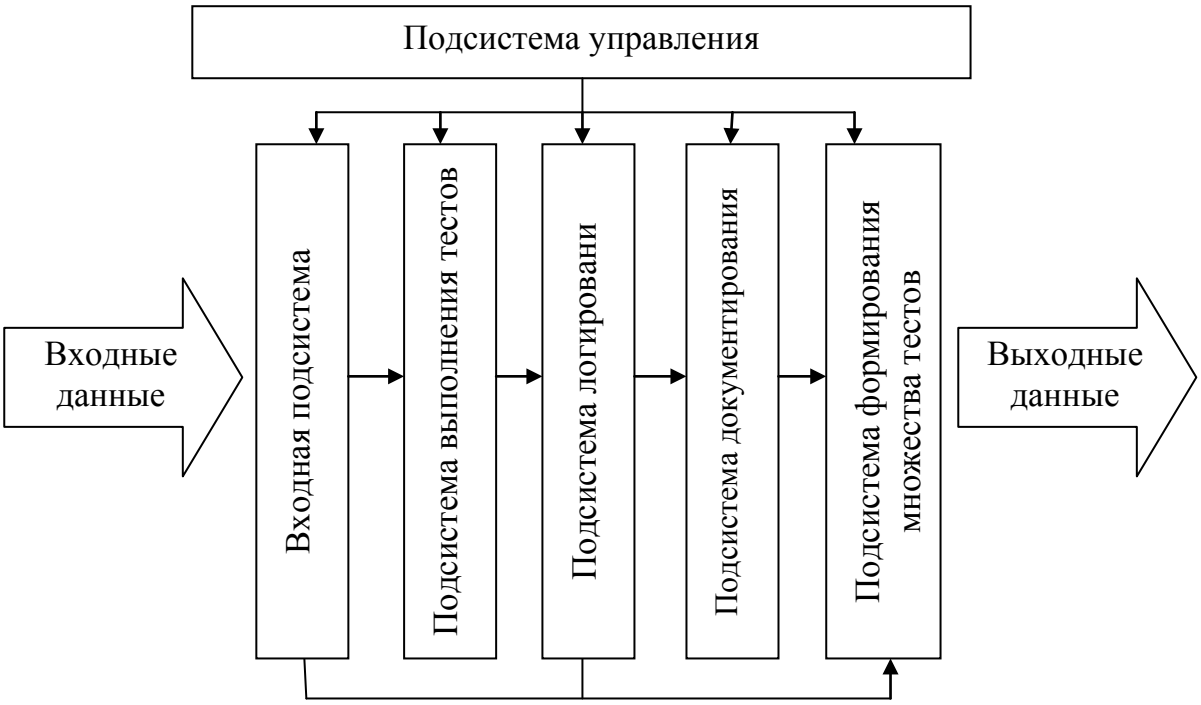


Рисунок 1 Модель автоматизированной системы

Данная система состоит из следующих подсистем:

1. Входная подсистема – анализатор входных данных, который подготавливает все данные для предстоящего тестирования. Входными данными для нее являются:

   1. множество тестов, в которое входят тесты, отобранные для проверки элементов, измененных при исправлении ошибок, найденных при прошлом тестировании и тесты для проверки новых элементов;
   2. входная документация, которая состоит из тестового плана, проектной спецификации и спецификации тестов.

2. Подсистема управления – тестовый фреймворк, в котором реализовано управление всеми элементами системы.
3. Подсистема выполнения тестов – отвечает за запуск тестов на нужных конфигурациях системы.
4. Подсистема логирования –собирает и сохраняет все данные о выполнении автоматизированных тестов.
5. Подсистема документирования – создает необходимые отчетные документы на основе данных выполнения тестов.
6. Подсистема формирования множеств тестов – формирует множество тестов для последующего регрессионного тестирования. Для этого разработана новая методика отбора тестов на основе входной документации, основывающаяся на внесении дополнительных данных о связях элементов программы в документ «Спецификация тестов». Эти связи определяются на основе анализа кода программы и технических рисков.

Работа описываемой системы начинается с запуска подсистемы управления, которая создает новую тестовую сборку и запускает обработку входных данных. После анализа всех входных данных запускается подсистема выполнения тестов, и в нее передаются все необходимые данные (тесты, наборы данных для них, описания

конфигураций системы). Параллельно с тестами запускается логирование результатов их выполнения.

После выполнения всех тестов подсистема логирования создает базу данных с результатами выполнения тестов. Когда эта база сформирована, запускается подсистема документирования, в которой создается вся отчетная документация. Затем происходит формирование множества тестов на основе входных данных и результатов выполнения тестов. После завершения работы на выходе получается отчетная документация по процессу тестирования и новое множество тестов для следующего регрессионного тестирования.

Таким образом, применение данной автоматизированной системы позволит ускорить процесс тестирования и повысить качество разрабатываемых программ, и тем самым сократит затраты на его разработку и сделает его конкурентоспособным на рынке программного обеспечения.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КЛАССА «ПРУЖИНЫ»

Монахов М.А., Фокин В.М., Лушпа И.Л.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

Наряду с электрорадиоизделиями на безотказность радиоэлектронной аппаратуры влияют механические элементы. Поэтому при создании новой (4.12) версии программного комплекса АСОНИКА-К в его базовую версию (систему АСОНИКА-К-СЧ) было решено ввести возможность расчета надежности РЭА с учетом механических элементов. В данной работе представлен анализ математической модели интенсивности отказов класса «Пружины», приведенной в американском стандарте NSWC-2011/LE10.

Research of model of failure rate of mechanical elements of the class "Springs".
Monakhov M., Fokin V., Lushpa I.

Along with electroradio products non-failure operation of the radio-electronic equipment is influenced by mechanical elements. Therefore at creation of new (4.12) versions of the ASONIKA-K program complex into its basic version (ASONIKA-K-SCh system) it was decided to enter possibility of calculation of reliability of REA taking into account mechanical elements. In this work the analysis of mathematical model of failure rate of the class "Springs" given in the American NSWC-2011/LE10 standard is submitted.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году. На надежность электронной аппаратуры лазерной локации утечек газа, размещаемой на летательном аппарате, существенно влияют механические воздействия [1]. Для снижения уровней этих воздействий применяются системы амортизации, в состав которых входят разнообразные механические элементы, в т. ч. и пружины. В расчете надежности электронной аппаратуры надежность таких элементов учитывается с помощью моделей, приведенных в [2] .В плане оценки надежности пружин больший интерес представляют модели интенсивностей отказов, приведенные в американском стандарте NSWC-2011/LE10 [3], разработанного специалистами Кардерокской дивизии ВМФ США.

Рассмотрим математическую модель эксплуатационной интенсивности отказов для группы «Пружины сжатия» класса «Пружины» (см. рис. 1), приведенную в данном стандарте.

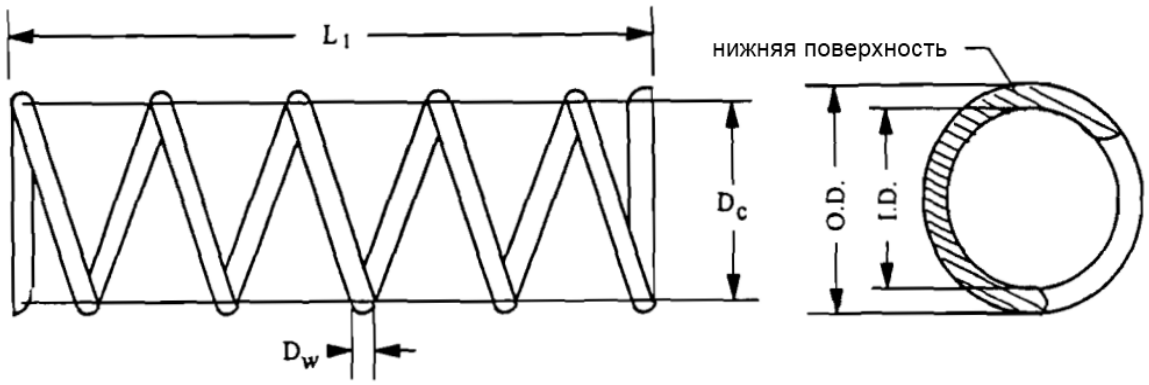


Рисунок 1. Винтовая пружина сжатия

Интенсивность отказов такой пружины зависит от нагрузки, прикладываемой к пружине и релаксацией, обеспечиваемой материалом.

Обобщенное уравнение интенсивности отказов пружины сжатия, приведенное в стандарте NSWC-2011/LE10 [1] имеет вид:

$$\lambda_{SP} = \lambda_{SP,B} \bullet C_G \bullet C_{DW} \bullet C_{DC} \bullet C_N \bullet C_Y \bullet C_L \bullet C_K \bullet C_{CS} \bullet C_R \bullet C_M \,, \quad (1)$$

где: $\lambda_{SP,B}$ - базовая интенсивность отказов пружины; C_G, C_{DW}, C_N, C_Y, C_L, C_K, C_{CS}, C_R, C_M - поправочные коэффициенты.

Значение коэффициента C_G, учитывающего величину модуля жесткости материала, рассчитывается по формуле:

$$C_G = \left(\frac{G_M}{11.5 x 10^6} \right)^3 , \quad (2)$$

где: G_M - модуль жесткости материала пружины.

Значение коэффициента C_{DW}, учитывающего величину диаметра нити, рассчитывается по формуле:

$$C_{DW} = (\frac{D_W}{0.085})^3 , \quad (3)$$

где: D_W - диаметр нити.

Значение коэффициента C_{DC}, учитывающего величину диаметра витка, рассчитывается по формуле:

$$C_{DC} = (\frac{0.58}{D_C})^6 , \quad (4)$$

где: D_C - средний диаметр пружины.

Значение коэффициента C_N, учитывающего количество активных витков, рассчитывается по формуле:

$$C_N = (\frac{14}{N_A})^3, \quad (5)$$

где: N_A = количество активных витков.

Значение коэффициента C_Y, учитывающего сопротивляемость растяжению материала пружины, рассчитывается по формуле:

$$C_Y = \left(\frac{190}{T_S}\right)^3, \quad (6)$$

где: T_S - предел прочности материала на разрыв.

Значение коэффициента C_L, учитывающего воздействие отклонения пружины, рассчитывается по формуле:

$$C_L = (\frac{\theta}{61.2})^3, \quad (7)$$

где: θ - отклонение пружины.

Значение коэффициента C_K, учитывающего воздействие сжатия пружины, рассчитывается по формулам:

$$C_K = (\frac{K_W}{1.219})^3, \; K_W = \frac{4r-1}{4r-4} \div \frac{0.615}{r}, \; r = \frac{D_C}{D_W}, \quad (8)$$

где: D_C - диаметр витка; D_W - диаметр нити.

Значение коэффициента C_{CS}, учитывающего воздействие частоты нагружения пружины, определяется как:

CR $\leq$ 30 цикл/минута, C_{CS} = 0.1

30 <CR <300 цикл/м $C_{CS} = \frac{CR}{300}$ (9)

CR > 300 цикл/минута, $C_{CS} = \left(\frac{CR}{300}\right)^3$

где: CR - частота нагружения пружины.

Значение коэффициента C_R, учитывающего влияние коррозии, принимается равным 1,0 при наличии антикоррозийного покрытия, в противном случае значение C_R определяется исходя из коррозионной стойкости материала пружины к воздействию окружающей среды.

Значение коэффициента C_M, учитывающего качество производственного процесса, принимается равным 1,0 при наличии у производителя аттестованной системы менеджмента качества, в противном случае значение C_M принимается равным значению, предоставленному производителем.

Анализ моделей (1)-(9), в соответствии с принятой классификацией [4], позволил сформировать следующую классификацию параметров и коэффициентов модели интенсивности отказов для группы «Пружины сжатия», приведенную в табл. 1.

Таблица 1. Классификация параметров и коэффициентов модели интенсивности отказов

Обозначение	Наименование	Значение	Ед. измерения	Примечание
1	2	3	4	5
Параметры ТУ				
-	Типономинал пружины	-	-	ТУ на пружину
D_w	Диаметр нити	-	in	ТУ на пружину
D_c	Диаметр витка пружины	-	in	ТУ на пружину
N_a	Количество активных витков	-	-	ТУ на пружину
L_1	Длина пружины	-	in	ТУ на пружину
C_R	Коррозионное покрытие	-	-	ТУ на пружину
C_M	Качество производственного процесса	-	-	ТУ на пружину
-	Марка материала пружины	-	-	ТУ на пружину
Параметры режима применения				
CR	Частота нагружения пружины	-	cycles/min	ТЗ на аппаратуру
θ	Отклонение пружины	-	revolutions	-
L_2	Длина пружины под нагрузкой	-	in	-
Эмпирические коэффициенты				
$\lambda_{SE, B}$	Базовая интенсивность отказов пружины	Из БД	h^{-1}	NSWC-2011/LE10
G_M	Модуль жесткости	Из БД	lb/in^2	ТУ на материал
T_S	Предел прочности	Из БД	lb/in^2	ТУ на материал

На основании данной таблицы ведется разработка базы данных для этого класса [5-7]. Пользователю необходимо будет выбрать типономинал пружины (номер ТУ), после чего определиться все параметры из ТУ, необходимые для расчета. После этого останется только ввести данные из ТЗ и характеристики режима применения. Если в БД нет необходимых данных, то пользователю будет выведено окно, в котором необходимо внести все данные «вручную».

Литература

1. Маркин, А.В. Методы оценки надёжности элементов механики и электромеханики электронных средств на ранних этапах проектирования. / А.В. Маркин, С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. // Надёжность. - 2010. - № 2. - с. 63-70.

2. Полесский, С. Обеспечение надёжности НКРТС. / С.Н. Полесский, В.В. Жаднов. - LAMBERT Academic Publishing, 2011. - 280 с.

3. NSWC-2011/LE10. Handbook of Reliability prediction Procedures for Mechanical Equipment.

4. Zhadnov, V. Methods and means of the estimation of indicators of reliability of mechanical and electromechanical elements of devices and systems. / V. Zhadnov. // Reliability: Theory & Applications: e-journal. - 2011. - Vol. 2, No 4. - p. 94-102.

5. Монахов, М.А. Разработка базы данных по характеристикам надежности механических элементов. / М.А. Монахов. // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. V Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 1 февр. 2013 г. - Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013. [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

6. Монахов, М.А. Разработка баз данных для расчета интенсивности отказов механических элементов в системе АСОНИКА-К-СЧ. / М.А. Монахов. // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции учащихся и студентов: в 2 ч. - Протвино: Управление образования и науки, 2013. - ч. 2.

7. Монахов, М.А. Разработка базы данных программного комплекса АСОНИКА-К для расчета надежности радиоэлектронной аппаратуры с учетом механических элементов. / М.А. Монахов. // Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ НИУ ВШЭ. Тезисы докладов. - М.~: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013.

ОТПИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОДНОГО ВИДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Николаев Д.П.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В статье приведена и исследована модель прецизионной финишной обработки замкнутых внутренних сферических поверхностей из твердых хрупких материалов с целью определения оптимальных режимов обработки.

The optimization of operation applied for one type of technological process. Nikolaev D.

This article describes the research of precision finishing model of closed internal spherical surfaces made of hard brittle materials with a view to determinate optimal method of operation.

Для обработки деталей приборов сложной геометрической формы прецизионной точности из керамики, ферритов, кварца и других хрупких материалов обработан и оптимизирован способ финишной доводки деталей замкнутой формы в собранном состоянии. Этот вид обработки использует силы трения, вращения и центробежные силы для усилия и для усилия и поджатия между обрабатываемой деталью и режущим инструментом, а также ориентации в пространстве.

Математическая модель процесса представляет собой систему дифференциальных уравнений. Требуется найти длину и площадь зон обработки, а также дисперсию плотности точек контакта режущего инструмента по обрабатываемой поверхности.

На основании выведенных формул решение задачи по оптимизации режимов реализована ЭВМ, позволившая определить параметры процесса. Так точность доводки

замкнутых деталей находится в прямой зависимости от характера относительного движения обрабатываемой детали и режущего инструмента, то параметры взаимосвязаны с режимами обработки, которые определены и оптимизированы при данном способе обработки.

Основное требование этого вида финишной обработки состоит в том, чтобы при относительном движении обрабатываемой детали и режущего инструмента вероятность контактирования оси инструмента со всеми точками обрабатываемой поверхности была бы одинаковая при минимальной погрешности детали.

Метод обработки принципиально отличается от известных способов тем, что одновременно полностью обрабатывается замкнутая сложная поверхность, на ней нет особых зон точек, которые находятся в особых условиях, как, например, экваториальная зона и полюс при обработке деталей на специальных дорогостоящих и сложных доводочных станках.

Преимуществом метода перед другими схемами обработки является то, что обработка пары базовых деталей осуществляется совместно и в собранном виде.

В погрешность геометрии входит лишь несферичность каждой детали и погрешность сборки, которые при этом составляют десятые доли микрона с достаточно высокой стабильностью размеров, что устраняет подбор деталей при сборке удлиняет сроки эксплуатации.

Вектором управления в этом процессе является

$$f(t) = f(\omega, d, v, u)$$

где ω, d, v, u – управляющие параметры, меняющие свои значения до определенных величин.

Задачей является получение $\min \sigma(\gamma) = (\sigma_1, \ \sigma_2, \ldots, \sigma_n)$, характеризующая обработку сложной поверхности на оптимальных режимах, т.е. требуется подобрать такие параметры, которые обеспечивали бы min. время обработки с наилучшей геометрией и шероховатостью рабочей поверхности со стабильность размеров.

Учитывая действие силы трения, качения, вращения и отсутствие скольжения технологического шара для определения угловых скоростей, в результате выполненных расчетов получена система уравнений, описывающих обработку детали в сложной системе координат XYZ, связанной с технологическим шаром

$$\begin{cases} \Omega_X = (R-2)\,\omega/2cosd_0 + (R-2)\omega tand_0 cos\,\omega t/r \\ \Omega_Y = [(R-2)\omega tand_0 sin\omega t]\,/r \\ \Omega_L = R\omega/r \end{cases} \quad (1)$$

где Ω, ω – угловые скорости вращения;

R – радиус шара;

r – радиус детали;

обозначив: $(R-2)\,\omega/2cosd_0 = L$

$(R-2)\,\omega tand_0/r = M$

$R\omega/r = N$

имеем

$$\begin{cases} \Omega_X = L + Mcos\omega t \\ \Omega_Y = Msin\omega t \\ \Omega_L = N \end{cases} \quad (2)$$

Для определения оптимальных режимов обработки выпишем матрицу преобразования системы координат ξηζ, связанной с режущим инструментом, в систему координат XYZ, связанную с обрабатываемой деталью.

$$A_{(\xi\eta\zeta\to XYZ)} = \begin{bmatrix} C_X^{\xi} & C_X^{\eta} & C_X^{\zeta} \\ C_Y^{\xi} & C_Y^{\eta} & C_Y^{\zeta} \\ C_Z^{\xi} & C_Z^{\eta} & C_Z^{\zeta} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Пусть $\overline{N} = \begin{bmatrix} n_\xi \\ n_\eta \\ n_\zeta \end{bmatrix}$ и $\overline{M} = \begin{bmatrix} m_X \\ m_Y \\ m_Z \end{bmatrix}$ (4)

– единичные векторы соответственно систем ξηζ и XYZ.

Тогда $\overline{m} = A_{(\xi\eta\zeta\to XYZ)}\,\overline{n}$ (5)

Положение любого орта m базиса M в ξηζ определяется тремя следующими направляющими косинусами

$$\begin{cases} \overline{m_X} = C_X^{\xi}\overline{n_\xi} + C_X^{\eta}\overline{n_\eta} + C_X^{\zeta}\overline{n_\zeta} \\ \overline{m_Y} = C_Y^{\xi}\overline{n_\xi} + C_Y^{\eta}\overline{n_\eta} + C_Y^{\zeta}\overline{n_\zeta} \\ \overline{m_Z} = C_Z^{\xi}\overline{n_\xi} + C_Z^{\eta}\overline{n_\eta} + C_Z^{\zeta}\overline{n_\zeta} \end{cases}$$

Или $\overline{m_i} = C_i^{\xi}\overline{n_\xi} + C_i^{\eta}\overline{n_\eta} + C_i^{\zeta}\overline{n_\zeta}$ (6)

где i = XYZ. Определим линейную скорость перемещения конца орта $\overline{m_i}$ относительно базиса $\overline{N}$

$$\overline{m_i} = \Omega_X \overline{m_i}$$

где $\Omega = \begin{bmatrix} \Omega_\xi \\ \Omega_\eta \\ \Omega_\zeta \end{bmatrix}$ (7)

найдем производную (6).

$\overline{m_i} = \dot{C}_i^{\xi}\overline{n_\xi} + \dot{C}_i^{\eta}\overline{n_\eta} + \dot{C}_i^{\zeta}\overline{n_\zeta}$ (8). Приравняв (7) И (8)

$$\dot{C}_i^{\xi}\overline{n_\xi} + \dot{C}_i^{\eta}\overline{n_\eta} + \dot{C}_i^{\zeta}\overline{n_\zeta} = \begin{bmatrix} \overline{n_\xi} & \overline{n_\eta} & \overline{n_\zeta} \\ \Omega_\xi & \Omega_\eta & \Omega_\zeta \\ C_i^{\xi} & C_i^{\eta} & C_i^{\zeta} \end{bmatrix} =$$

$$= \overline{n_\xi}\left(\Omega_\eta C_i^{\zeta} - \Omega_\zeta C_i^{\eta}\right) - \overline{n_\eta}\left(\Omega_\zeta C_i^{\xi} - \Omega_\xi\, C_i^{\zeta}\right) - \overline{n_\zeta}\left(\Omega_\xi C_i^{\eta} - \Omega_\eta C_i^{\xi}\right)$$

$$\begin{cases} \dot{C}_i^{\xi} = \Omega_\eta C_i^{\zeta} - \Omega_\zeta C_i^{\eta} \\ \dot{C}_i^{\eta} = \Omega_\zeta C_i^{\xi} - \Omega_\xi\, C_i^{\zeta} \\ \dot{C}_i^{\zeta} = \Omega_\xi C_i^{\eta} - \Omega_\eta C_i^{\xi} \end{cases} \quad (9)$$

Получена система дифференциальных уравнений, позволяющая определить положение системы координат XYZ относительно системы ξηζ. Это остается справедливым для произвольного поворота на любые величины углов.

Определим положение точки контакта режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью в системе координат, связанной с системой. Точка N пересечения оси инструмента с обрабатываемой деталью наилучшим образом характеризует положение режущей части инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Так как ось инструмента совпадает с осью η системы ξηζ, то в данной системе координат вектор $\overline{\rho N}$, соединяющий центр шара с точкой N, запишем в виде $\overline{\rho N_{\xi\eta\zeta}} = \begin{bmatrix} r_c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$, где r_c – радиус обрабатываемой детали. Тогда

$$\overline{\rho N_{\xi\eta\zeta}} = \begin{bmatrix} C_X^\xi & C_X^\eta & C_X^\zeta \\ C_Y^\xi & C_Y^\eta & C_Y^\zeta \\ C_Z^\xi & C_Z^\eta & C_Z^\zeta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ r_c \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_X^\eta & r_c \\ C_Y^\eta & r_c \\ C_Z^\eta & r_c \end{bmatrix}, \quad (10)$$

Для определения значения элементов матрицы $C_X^\xi C_X^\xi C_X^\xi$ решив систему (10), получим отсюда систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{C}_X^\xi = \Omega_\eta C_X^\zeta - \Omega_\zeta C_X^\eta \\ \dot{C}_X^\eta = \Omega_\zeta C_X^\xi - \Omega_\xi C_X^\zeta \\ \dot{C}_X^\zeta = \Omega_\xi C_X^\eta - \Omega_\eta C_X^\xi \\ \dot{C}_Y^\xi = \Omega_\eta C_Y^\zeta - \Omega_\zeta C_Y^\eta \\ \dot{C}_Y^\eta = \Omega_\zeta C_Y^\xi - \Omega_\xi C_Y^\zeta \\ \dot{C}_Y^\zeta = \Omega_\xi C_Y^\eta - \Omega_\eta C_Y^\xi \\ \dot{C}_Z^\xi = \Omega_\eta C_Z^\zeta - \Omega_\zeta C_Z^\eta \\ \dot{C}_Z^\xi = \Omega_\eta C_Z^\zeta - \Omega_\zeta C_Z^\eta \\ \dot{C}_Z^\zeta = \Omega_\xi C_Z^\eta - \Omega_\eta C_Z^\xi \end{cases} \quad (11)$$

позволяющую определить положение точек контакта режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью в системе координат, связанной с деталью и описывающей его движение. Задавая начальные условия t = 0 и совпадения базисов N=M, имеем

$C_k^i|_{t=0} = \delta_{ik}$ где $\delta_{ik} = \begin{cases} 1, & i = k \\ 0, & i \neq k \end{cases}$

Подставляя значения $C_X^\eta C_Y^\eta C_Z^\eta$ из (11) в (10)

$$\begin{cases} N_X = C_X^\eta r \\ N_Y = C_Y^\eta r \\ N_Z = C_Z^\eta r \end{cases} \quad (12)$$

где N_X, N_Y, N_Z – координаты точки N в XYZ, связанной с деталью.

Траектория движения точки N в сферических координатах, характеризующая реальную систему, выразится

$$\begin{cases} R = \sqrt{N_X^2 + N_Y^2 + N_Z^2} = r \\ \alpha = arctg\, N_Y/N_X = arctg\, C_Y^\eta/C_X^\eta \\ \beta = arcos\, N_Y/2 = arcos\, C_Z^\eta \end{cases} \quad (13)$$

Для определения дисперсии плотности точек контакта на рабочей поверхности деталей задаются зоны, содержащие равные углы Δα и Δβ.

Для этого рабочая поверхность детали разбивается на параллели и меридианы. Каждая зона обозначена двумя индексами: n – номер параллели, m – номер меридиана.

Задавая угловой размер зон, можно определить их необходимое количество. Шаг и время интегрирования выбираются из условия получения общей информации по характеру движения режущего инструмента по обрабатываемой детали при минимальном времени счета на ЭВМ. В результате расчетов определена формула длины траектории в зоне.

$$L_{mn} = \int_{k_i}^{k_j} \sqrt{[\dot{\alpha}(t)]^2 + \left[\dot{\beta}(t)\right]^2 dt} \quad (14)$$

$l_{mn} = l'_{mn} + L_{mn}$ - суммарная длина траектории в зоне.

$S_{mn} = \frac{1}{2}\{\sin[(n-1)\Delta\beta] + \sin\Delta\beta\}\Delta\alpha\Delta\beta$ – площадь зоны.

Использую эти выражения по выведенной формуле вида

$$\sigma(\gamma) = \sum_{m=n=1}^{\substack{m=2\pi/\Delta\alpha \\ n=\pi/\Delta\beta}} \gamma_{mn} + S_{mn}\left[L_{mn}\frac{\Delta t}{t} - S_{mn}\right]^2, \quad (15)$$

вычисляется дисперсия плотности точек контакта режущего инструмента и обрабатываемой поверхности, где $\gamma_{mn} = l_{mn}/S_{mn}$ – плотность линии в зоне.

Выразив управляющие параметры через приращения функций

$\sigma(\omega + \Delta\omega, \alpha, \upsilon, u) = 0;$

$\sigma(\omega, \alpha + \Delta\alpha, \upsilon, u) = 0;$

$\sigma(\omega, \alpha, \upsilon + \Delta\upsilon, u) = 0;$

$\sigma(\omega, \alpha, \upsilon, u + \Delta u) = 0;$

Определяется $\min\sigma(\gamma) = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$ и оптимальные режимы обработки: $\omega, \alpha, \upsilon, u.$

Заключение

Полученные результаты прецизионной финишной обработки замкнутых сферических поверхностей из хрупких материалов при обработке деталей приборов являются адекватными и с достаточной точностью совпадают с заданными режимами.

Опытные образцы, обработанные на оптимальных режимах процесса, показали, что время обработки по сравнению с базовым методом сократилось в 2-2,5 раза. Точность размеров по геометрии, класс чистоты рабочих поверхностей и стабильность процессов повысились на порядок.

Таким образом, оптимизация технологического процесса финишной обработки обеспечивает устойчивые стабильные и положительные результаты по всем рабочим параметрам.

Литература

1. Демидович Б.П. – Лекции по математической теории устойчивости М., Наука, 1997.

2. Черноусько Ф.А., Колмановский В.Б. – Оптимальное управление при случайных возмущениях М., Наука, 2008.

3. Болтянский В.Г. – Оптимальное управление М., Наука, 1999.

4. Дегтярев Ю.И. – Методы оптимизации М., Сов. радио, 1980.

5. Колмановский В.Б., Носов В.Р.- Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последствием М., Наука 2001.

6. Пельпор Д.С. – Гидравлические системы часть 1-2 М., В.ш, 1981.

7. Костин А.Е. – Автоматические системы оптимального управления технологическими процессами Тула ТПИ, 1980

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТОВ ПРОГРАММ TCAD И HSPICE ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЯЧЕЙКАХ КМОП ИС С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА САМОРАЗГРЕВА

Петросянц К.О., Харитонов И.А., Попов Д.А.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В работе приведены результаты приборно-технологического (TCAD) и схемотехнического (HSPICE) моделирования переходных процессов в ячейках КМОП ИС, изготовленных по технологии «кремний на изоляторе», с учетом влияния эффекта саморазгрева. Исследовано влияние периода входного сигнала на температуры активных областей транзисторов. Электрические и тепловые параметры структур КМОП КНИ транзисторов, полученные на этапе TCAD моделирования, использованы на этапе схемотехнического моделирования составленных из этих транзисторов схем.

CMOS SOI cells transients simulation with account for self-heating effects using TCAD and HSPICE software tools. Petrosyants K., Kharitonov I., Popov D.

CMOS SOI cells transients were simulated using device (TCAD) and circuit (HSPICE) software tools taking into account the self-heating effects. Effect of signal cycle duration on transistors temperature was analyzed. MOSFET structures electrical and thermal parameters were defined from the TCAD simulation results and than were used for cell circuit simulation with HSPICE.

Вследствие постоянного прогресса в технологии производства КМОП схем плотность транзисторов на кристалле постоянно возрастает. Увеличение плотности транзисторов на кристалле и возрастание рабочих частот схем приводят к увеличению мощности, рассеиваемой на кристалле и возрастанию его температуры. Увеличение температуры, в свою очередь, снижает надежность транзисторов и кристалла в целом, ухудшает производительность схемы, увеличивает токи утечки. Технология «кремний на изоляторе» (КНИ) (SILICON-ON-INSULATOR (SOI)) является перспективным направлением развития КМОП технологии, т.к. позволяет устранить эффект защелкивания в КМОП схемах, уменьшить емкости транзисторов и проявление короткоканальных эффектов, повысить стойкость КМОП к воздействию одиночных тяжелых частиц («случайные сбои»). К сожалению, наличие диэлектрической изоляции (слоя SiO_2) в КНИ схемах приводит к худшему отводу тепла от КМОП транзисторов. Связано это с меньшей теплопроводностью слоя SiO_2, используемого в качестве скрытого слоя изолятора, по сравнению с объемным кремнием (примерно 0.2-1.4 Вт/(м С) для SiO_2 и 70-148 Вт/(м С) для Si) [1]. Ухудшение условий отвода тепла в КНИ схемах зависит от толщины скрытого слоя SiO_2 , толщины активного слоя кремния, длины канала транзистора.

На рис. 1 приведен пример измеренных зависимостей температуры канала транзистора от статической потребляемой мощности для разной толщины скрытого слоя SiO_2 в сравнении с объемной КМОП технологией из работы [2]. Из приведенных на рис. 1 зависимостей видно, что с уменьшением толщины активного слоя кремния условия отвода тепла от КНИ МОП транзисторов существенно ухудшаются.

На температуру КНИ КМОП транзисторов оказывают влияние как конструктивно-технологические параметры транзисторов (размеры, толщины слоев), так и рабочие частоты схемы, тепловые параметры кристалла, корпуса микросхемы и ее охлаждения [5].

Моделирование тепловых режимов и определение тепловых параметров отдельных КНИ КМОП транзисторов с учетом особенностей их структур в ряде работ проводится с помощью систем приборно-технологического моделирования (TCAD) [3].

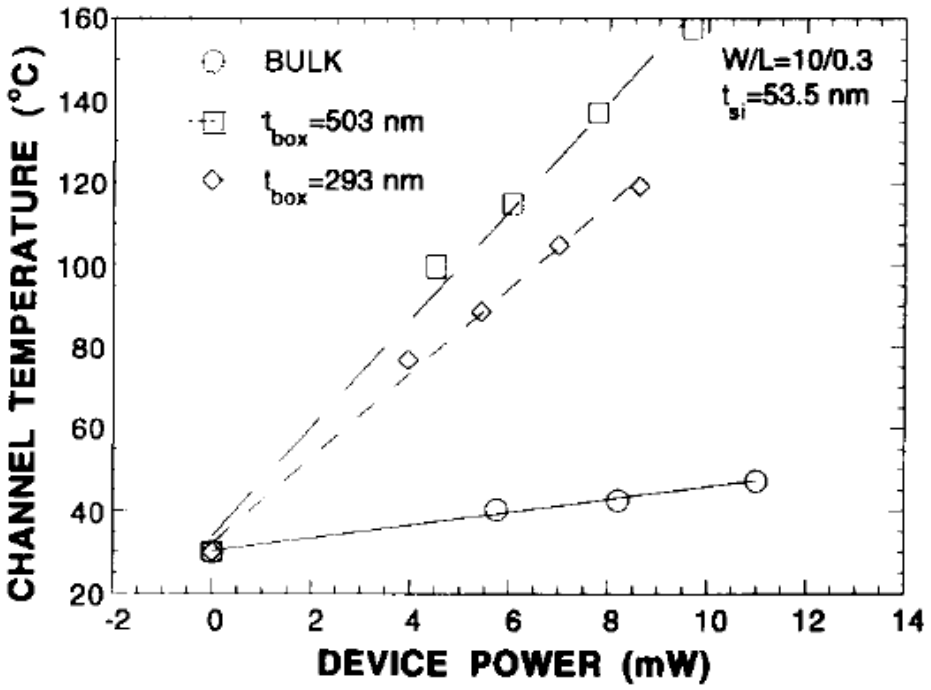


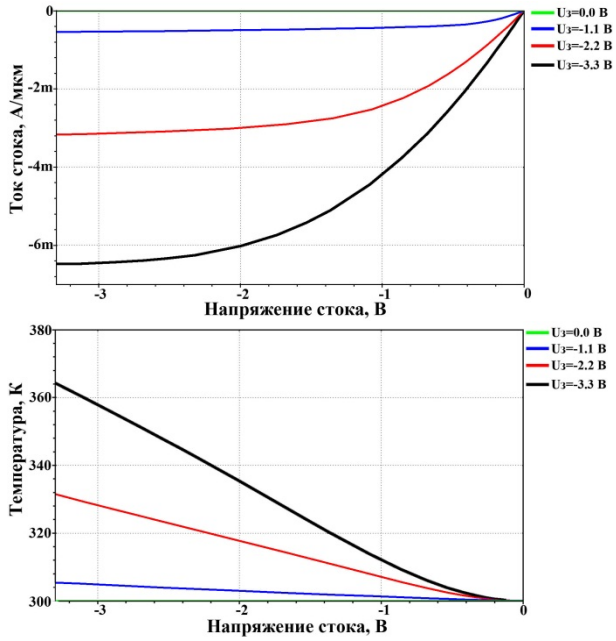
Рис.1 Экспериментально полученные зависимости температуры каналов МОП транзисторов от рассеиваемой на транзисторе мощности для разных значений толщин слоя скрытого окисла [2]

Для анализа тепловых процессов в фрагментах схем с учетом параметров рабочих сигналов и тепловых параметров корпуса микросхемы используются электро-тепловые схемотехнические модели и пакеты схемотехнического (SPICE) моделирования [5, 7]. К сожалению, в рамках TCAD моделирования очень сложно (вследствие больших затрат машинного времени) учесть плавное возрастание температуры элементов за большое количество тактов работы схемы. Для SPICE моделирования достаточно сложно получать тепловые параметры отдельных транзисторов.

В данной работе отработан сквозной TCAD -> SPICE расчет температур КМОП транзисторов на диэлектрической подложке с учетом, как особенностей структур транзисторов, так и особенностей работы схем.

1. Моделирование тепловых процессов в структурах КНИ КМОП транзисторов с помощью пакета приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD.

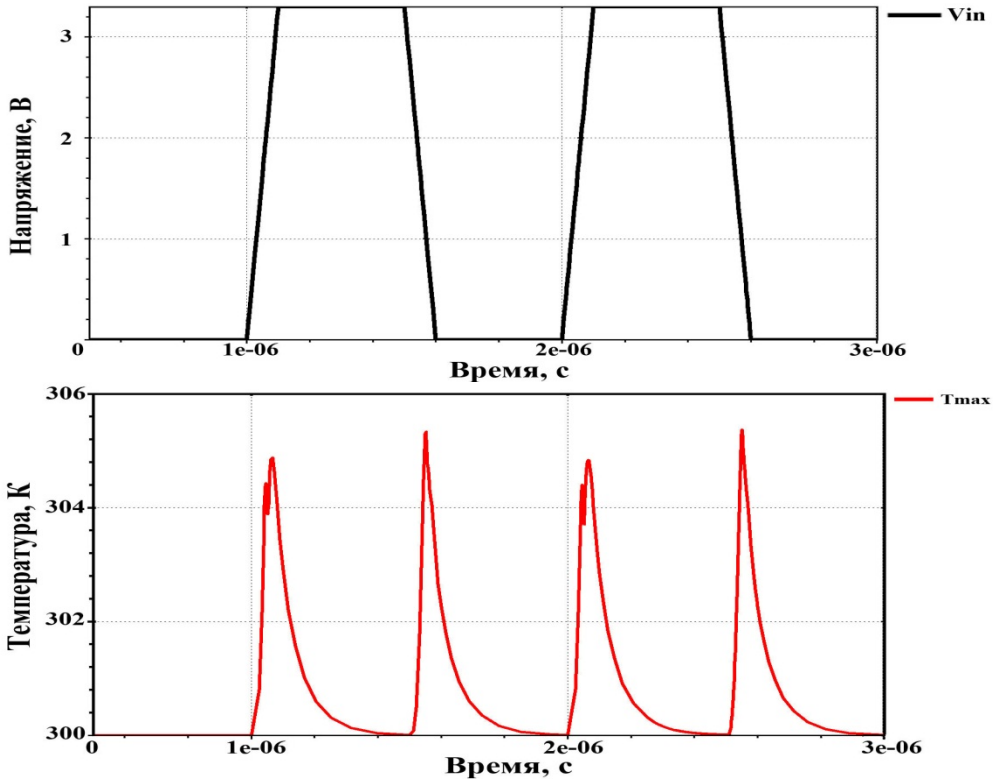
Моделировались структуры КНИ КМОП транзисторов с длиной канала 0.35 мкм, толщиной подзатворного оксида 8.6 нм, толщиной скрытого слоя и пленки кремния по 190 нм. TCAD модель была настроена на данный вариант технологии с использованием тестовых транзисторов. На рис. 2 приведены рассчитанные с помощью TCAD выходные ВАХ p-канального транзистора с учетом эффектов саморазогрева. Приведены характеристики, смоделированые для значений напряжения на затворе 0 В, -1.1 В, -2.2 В, -3.3 В.



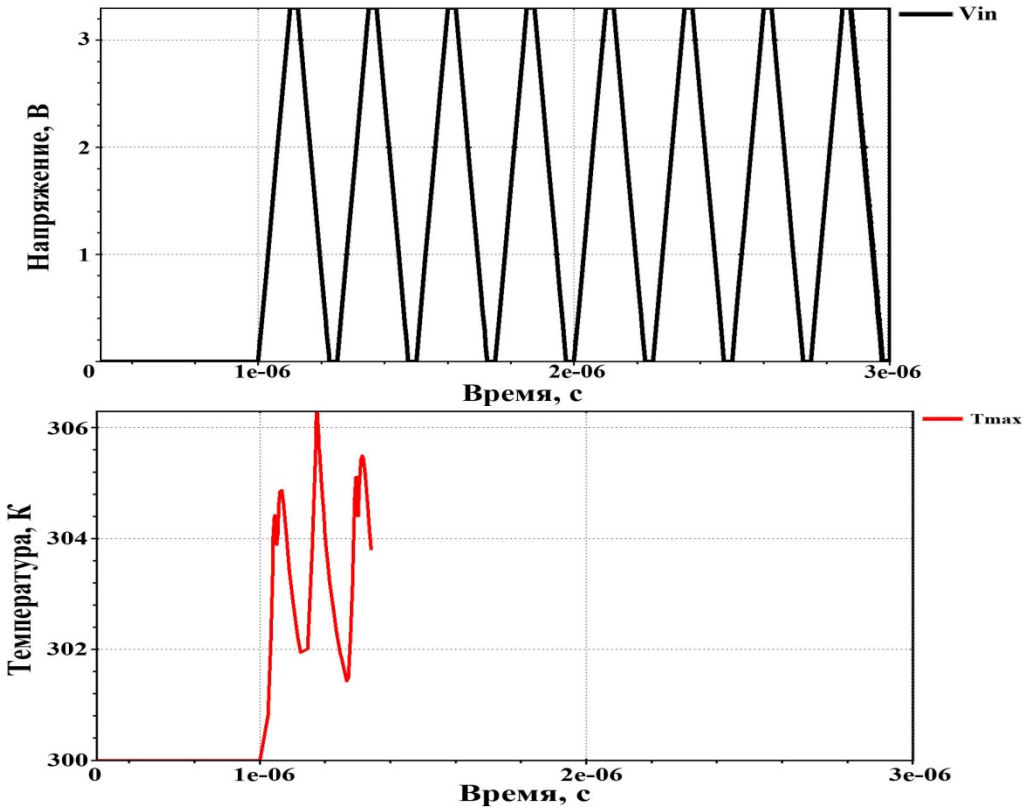
(а) (б)

Рис. 2 Смоделированные в TCAD стоковая характеристика (а) и изменение максимальной температуры (б) структуры р-канального КНИ МОПТ

На рис. 3 и рис. 4 приведены рассчитанные с помощью TCAD переходные характеристик КМОП инвертора на этих транзисторах и температуры активных областей транзисторов во время переходных процессов. При расчетах период сигнала последовательно уменьшался от 1 мкс до 0.25 мкс при сохранении времен фронтов (т.к. мощность рассеивается во время переключения) для исследования зависимости максимальной температуры от рассеиваемой мощности и частоты сигнала.



(а)



(б)

Рис. 3 Смоделированные в TCAD переходной процесс и изменение максимальной температуры КНИ КМОП ячейки при импульсахс периодом 1 мкс (а) и 0.25 мкс (б).

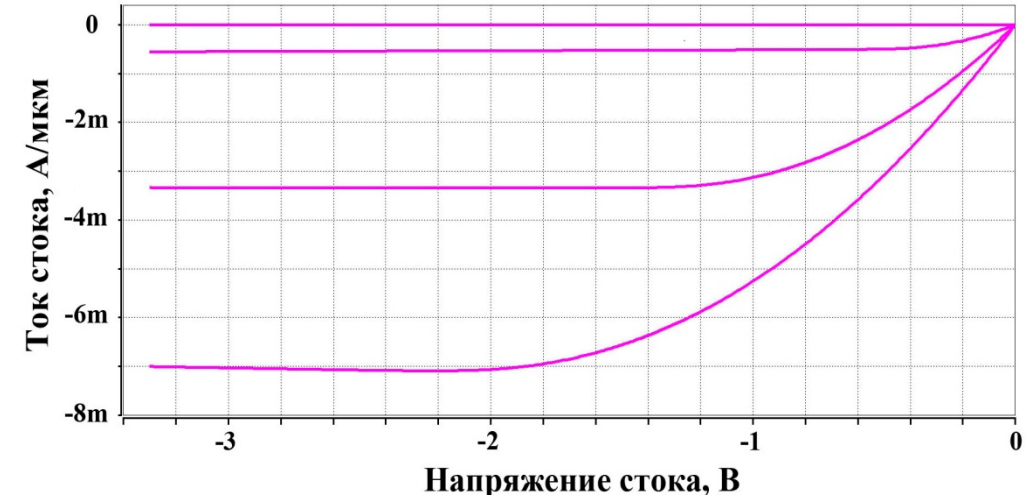
Видно, что при уменьшении периода сигнала температуры активных областей транзисторов увеличиваются, что связано с увеличением рассеиваемой мощности за определенный промежуток времени. Кроме того, видно, что температуры плавно увеличиваются со временем.

Большое количество периодов сигналов промоделировать не представлялось возможным вследствие больших затрат машинного времени на расчет одного такта. Так же вследствие эффекта саморазогрева увеличивается время, необходимое для расчета каждого последующего импульса. Для примера, расчет второго импульса с периодом 1 мкс занял около полутора часов, а расчет второго импульса с периодом 0.4 мкм занял порядка трех часов (использовался процессор i5-2450M, 2.5 Ггц). Следует отметить, что расчет второго импульса с периодом 0.25 мкс был остановлен, так как расчет только одного переднего фронта потребовал восемь часов.

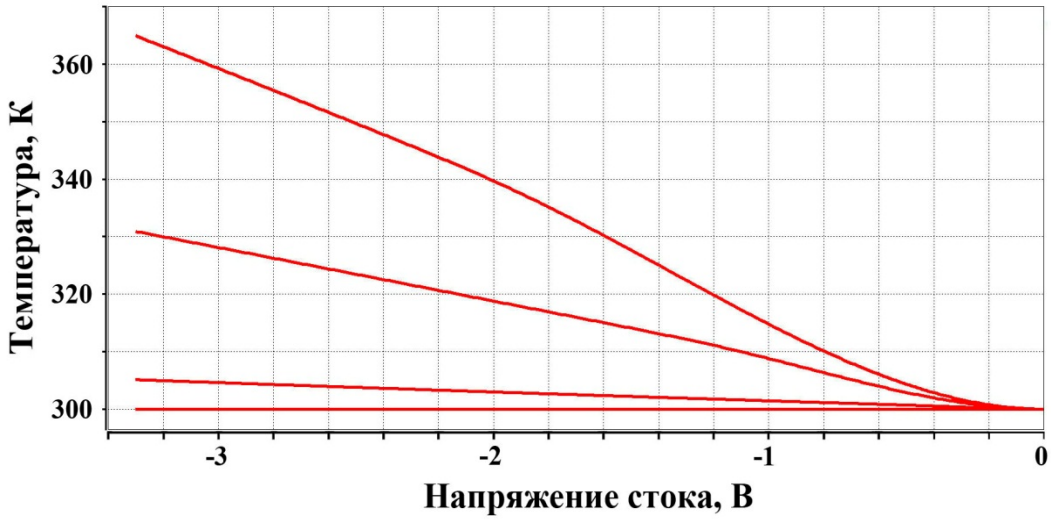
Для моделирования тепловых процессов на большом количестве периодов сигнала и исследования плавного нарастания температуры по мере разогрева областей кристалла необходимо переходить на уровень схемотехнического моделирования, используя тепловые электрические и параметры транзисторов, определенные из TCAD моделирования.

2. Анализ тепловых процессов в фрагментах КНИ КМОП схем с использованием пакета схемотехнического моделирования HSPICE

При моделировании КНИ КМОП ячейки в HSPICE использовалась стандартная модель BSIM SOI, имеющая тепловые параметры и тепловой узел. Параметры моделей (электрические и тепловые) для используемых транзисторов определялись из результатов моделирования их характеристик в TCAD. На рис. 4 приведены смоделированные с помощью HSPICE стоковая характеристика (а) и изменение температуры (б) р-канального КНИ МОПТ. Характеристики смоделированы при тех же напряжениях на затворе, как и в TCAD. Видно, что значения токов и температур, полученные при SPICE моделировании, близки к значениям, полученным из TCAD моделирования.



(а)



(б)

Рис. 4 Смоделированные с помощью HSPICE стоковая характеристика (а) и изменение температуры (б) р-канального КНИ МОПТ

Затем схемотехнически моделировалась работа КМОП инвертора при входных сигналах, аналогичных сигналам при TCAD моделировании.

На рис. 5 и 6 приведены смоделированные в HSPICE переходной процесс (вверху) и изменение максимальной температуры (внизу) КМОП ячейки при импульсах с периодом 1 мкс и 0.25 мкс, соответственно.

Из рис. 6 видно нарастание температуры активных областей транзисторов КМОП КНИ ячейки вследствие нагрева областей кристалла микросхемы. Значения

температуры, полученные из результатов схемотехнического моделирования достаточно близки к результатам приборного TCAD моделирования (рис. 3).

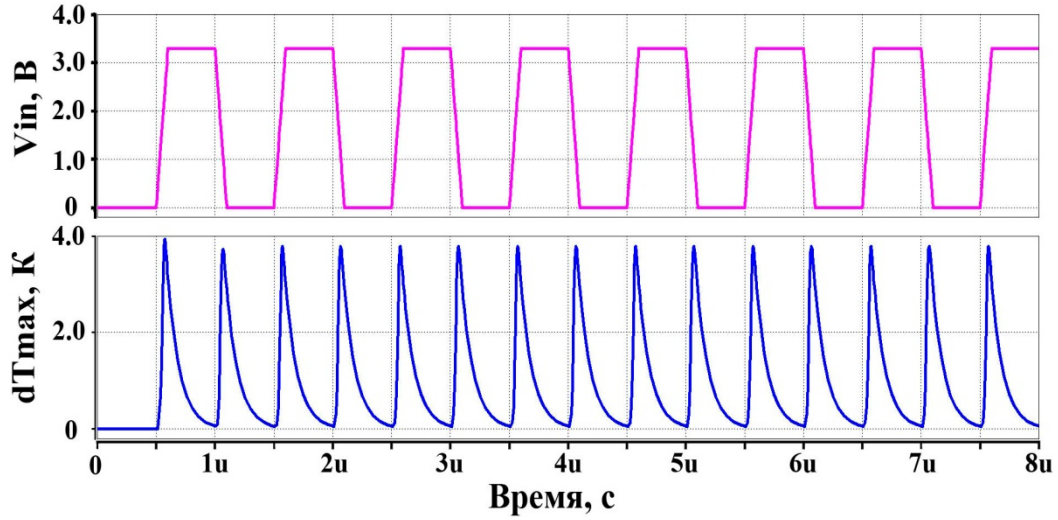


Рис. 5 Смоделированные в HSPICE переходной процесс (вверху) и изменение максимальной температуры (внизу) КНИ КМОП ячейки при импульсах с периодом 1 мкс.

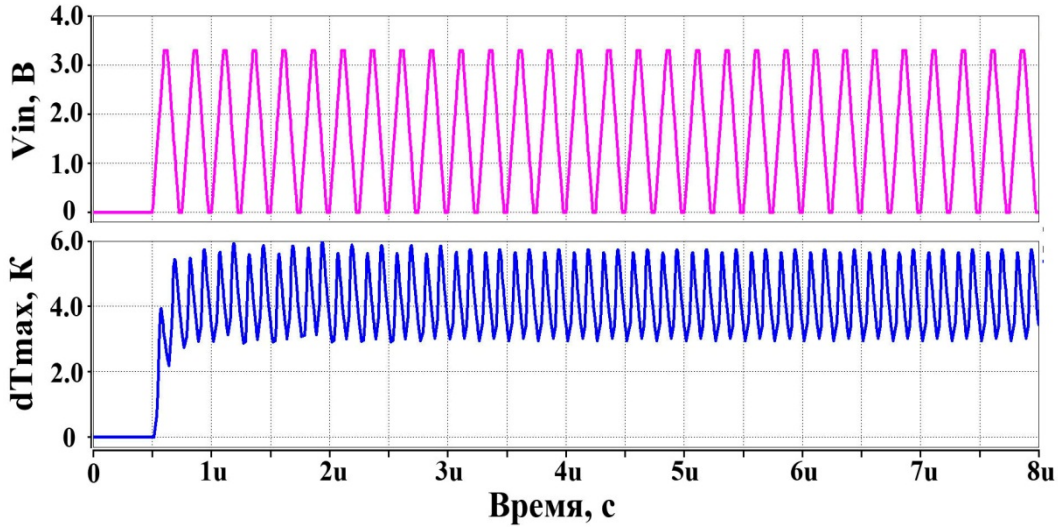


Рис. 6 Смоделированные в HSPICE переходной процесс (вверху) и изменение максимальной температуры (внизу) КНИ КМОП ячейки при импульсах с периодом 0.25 мкс

После настройки SPICE моделей транзисторов на данные их моделирования в пакете TCAD появляется возможность учесть влияние корпуса микросхемы на тепловой режим фрагмента схемы в пакете HSPICE. Это обеспечивается за счет добавление к тепловым параметрам транзисторов параметров корпуса микросхемы с учетом особенностей конструкции и теплоотвода микросхемы на плате. Для примера на рис. 7 приведены смоделированные в HSPICE переходной процесс (вверху) и изменение максимальной температуры (внизу) КМОП ячейки при импульсах с периодом 0.25 мкс с учетом влияния тепловых параметров корпуса микросхемы [4, 5]. Видно, что скачки температуры стали более гладкими, температура нарастает более медленно и до более высоких значений.

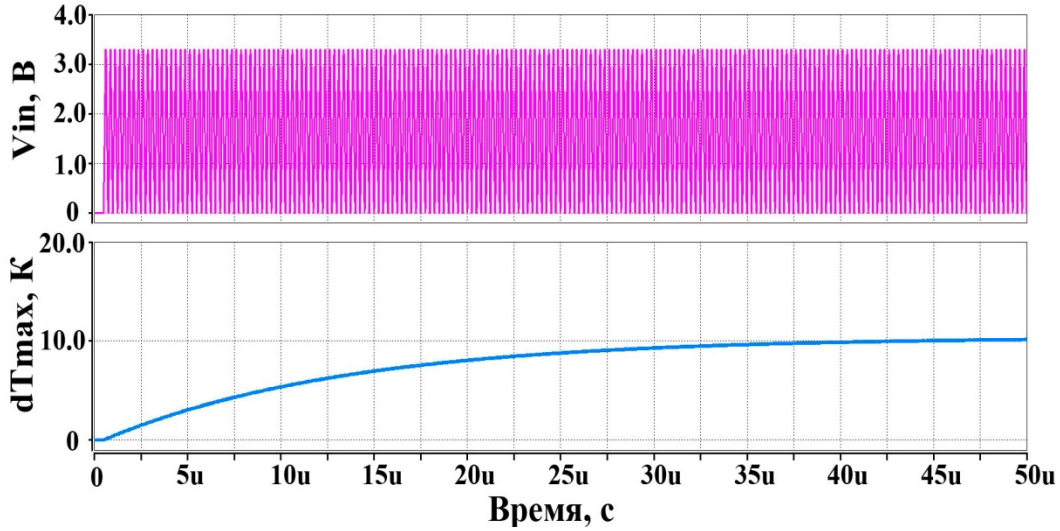


Рис. 7 Смоделированные в HSPICE переходной процесс (вверху) и изменение максимальной температуры (внизу) КНИ КМОП ячейки при импульсах с периодом 0.25 мкс с учетом влияния тепловых параметров корпуса микросхемы.

Результаты данной работы показали, что совместное использование средств приборного и схемотехнического моделирования транзисторов для анализа переходных процессов в КМОП схемах с учетом саморазогрева дает возможность исследовать влияние как конструктивно-технологических параметров структур КМОП транзисторов, так и параметров сигналов, условий охлаждения корпуса микросхемы, разогрева всего корпуса микросхемы. Это позволяет повысить точность анализа температур транзисторов на ИС и БИС, что важно для обеспечения их надежности и безотказной работы.

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.

Литература

1. K. Etessam-Yazdani, R. Hussin, M. Asheghi Impact of Scaling on Thermal Behavior of Silicon-on-Insulator Transistors// The Tenth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronics Systems, ITHERM '06, - 2006, -P. 1257-1264.
2. L. T. Su, J. E. Chung, D. A. Antoniadis, K. E. Goodson Measurement and Modeling of Self-Heating in SOI NMOSFET's// IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 41, N. 1. January 1994, pp. 69-75.
3. T. Hatakeyama; K. Fushinobu Electro-Thermal Behavior of a Sub-Micrometer Bulk CMOS Device // Heat Transfer Engineering, vol. 29, 2009, pp. 120 — 133.
4. M. Rencz, V. Székely, A. Poppe, K. Torki, B. Courtois Electro-thermal simulation for the prediction of chip operation within the package // Proc. of the 19-th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium, March, 2003, pp. 168-175.
5. J. Nayfach-Battilana, J. Renau SOI, Interconnect, Package, and Mainboard Thermal Characterization // Proceedings of the 14th ACM/IEEE International Symposium on Low power Electronics and Design, 2009, pp. 327-330
6. TCAD Sentaurus User Manual, Synopsys.

7. К.О. Петросянц, П.П. Мальцев, Н.И. Рябов, И.А. Харитонов, М.М. Крымко, Электротепловое проектирование мощных «интеллектуальных» интегральных схем// Известия ВУЗов. Электроника, 1998, №,3, стр. 73-82.

СОТОВЫЙ ТЕЛЕФОН КАК МЕТОД АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Петрянин Д. Л.
Пенза, ПГУ.

Описывается метод аутентификации пользователей с помощью сотового телефона. Приведена блок-схема алгоритма работы программы аутентификации пользователей с помощью телефона.

The cell phone as a method of user authentication. Petryanin D. L.

Describes a method of user authentication using your cell phone. Shows the block diagram of the program user authentication using the phone.

Аутентификация пользователя – это проверка, действительно ли проверяемый пользователь является тем, за кого он себя выдает. Различные методы аутентификации необходимы, фактически, во всех системах ограничения и разграничения доступа к данным – как распределенных, так и предназначенных для защиты отдельного компьютера.

Для того чтобы пользователь прошел аутентификацию, ему необходимо ввести аутентификационную информацию – некую уникальную информацию, которой должен обладать только он и никто иной.

Существует три основных типа аутентификационной информации:

- уникальная информация, например, парольная аутентификация;
- предмет с уникальными характеристиками или содержимым, например, смарт-карта, USB-токен и т.д.;
- биометрическая аутентификация, например, отпечаток пальца.

Каждый раз при выполнении аутентификации у пользователя запрашивается аутентификационная информация, которая сравнивается с эталоном. На основе данного сравнения делается вывод о подлинности пользователя.

Для повышения стойкости аутентификации (т.е. усложнения кому-либо возможности аутентифицироваться под чужим именем) часто используют несколько методов аутентификации одновременно. Наиболее частые примеры: одновременное использование смарт-карты + ее PIN-кода (Personal Identification Number – в данном случае играет роль пароля для доступа к информации, хранящейся на смарт-карте) или пароля + отпечатка пальца. Аутентификация на основе одновременного предъявления аутентификационной информации двух видов называется двухфакторной. [1]

В большинстве случаев аутентификация с помощью уникального предмета обеспечивает более серьезную защиту, чем парольная аутентификация.

В последнее время все популярнее становится использование телефонов, планшетов, IPhone и др. устройств в качестве «помощника человеку»: навигатор, оплата платежей, совершение сделок, покупок и т.д. Можно использовать любое из выше перечисленных устройств (мы остановимся на телефоне) и для аутентификации пользователей, метод которого описан ниже.

На компьютере, на котором необходимо выполнить аутентификацию, устанавливается устройство Bluetooth (если на компьютере такое устройство уже имеется, то оно просто включается), для настройки связи между компьютером и телефоном. Bluetooth позволяет этим устройствам сообщаться, когда они находятся в радиусе до 100 метров друг от друга (дальность сильно зависит от преград и помех), даже в разных помещениях.

Радиосвязь Bluetooth осуществляется в ISM-диапазоне (англ. Industry, Science and Medicine), который используется в различных бытовых приборах и беспроводных сетях (свободный от лицензирования диапазон 2,4-2,4835 ГГц). В Bluetooth применяется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты (англ. Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). Метод FHSS прост в реализации, обеспечивает устойчивость к широкополосным помехам, а оборудование недорого. [2]

После установки устройства Bluetooth, запускаем программу для аутентификации пользователей с помощью телефона (рис. 1), алгоритм (блок-схема) которой приведен на рис. 2.

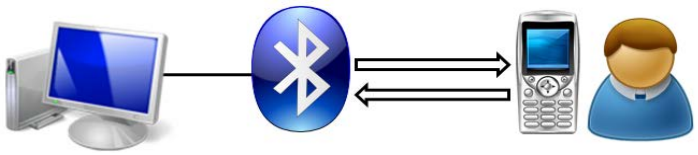


Рис. 1 Общий вид аутентификации пользователей с помощью телефона

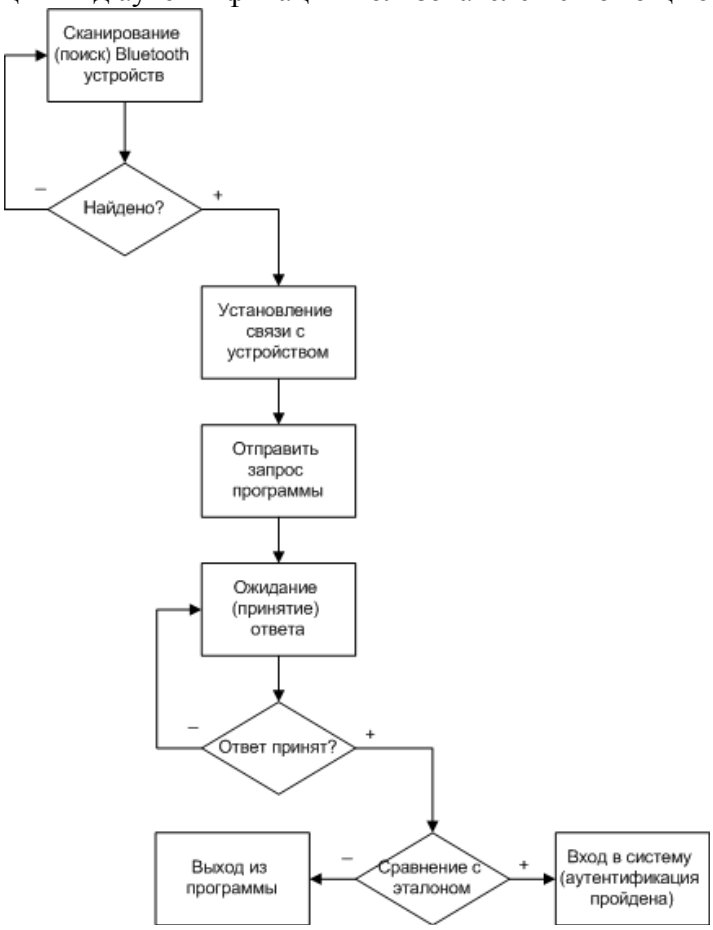


Рис. 2 Блок-схема алгоритма работы программы аутентификации пользователей с помощью телефона

Блок «Отправить запрос программы» (рис. 2) может выполняться тремя способами:

1) отправка случайно сгенерированного пароля программой телефону, а в блоке «Ожидание (принятие) ответа» - телефон должен данный пароль отправить обратно для сравнения;

2) отправка на запрос серийного номера телефона (предварительно в программе сохраняются те серийные номера устройств, с которыми можно работать) – телефон должен отправить данную информацию программе;

3) отправка на запрос пароля, набранного на телефоне (предварительно в программе сохраняется пароль) – телефон должен отправить данную информацию программе.

Данные способы можно использовать сразу все – зависит от настроек администратора системы и требуемой защиты.

После принятия ответа от телефона – данные сравниваются с эталоном. Если сравнение прошло успешно, то аутентификация пользователя выполнено. В противном случае происходит выход из программы и аутентификация пользователя не происходит.

Аутентификация с помощью уникальных предметов обладает и рядом недостатков:

- Предмет может быть похищен или отнят у пользователя.
- В большинстве случаев требуется специальное оборудование для работы с предметами.

Теоретически возможно изготовление копии или эмулятора предмета. Но с помощью данного метода аутентификация пользователя с помощью похищенного телефона не возможна, т.к. пароль, который необходимо ввести на телефоне знает только пользователь данного устройства. В заключение следует отметить, что реализация предложенного метода возможна только с применением современных систем проектирования радиоаппаратуры [3], в которых реализованы эффективные маршруты проектирования [4].

Литература

1. Методы аутентификации [Электронный ресурс]. – Режим доступа :http://www.panasenko.ru/Articles/69/69.html

2. Soltanian A., Van Dyck R.E. Performance of the Bluetooth system in fading dispersive channelsand interference // IEEE Global Telecommunications Conference, 2001 (GLOBECOM '01). — С. 3499—3503.

3. Трифоненко И.М. Обзор систем сквозного проектирования печатных плат радиоэлектронных средств/И.М. Трифоненко, Н.В. Горячев, И.И. Кочегаров, Н.К.Юрков//Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2012. Т. 1. С. 396-399

4. Горячев Н.В. Типовой маршрут проектирования печатной платы и структура проекта в САПР электроники Altium Design/Н.В. Горячев, Н.К. Юрков//Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2011. Т. 2. С. 120-122.

СИМПЛЕКСНЫЙ РЕТРАНСЛЯТОР РАДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ КОНВЕНЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Сивагина Ю.А.
Пенза, ПГУ.

В настоящее время для организации служебной радиосвязи и связи небольших групп людей, широко применяются конвенциальные сети радиосвязи. Данные сети предназначены для использования на ограниченной территории до 5 км, однако, часто возникает необходимость установления связи на территории большой протяженности. Для увлечения дальности связи, используются ретрансляторы (репитеры). В статье рассматривается вариант реализации симплексного ретранслятора состоящего из блока управления и штатной радиостанции.

Simplex repeater of radio signals for konventsialnykh of networks. Sivagina J.A.
Now for communication of small groups of people, conventional networks of a radio communication are widely applied. These networks are intended for use in the limited territory to 5 km, however, often there is a need of link establishment in the territory of big expansion. For hobby of range of communication, retranslators (repeaters) are used. In article the option of implementation of the simplex retranslator consisting of control box and standard radio station is considered.

Несмотря на активное развитие в настоящее время сотовых и транкинговых систем мобильной связи, традиционные сети УКВ-радиосвязи с фиксированным закреплением каналов, которые обычно называются конвенциональными, прочно занимают свою нишу в сфере профессиональной радиосвязи.

Конвенциональные системы, являясь простейшим классом систем профессиональной мобильной радиосвязи, используют принцип фиксированного закрепления каналов связи за определенной группой абонентов. По сравнению с другими классами систем подвижной радиосвязи для конвенциональных систем характерна, с одной стороны, наименьшая пропускная способность, определяемая достижимым количеством абонентов, работающих на одном канале, а с другой - наибольшая оперативность связи, характеризующаяся временем установления канала связи. Основным типом вызова в конвенциональных системах является групповой, при котором переговоры обеспечиваются по принципу "каждый со всеми".

Одной из важнейших, проблем при построении конвенциальных сетей радиосвязи, является необходимость обеспечения радиосвязи на большой территории для ограниченного числа абонентов.

Для увлечения дальности связи, используются ретранслятор, который принимает сигнал от абонентской радиостанции на одной частоте и одновременно передает его на другой что делает возможным взаимодействие всех абонентов между собой на всей территории действия ретранслятора, связь - не только с центральной станцией на большом расстоянии, но и между абонентами.

Различают три вида осуществления радиосвязи: симплексную, дуплексную и полудуплексную.

Симплексная радиосвязь. Для связи используется одна частота, как для приема, так и для передачи. Конструкция таких ретрансляторов максимально проста и не содержит дорогостоящих элементов, таких как дуплексёры (частотно-разделительный фильтр). В качестве ретранслятора в данном случае можно использовать обычную абонентскую радиостанцию. Для работы такого ретранслятора (его называют

симплексным) требуется специальное устройство – контроллер симплексного ретранслятора. Устройство контроллера симплексного ретранслятора представляет собой, так называемый цифровой магнитофон, на который записывается принимаемое сообщение до тех пор, пока идет несущая сигнала RX. Затем через запрограммированное время контроллер переключает радиостанцию в режим передачи TX и записанное сообщение воспроизводится в эфире. Бытовое название такого типа ретранслятора «симплексер», «эхо-репитер», «кукушка», «болтушка» или «попугай».

Однако при всей простоте и относительной дешевизне метода, у него есть серьезный недостаток: абонент должен тратить время на проговаривание сообщения, и затем ждать, пока оно воспроизведется в эфире. Таким образом, на радиопереговоры при использовании симплексного ретранслятора потребуется в два раза больше времени, чем при использовании дуплексного.

Полудуплексная радиосвязь (двухчастотный симплекс). Радиосвязь осуществляется с использованием двух частот: приемной и передающей, но, по сравнению с дуплексом, не одновременно, а поочередно. Сигнал принимается на одной частоте, а передается на другой. В один момент времени абонент может находиться либо в режиме «прием» либо «передача».

Дуплексная радиосвязь. Дуплексный ретранслятор работает по следующему принципу: одновременно принимает сигнал на одной радиочастоте, усиливает его и передает на другой. Таким образом, ретранслятор одновременно работает как передатчик и как приёмник. Все радиопередачи в системе с дуплексным ретранслятором осуществляются через сам ретранслятор. Это означает, что абонентские радиостанции уже не могут взаимодействовать между собой напрямую, без участия ретранслятора. Даже если вы находитесь совсем недалеко от собеседника, радиосвязь все равно будет осуществляться через ретранслятор.

Учитывая данный недостаток и высокую стоимость дуплексного ретранслятора следует, что для организации конвенциальных сетей радиосвязи эффективнее применять симплексные ретрансляторы (эхо-репитеры) на базе радиостанции.

В данной работе рассматривается разработка контроллера симплексного ретранслятора для увеличения дальности конвенциальных сетей радиосвязи.

В ходе проведённого анализа [1] существующих симплексных ретрансляторов, были выявлены следующие аналоги:

- ER-322, страна производитель Россия;
- RadioShack 19-345, страна производитель США;
- Telect DSX-3, страна производитель США;
- SRP-1, страна производитель Великобритания;
- ADS-SR1, страна производитель США.

Рассмотрим некоторые из них более подробно.

Модель ER-322, страна производитель Россия, представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – ER-322

При помощи DTMF сигнала можно дистанционно открывать – закрывать репитер, производить ввод параметров и их просмотр.

При подключении к любой радиостанции это устройство позволяет записать, а затем воспроизвести речевой сигнал длительностью до 66 секунд. Имеет энергонезависимую память, в которую можно записать позывной, локатор или другую информацию длительность до 66 секунд.

Для подключения изделия можно использовать микрофонный разъём или вывести дополнительный разъём.

Репитер имеет светодиодную индикацию режимов работы и уровня звукового сигнала. Устройство просто в эксплуатации. Управление включением репитера (перевод в режим записи) осуществляется с помощью сигнала (логического уровня) шумоподавителя или по появлению НЧ сигнала на цепи ‘Динамик’. При открытии шумоподавителя системы ‘радиостанция + репитер’ каким-либо сигналом, происходит запись этого сигнала, после закрытия шумоподавителя записанный сигнал передаётся в эфир.

Таблица 1 - Основные технические данные

Параметр	Значение
Возможность программирования с PC	Есть (через акустический канал)
Максимальная длительность записи	66 секунды
Максимальная продолжительность записи в Энергонезависимую память	66 секунды
Продолжительность хранения позывного в Энергонезависимой памяти	> 10 лет
Ток потребления (мА)	покой – 36 запись – 50 воспроизведение - 60
Напряжение питания	8 - 15 вольт
Уровень входного сигнала	0.2 – 2.0 вольт
Уровень выходного сигнала	0.05 – 1.0 вольт
Частотный диапазон	0.1 - 5.0 кГц
Уровень вносимых шумов	- 40 дБ
Частота дискретизация	16000 кГц
Замедлитель на активизацию	1.0 секунда
Масса	80 грамм
Габариты платы	43*73*11 мм
Габариты низкого корпуса	50*88*17 мм
Габариты высокого корпуса	50*100*36 мм
Рабочий диапазон температур	5 – 50 градусов Cº
Разъем установленный на изделие	DB9M (вилка)

Если шумоподавитель закрыт, то изделие находится в состоянии покоя. При открытии шумоподавителя загорается жёлтый светодиод RX ‘индикатор приёма’. При этом начинает производиться запись принимаемого сигнала в память репитера.

После закрытия шумоподавителя включается передача и загорается красный светодиод TX, ‘индикатор передачи’ (‘индикатор приёма’ продолжает гореть). Через 0.5 секунды начинается выдача записанной в память информации (при этом светодиод ‘индикатор приёма’ гаснет). Задержка в 0.5 секунды вводится, чтобы на приёме у радиостанции успел открыться шумоподавитель.

Если время открытия шумоподавителя не превысит 1 секунды, то переход на передачу не производится. Это позволяет защититься от кратковременных помех.

Можно дистанционно включить замедлитель на переход в режим передачи. Это позволить защититься от федингов.

Если время открытия шумоподавителя превысит заданное, то изделие принудительно переходит на передачу. При этом во время передачи будет постоянно гореть ‘индикатор приёма’ и после выдачи из памяти всего сообщения будет передан в эфир дополнительный короткий тональный сигнал.

Максимальное время записи в репитер составляет 66 секунды, но его можно ограничить до 15 секунд. Можно заблокировать функцию репитера (будет работать только выдача позывного) [2].

В аналогичном устройстве RadioShack 19-345, производства США, время записи ограниченно и составляет 30 секунд. Данная модель представлена на рисунке .



Рисунок 2 - RadioShack 19-345

RadioShack Simplex Repeater контроллер расширяющий диапазон работы радиостанций. Это простой, компактный и удобный для ношения и использования симплексный репитер. Ретранслятор может использоваться со многими портативными любительскими радиостанциями. Также он совместим с радиостанциями Icom, Yaesu, Alinco.

Ретранслятор имеет следующие особенности:

- Индикатор сигнала - освещает, чтобы показать, что соединенный приемопередатчик получает передачу и повторитель записывает;
- Низкая схема питания - автоматически переходит в режим очень малой мощности между передачами.
- Источники питания для заряда данного ретранслятора:
- Четыре батарейки AAA;
- Стандартные сети переменного тока (с помощью дополнительного адаптера переменного тока);
- Автомобиль аккумулятора (при использовании дополнительного адаптера постоянного тока).

Для получения оптимального результата, ретранслятор необходимо размещать как можно выше, примерно в центральном районе, чтобы все пользователи моги общаться друг с другом. Для того чтобы избежать случайные передачи, необходимо выключить трансивер, прежде чем подключить репитер.

Для работы с контроллером Repeater Simplex, все трансиверы, с которыми вы хотите общаться должны быть на той же частоте и иметь те же возможности (например, CTCSS или любой тип кодирования частной линии или декодирования).

Чтобы ретранслятор прослужил в течение длительного времени необходимо:

- Держать ретранслятор сухим. Если он намокнет, нужно немедленно вытереть его насухо.

- Использовать и хранить ретранслятор только в нормальных температурных условиях.
- Держать ретранслятор, вдали от пыли грязи [3].

Таблица 2 – Основные технические данные

Параметр	Значение
Питание	12 вольт, 100 мА
Ток	<40 мА
Срок службы батареи	Около 2 месяцев
Время записи	30 секунд
Размеры (ВхШхГ)	9,5 х 5,3 х 2,7 см
Вес (без батарей)	54 г

Ещё одним аналогом является симплексный репитер SRP-1, страна производитель Великобритания. Он действует как повторитель, записывая полученный сигнал и передавая его на одном частотном канале. SRP-1 имеет следующие особенности:

- Таймер выключения - этот таймер отключает репитер автоматически, когда он не видит движение по каналу (время срабатывания таймера от 10 до 90 минут);
- Функция ожидания и повторения - если эта функция включена, то SRP-1 не повторит передаваемое сообщение немедленно, а повторит через 2 секунды. Если через двухсекундный период ничего не передается, то он сбросит предыдущее сообщение и начнет записывать новое. Это используется, когда каждая абонент становится коммуникабельным без симплексного репитера, т.е. абоненты могут разговаривать без ожидания и записывания сообщений;
- Пользователь может переключать вкл./выкл. трансляцию благодаря использованию DTMF канала. Таким образом, канал может быть использован как обычный канал, когда он не используется в качестве ретранслятора;
- Звуковое оповещение - повторное сообщение сопровождается звуковым сигналом. Таким образом, вероятность дублирования передач будет снижена;
- Дистанционный радиоконтроль – возможность изменения текущего радиоканала и вывода мощности для отправки DTMF тоном.

Уникальной особенностью другого аналога, а именно ADS-SR1, является «повторение по требованию», позволяющее ему работать в автоматическом режиме, повторяя передачи только по запросу. Это может быть использовано, чтобы повторить пропущенные передачи или для проверки пропущенных звонков, даже спустя несколько часов или дней.

ADS-SR1 является многофункциональным диктофонным устройством, которое подключается практически к любому КПК, базе, или мобильному радио. Он имеет исключительное качество записи голоса и большую емкость.



Рисунок 3 – ADS-SR1

Голосовая почта ADS-SR1 - это функция работает как автоответчик, позволяя пользователям записывать сообщения для последующего использования. Может быть зарегистрировано до 20 входящих сообщений. Код доступа позволяет нескольким пользователям получать сообщения, не предоставляя регулярно код безопасности ретранслятора.

Таблица 3 – Основные технические данные

Параметр	Значение
Питание	4-28 вольт
Срок хранения данных без питания	20 лет
Время записи	218 секунд
Вес (без батарей)	163 г

Основные технические характеристики:

- Программируемая максимальная длина сообщения;
- Дополнительный код Морзе или голосовая идентификация;
- DTMF пульт дистанционного управления для всех функций;
- Работает от двух батареек AA или внешнего 4-28 В постоянного тока;
- PTT режимы для портативных и мобильных радиостанций;
- Возможность обновления программного обеспечения для будущих усовершенствований;
- Программируемый код безопасности с автоматической блокировкой функций [4].

В ходе проведения сравнительного анализа аналогов были выявлены следующие модели:

- ER-322, страна производитель Россия;
- RadioShack 19-345, страна производитель США;
- Telect DSX-3, страна производитель США;
- SRP-1, страна производитель Великобритания;
- ADS-SR1, страна производитель США.

Более широко представлены аналоги производства США. Модель Telect DSX-3 обладает самым большим показателем времени записи, а именно 3600 секунд, но при этом существенными недостатками являются массогабаритные показатели (больше чем у всех рассмотренных аналогов). Также недостатками является отсутствие возможности автономного питания, возможности управления голосом, возможности управления двухтоновым (DTMF) сигналом, отсутствие влагозащиты и возможности работы с существующими портативными, мобильными и стационарными радиостанциями.

Таким образом, из проведенного анализа следует отметить, что максимальное время записи в существующих аналогах ограничено. Такое ограничение не позволяет эффективно использовать возможности ретранслятора для передачи экстренных сообщений. При этом потребляемый ток ретрансляторов достаточно велик, что в свою очередь ограничивает их применение при автономном питании.

При анализе аналогов была составлена сравнительная таблица (табл. 5), в которой рассмотрены такие параметры, как:

- Страна изготовитель;
- Время записи;

- Возможность активного питания;
- Управление голосом (VOX);
- Возможность удаленного управления двухтоновым (DTMF) сигналом;
- Управление (перепрограммирование) с помощью ПК;
- Влагозащита;
- Наличие универсального интерфейса (возможность работы с существующими портативными, мобильными и стационарными радиостанциями);
- Масса изделия.

Таблица 3 –Сравнительная таблица аналогов

ПАРАМЕТР	ER-322	RADIOSHACK 19-345	TELECT DSX-3	SRP-1	ADS-SR1	РАЗРАБАТЫВАЕМЫЙ СИМПЛЕКСНЫЙ РЕТРАНСЛЯТОР
Страна	Россия	США	США	Великобритания	США	Россия
Время записи, сек.	66	30	3600	120	218	Не ограниченно
Возможность автономного питания	нет	да	нет	нет	да	да
Управление голосом (VOX)	да	да	нет	нет	нет	да
Возможность удалённого управления двухтоновым (DTMF) сигналом	да	нет	нет	да	да	да
Управление (перепрограммирование) с помощью ПК	Только через акустический канал	нет	да	нет	нет	да
Влагозащита	нет	частичная	нет	нет	нет	да
Наличие универсального интерфейса (возможность работы с существующими портативными, мобильными	да	да	нет	нет	да	да

ПАРАМЕТР	ER-322	RADIOSHACK 19-345	TELECT DSX-3	SRP-1	ADS-SR1	РАЗРАБАТЫВАЕМЫЙ СИМПЛЕКСНЫЙ РЕТРАНСЛЯТОР
и стационарными радиостанциями)						
Масса, грамм	80	147	180	153	163	83

Главными недостатками большинства аналогов являются:

- Ограниченное время записи;
- Отсутствие влагозащиты;
- Отсутствие автономного электропитания;
- Повышенное энергопотребление.

В разрабатываемом комплексе эти недостатки будут устранены. Основные технические характеристики разрабатываемого репитера будут следующие:

- Габаритные размеры 55х16 мм;
- Высота не более 6 мм;
- Масса изделия не более 83 г;
- Обеспечена влагозащита за счет герметизации печатного узла;
- Неограниченное время записи;
- Время работы от автономного электропитания (от элемента типа 9LR) 58 часов.

На сегодняшний день разработанна модель будущего ретранслятора (рисунок 4).

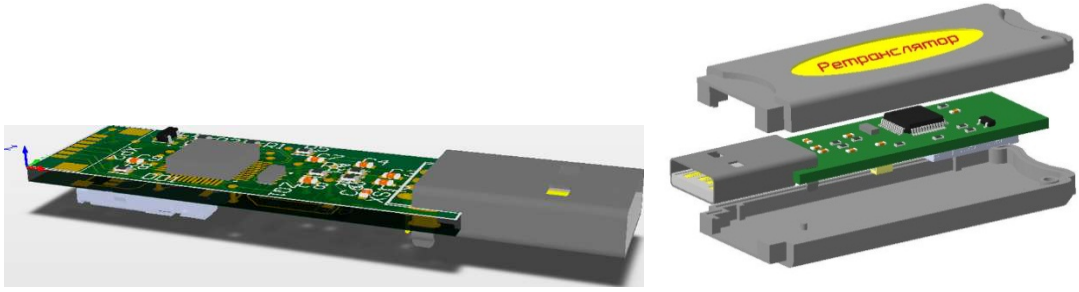


Рисунок 4 - Модель проектируемого эхо-ретранслятора

Таким образом, разрабатываемый контроллер симплексного ретранслятора имеет улучшенные технические характеристики, которые устраняют недостатки существующих аналогов.

Литература

1. Сивагина Ю.А. Обзор современных симплексных ретрансляторов радиосигналов/ Ю.А. Сивагина, И.Д. Граб, Н.В. Горячев, Н.К. Юрков //Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2012. Т. 1. С. 74-76.

2. «Оборудования для связи» [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://swjz.narod.ru
3. «Radio shack» [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://support.radioshack.com/productinfo/DocumentResults.asp?sku_id=19-345&Name=Manuals%20for%2019-345&Reuse=N
4. «Russian ham radio portal» [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://www.cqdx.ru/ham/new-equipment/ads-sr1-simplex-repeater/

БЕЗОПАСНОСТЬ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Юрков Н.К.
Пензенский государственный университет

Проводится анализ проблем обеспечения тотального контроля нештатных ситуаций, возникающий на начальных стадиях угроз безопасности. На базе информационного критерия безопасности предложено оценивать глобальный максимум по максимуму полезной информации. Показано, что приближение к локальному максимуму системной безопасности возможно лишь при глобализации систем контроля нештатных ситуаций, что может быть достигнуто даже при современном уровне развития электронной техники.

Safety of Complex Technical Systems. Yurkov N.K.

Analyzes the problems of providing total control of emergency situations arising in the early stages of security threats. Based on the information criterion to assess the global security offered up to the maximum of useful information. It is shown that the approach to the local maximum system security is possible only if the globalization of control systems of emergency situations that can be achieved even at the present level of development of electronic technology.

Введение

Во многих приложениях под термином системная безопасность понимается безопасность серверов, на которых хранится некая информация. Здесь под термином «системная безопасность» мы понимаем безопасность сложных систем произвольной сущности происхождения, в том числе и вычислительных, но далеко не только их.

Термин «теория катастроф», введенный Р.Томом для обозначения теории особенностей, теории бифуркаций и их приложений, связан с приложениями, в которых плавное изменение параметров способно привести к резкому, скачкообразному изменению состояния или режима движения системы.

Идентификация систем в теории управления - это определение структуры системы и ее параметров путем анализа входных и выходных данных данной системы. В тоже время идентификация в промышленной безопасности — установление тождественности опасных производственных объектов.

В самом широком смысле под идентификацией предлагается понимать выработку точного языка описания реальности и соответствующих понятий и категорий, то есть понятий крайне высокого, насколько это возможно, уровня. Сложность понятий – цена за простоту языка описания реальности, ее «законов» [1].

В каждый конкретный исторический период могут быть недостаточными ресурсы для получения с заданной точностью необходимого для решения практической

проблемы описания реальности. Возникает необходимость использования присущих только человеку способностей в процессе управления. Более того, любая система либо непосредственно в явном виде содержит человеческий фактор, либо является элементом системы, которая содержит человеческий фактор. Так что любая эффективная методология идентификации должна включать процесс человеческого выбора, так как именно в результате него вырабатывается текущее управление процессом идентификации.

Системный анализ безопасности ограничивается выявлением факторов и обстоятельств, влияющих на появление аварий, катастроф, чрезвычайных ситуаций, других нештатных ситуаций, а также разработкой предупредительных мероприятий, снижающих вероятность их появления.

В задаче распознавания состояния безопасности сложных технических систем (СТС) наиболее точное решение может быть получено, если оно принимается на основе достаточного количества исходных данных. В большинстве практических задач все многообразие состояний СТС может быть сведено к нескольким классам, число которых невелико ввиду ограниченного набора действий, принимаемых в том или другом состоянии. В простейшем случае речь идет о двух состояниях СТС (опасное или не опасное, устойчивое или не устойчивое и т.д.). В подобных задачах проводится измерение каких-либо физических параметров, характеризующих состояние СТС, и классификация состояний СТС осуществляется по полученным значениям.

Рассмотрим информационные критерии эффективности и необходимости контроля для достижения требуемого уровня безопасности. До проведения операции контроля неопределенность состояния объекта контроля характеризуется априорной безусловной энтропией $H(\omega)$, где ω — состояние объекта контроля. После проведения операции контроля путем измерения значений одного или нескольких параметров x неопределенность состояния будет характеризоваться усредненной величиной — полной условной энтропией $\overline{H}(\omega \mid x)$. Разность этих величин

$$I = H(\omega) - \overline{H}(\omega \mid x) \tag{1}$$

представляет собой количество информации, полученной в результате операции контроля, и может характеризовать качество метода или системы контроля. Здесь:

$$H(\omega) = -\sum_{i=1}^{k} P(\omega_i) \log_n P(\omega_i) \ , \tag{2}$$

где $P(\omega_i)$ — априорные вероятности состояний; k — число состояний; n — основание логарифма $(n = 2)$. Однако значение этой величины зависит от априорных вероятностей состояния объекта и основания логарифма при ее вычислении. Поэтому более предпочтительной является относительная величина — информационная эффективность

$$Э = \frac{H(\omega) - \overline{H}(\omega \mid x)}{H(\omega)} \ . \tag{3}$$

Она характеризует информационную эффективность параметров контроля и СТС в целом безотносительно к основанию логарифма. Значение величины Э изменяется в пределах от 0 до 1.

В случае двух состояний (устойчивое и неустойчивое) энтропия вычисляется по формуле

$$H(\omega_H) = -P(\omega_H) \log P(\omega_H) - P(\omega_y) \log P(\omega_y) \tag{4}$$

Полная условная энтропия $\overline{H(\omega \mid x)}$ определяется как

$$\overline{H(\omega \mid x) = \int_x p(x) H(\omega \mid x)} = -\int_x \{P(\omega_y)\, p(x \mid \omega_y) \log_2 \frac{P(\omega_y)\, p(x \mid \omega_y)}{p(x)} +$$

$$+ P(\omega_H)\, p(x \mid \omega_H) \log_2 \frac{P(\omega_H)\, p(x \mid \omega_H)}{p(x)} \} dx \quad . \tag{5}$$

Здесь $P(\omega_i)$ — априорные вероятности состояний ω_i ; $P(x \mid \omega_i)$ — условные вероятности параметра контроля (одного или нескольких) в состоянии ω_i ; $p(x)$ - плотность вероятности параметра (параметров) контроля x:

$$p(x) = \sum P(\omega_i)\, p(x \mid \omega_i) \ ; \tag{6}$$

$H(\omega \mid x)$ — частная условная энтропия:

$$H(\omega \mid x) = -\sum P(\omega_i \mid x) \log_2 P(\omega_i \mid x) \tag{7};$$

где апостериорные вероятности $P(x \mid \omega_i)$ вычисляются по формуле Байеса

$$P(\omega_i \mid x) = \frac{P(\omega_i)\, p(x \mid \omega_i)}{p(x)}. \tag{8}$$

Свойства СТС характеризуются необходимостью контроля, которая оценивается относительным недостатком информации, требуемой для надежного принятия решений. Показатель необходимости контроля

$$N = \frac{H(\omega)}{H(\omega)} - H_Д \ , \tag{9}$$

где $H_Д$ — допустимое значение энтропии, вычисляемое через допустимые вероятности состояний. Значения N изменяются в пределах от -∞ до 1. Положительные значения свидетельствуют о необходимости контроля, отрицательные — о его необязательности.

В случае двух состояний объекта (ω_y и ω_H) допустимая вероятность неустойчивого состояния может быть принята равной $P_Д(\omega_H)$ =0,00135 из условия граничного значения, равного трем среднеквадратическим отклонениям. В этом случае $H_Д$ =0,0148 бит при измерении энтропии в двоичных единицах информации. Для соответствия выбранных параметров контроля требованиям, которые обусловлены объектом, следует выполнять условие

$$Э > N \ . \tag{10}$$

Расчет информационной эффективности, а также дальнейшие вычисления при определении состояния объекта с использованием критерия Байеса предусматривают использование условных плотностей вероятности параметров контроля, соответствующих различным состояниям объекта. Очень часто при построении условных плотностей вероятности используется нормальный закон распределения, что позволяет значительно упростить вычисления [3].

Параметр порядка называется информатором и после установления порядка информация сокращается, поэтому следует за признак безопасности принять минимум информации, циркулирующей в системе, т.к. по количеству информации можно судить о безопасности – даже информационный градиент позволяет судить о приближающейся катастрофе.

Согласно предложенному в [1] информационному критерию безопасности, безопасность достигает своего максимума только в том случае, когда все выполняемые элементарные операции (атомы), из которых состоит процесс, как субъект безопасности, имеют минимальную вероятность сбоя, другими словами находятся под постоянным контролем, что задается выбранной частотой контрольных операций.

Переход на катастрофический сценарий развития ситуации сродни бифуркациям (особенности или катастрофы), т.е. происходит переход количества в качество, переход в другой аттрактор, имеющий катастрофически низкий потенциальный (организационный, энергетический, информационный, затратный) уровень, в который скатывается высокоорганизованная система с поразительной скоростью. Идти вниз легче, чем подниматься в гору.

Таким образом, на концептуальном уровне, необходимо предусмотреть меры, разрушающие рекуррентный алгоритм управления (построения) СТС (и не только технических, а и произвольных сложных систем).

На техническом уровне нельзя оценивать безопасность, как во многих современных приложениях, по временным характеристикам (например, по величине дисперсии промежутков между регламентными осмотрами и ремонтами), т.к. они (осмотры и ремонты) не обеспечивают отсутствие сбоев (в том числе и катастрофических) в работе системы. Так, в теории гарантированного управления эксплуатацией это положение вполне доказывается.

Если аттрактор рассматривать как устойчивое состояние системы, переход на которое сопровождается всплеском (резким увеличением) количества информации, а катастрофа – это самый нижний энергетический уровень (энтропийный) согласно законам термодинамики, при переходе на который не только не тратится, но даже выделяется большое количество энергии (той энергии, которая была затрачена на организацию среды существования СТС), то для обеспечения безопасности следует предотвратить бифуркацию – как переход сложно организованной системы в новый аттрактор под воздействием случайного скачка. Для этого на концептуальном уровне следует установить буфер, способный вернуть систему в сбалансированное состояние, но этот буфер должен обладать другой (отличной) физической структурой, не должен описываться рекуррентной моделью, должен в момент времени появления внешнего толчка (внешней накачки, если сравнивать с лазерным излучением) поднять «энергетический» барьер, с тем, чтобы не допустить «туннельного перехода» системы из стабильного в катастрофическое состояние [4].

Только находясь под постоянным контролем, только погрузившись в облако электронных средств контроля, вездесущего и непобедимого, на подобии распространения на нашей планете плесени, которая за счет своего многообразия все проникновения непобедима, можно надеяться на обеспечение системной безопасности.

Современные электронные технологии позволяют приступить к осуществлению такой утопической мысли, каковой является мечта о безопасном мире. Используя «облачную терминологию» можно представить систему обеспечения глобальной безопасности так, как это сделано на рисунке 1.

Здесь всепроникающие источники энергии (в том числе и альтернативные) обеспечивают бесперебойное снабжение энергией. В центре системы (под неусыпной охраной) находится человеческий фактор, как главный источник опасности, для защиты от которого подразумевается создание глобальных (мировых, всепроникающих) систем связи, сбора информации (содержат датчики, сенсоры), систем автоматической обработки информации, а также исполнительные механизмы.

Как нам видится ближайшее будущее, за счет глобализации развития электроники, в том числе и печатной, произойдет новый взрыв коммерческих применений электроники, расширяющий достигнутые границы контроля за ситуацией.

Автоматы обработки информации примут на себя основную нагрузку по выявлению потенциально опасных ситуаций и выработают управляющие воздействия на исполнительные механизмы.

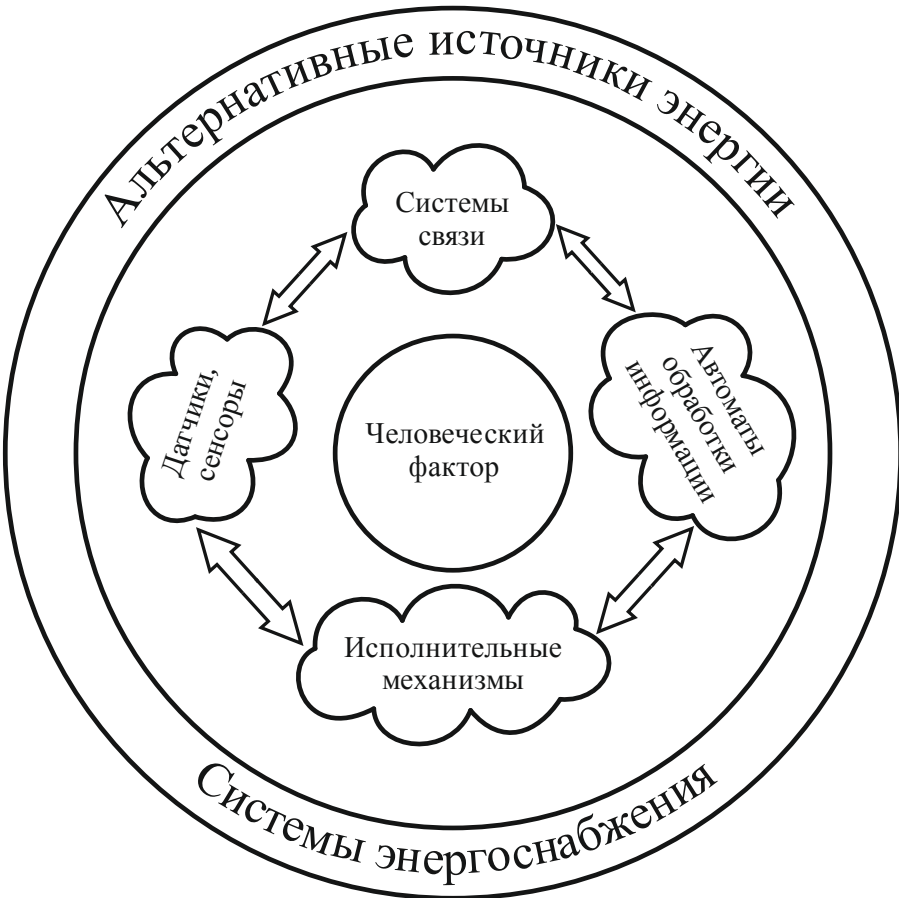


Рис. 1 Глобализация систем безопасности

Рассмотрим основные источники угроз. Как это не печально, но основным источником техногенных катастроф, по-прежнему, остается человеческий фактор. Конечно, непредсказуемый цунами может наделать великих бед, но, по сравнению с числовыми характеристиками катастроф, как это не кощунственно выглядит, природа занимает далеко не первое место в списке «организаторов» катастроф. По-прежнему, человек со своими слабостями порождает подавляющее большинство техногенных аварий, уносящих множество человеческих жизней и принося колоссальные убытки. В связи с этим позвольте сделать вывод о том, что главная цель глобальной безопасности – это устранение человеческого фактора из систем управления множественными катастрофосодержащих процессов.

Несмотря на это, не следует забывать, что основными процессами (элементами нештатных ситуаций, приводящих к катастрофам), контроль которых обеспечит системную безопасность, являются:

- болезнетворные микроорганизмы,
- химические вещества,
- газовые выделения,

- усталостные явления в материалах,
- алогичное поведение человека (психологические отклонения),
- климатические изменения,
- болезнь человека (физиологические изменения),
- симптомы старения,
- изменения в магнитных, гравитационных, электрических и др. полях и т.д.

При решении задач обеспечения безопасности СТС риск от тяжелых аварий анализировался с нескольких точек зрения, таких как медико-биологические, экономико-экологические и глобально-социальные факторы с использованием понятия “приемлемый риск”. Риск от тяжелых аварий определялся в виде [5]

$$R(P,C)=\sum_{i=1}^{k}P_iC_i \ ,$$

где $A=(A_1,A_2,\ldots,A_k)$ - перечень событий, соответствующих тяжелым авариям; $P=(P_1,P_2,\ldots,P_k)$ и $C=(C_1,C_2,\ldots,C_k)$ – соответственно вероятности и последствия указанных аварий; $R(P,C)$ должно стремиться к минимуму; естественно $R_{\min}(P,C)=R_0\neq 0$ (R_0 - допустимый или приемлемый риск; $R>R_0$ определяет класс недопустимого риска).

Выбор приемлемого риска производился для общего случая, когда функции $P=P(q_1,q_2,\ldots,q_n,t)$, $C=C(c_1,c_2,\ldots,c_m,t)$ являлись неизвестными.

При составлении математической модели СТС, выборе и обосновании типа случайного процесса, адекватно описывающего его состояние, использовались марковские цепи, диффузионные процессы, ветвящиеся процессы, случайные процессы со стационарными приращениями и т.д. Для марковских процессов, задавая переходные вероятности с использованием уравнений Колмогорова-Смолуховского-Чепмена, получались нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных относительно плотности распределения вероятностей для непрерывных случайных процессов или распределение для дискретных случайных величин. Последствие аварий $C=C(c_1,c_2,...,c_m,t)$ отображает физико-химические изменения в окружающей среде и, как правило, находится из решений уравнений математической физики. На основе описания объекта и экологических последствий аварий получается операторное нелинейное уравнение

$$L(C,P)=R \ , \qquad (12)$$

совпадающее по форме с уравнением теории упругости (*R* - внешняя нагрузка).

В рассматриваемом случае оно представимо в виде двух операторных уравнений

$$\begin{aligned} L_1(R,P,C)&=P,\\ L_2(R,P,C)&=C. \end{aligned} \qquad (13)$$

Введением вектор-функции *X*=(*P*,*C*)т и нелинейного оператора А первое из них представится в виде операторного уравнения

$$A(R,X)=X \ . \qquad (14)$$

Так как физико-химические изменения в окружающей среде должны соответствовать экологическим нормам, а вероятность возникновения аварий должна быть близка к нулю, то последнее уравнение имеет решение *X*=0 при всех значениях риска *R*. При некоторых значениях *R* может иметь ненулевые решения, соответствующие скачкообразным изменениям (катастрофам) в экологической

обстановке окружающей среды и изменению значений вероятностей аварий. Риск $R_{кр}$ назовем критическим, если при некоторых значениях R, близких к $R_{кр}$, это уравнение имеет малые ненулевые решения ($R_{кр}$ - точка бифуркации оператора $A(R,X)$). Таким образом, анализ безопасности СТС сводится к чисто математической задаче определения точек бифуркации $A(R,X)$, например, на основе линеаризации нелинейного оператора (отыскание точек бифуркации сводится к определению характеристических значений соответствующего линейного оператора). Каждое нечетнократное (в частности, простое характеристическое значение линейного оператора) является точкой бифуркации нелинейного оператора $A(R,X)$. Если характеристическое значение линейного оператора имеет четную кратность, то требуется дополнительный анализ, который сводится к конструированию так называемого поля вращения и доказательству его невырожденности.

Определение точек бифуркации нелинейного оператора значительно сложнее. Упрощения возможны при известных функции последствий аварий или вероятности распределения. Функция последствий аварий определяется в результате расчета технического состояния среды при чрезвычайной ситуации и необходимого времени ликвидации последствий аварий. При известном распределении вероятностей (или плотности распределения), построив случайный процесс, можно определить вероятности изменения состояния СТС во времени. Определяется значение критического риска $R_{кр}$, а далее значение критического риска, для которого вероятность скачкообразного изменения технической обстановки (катастрофа) наибольшая. При этом наибольшая вероятность потери ее устойчивости (катастрофа) наступает при $R_{кр}$.

Отследить риски, контролировать изменения в вышеперечисленных процессах поистине невозможно на данном этапе развития техники. Но в настоящее время глобальный прорыв в решении этой проблемы видится в развитии так называемой органической и печатной электроники.

Прежде всего, название «органическая и печатная электроника» вовсе не означает, что все используемые материалы являются органическими, и наносятся они исключительно методами печати. На наш взгляд, достаточно удачны определения органической и печатной электроники, приведенные в Википедии. Согласно им, печатная электроника – «совокупность печатных методов, используемых для создания электронных приборов». А органическая, или пластиковая, или полимерная электроника – «направление в электронике, основанное на применении проводящих полимеров, пластиков, органических соединений с низкой молекулярной массой (small molecular)» [2].

Таким образом, слова «органическая» и «печатная» характеризуют одно и то же направление в электронике, но по разным признакам: первое отражает преимущественный состав используемых материалов, а второе – преимущественную технологию нанесения материалов в процессе производства устройств.

Основные преимущества органической электроники в сравнении с традиционной заключаются в меньшей стоимости изготовления устройств, их гибкости, применении более простых технологий изготовления, а также возможности изготовления изделий большой площади, что особенно актуально для экранов и систем освещения [3].

Вместе с тем на настоящем этапе развития органической электроники она не лишена ряда недостатков: низкого разрешения при печати (>5 мкм), низкой степени интеграции, низкой подвижности носителей заряда, ограничивающей диапазон рабочих частот. Так, при подвижности носителя заряда 0,5 $см^2/(В•с)$ максимальная рабочая частота составит 100 кГц.

Как правило, в органической электронике используются гибкие полимерные основания. Однако их использование создает ряд проблем. Гибкие основания обычно не полностью стабильны по размерам, что может существенно сказаться на разрешении и совмещении при печати рисунка. Кроме того, при воздействии высоких температур гибкие основания могут расплавиться, что ограничивает технологические возможности при производстве изделий органической электроники. В качестве гибких оснований в органической электронике наиболее широко применяются такие полиэфиры, как полиэтилентерефталат и полиэтиленнафталат; также могут использоваться полиимид, полипропилен, полилактид, циклоолефиновый сополимер, бумага и другие материалы.

Проводники необходимы практически во всех изделиях органиче ской электроники. К проводникам предъявляется ряд требований, включающих низкое сопротивление, гладкость поверхности, химическую стойкость. Выделяют три группы материалов, используемых в органической электронике в качестве проводников: материалы на основе металлов; органические соединения; оксиды металлов.

Органические полупроводники используются в различных активных устройствах, причем многие из них могут быть нанесены из раствора, в том числе методами печати. В органической электронике в качестве полупроводников могут применяться следующие группы материалов: полимеры, например, политиофен; олигомеры, например, олиготиофены; органические соединения с низкой молекулярной массой, например, пентацен и его производные; углеродные нанотрубки; «гибридные» (органо-неорганические) материалы.

Мобильность носителей заряда в органических полупроводниках сравнима с аморфным кремнием, но пока значительно ниже, чем в поликристаллическом кремнии. Ожидается, что в ближайшие несколько лет мобильность носителей заряда достигнет уровня поликристаллического кремния: сначала в лабораторных условиях, а потом и в серийно выпускаемых устройствах. Это станет возможным благодаря оптимизации органических соединений с низкой молекулярной массой и полимеров или использованию новых материалов, таких как углеродные нанотрубки или гибридные материалы. Большинство используемых сейчас органических полупроводников, в частности, пентацен и политиофен, относятся к полупроводникам p-типа, но полупроводники n-типа становятся более распространенными. Наличие полупроводников p- и n-типа позволяет реализовывать структуры типа КМОП, обладающие существенными преимуществами, в том числе меньшим энергопотреблением.

Для производства изделий органической электроники может быть использована глубокая, флексографская, офсетная, трафаретная и струйная технологии печати, а также лазерная абляция.

На сегодняшний день очень успешно серийно выпускаются билеты, идентификационные карточки, солнечные батареи и другие изделия органической и печатной электроники. Конечно, по многим техническим характеристикам эти изделия уступают кремниевым аналогам: КПД солнечных батарей ниже, а объемы органической памяти и частота органического процессора несоизмеримо меньше. Тем не менее, уникальные преимущества органической и печатной электроники, заключающиеся в низкой стоимости массового производства, гибкости и возможности изготовления изделий большой площади, а также высокие темпы совершенствования изделий открывают перед ней широкую область применения, ведь далеко не во всех устройствах нужны гигабайты памяти и гигагерцы частот. В самое последнее время появилась информация о создании в нашей стране дистанционных обнаружителей взрывчатых веществ, определении неадекватного поведения человека и др. Все это ведет к глобализации контроля, расширении его функций, добавляя в которые функции

пресечения развития катастроф, мы получим «безопасное» существование человечества.

Таким образом, расширяя сферу применений электроники (в том числе и печатной) возможно достичь глобального контроля за ситуацией, ведь все катаклизмы предваряются какими-то ни было изменениями физических сред, зафиксировать, распознать и правильно интерпретировать которые – и есть задача современной электроники.

Литература

1. Юрков Н.К. Модели и алгоритмы управления интегрированными производственными комплексами. Монограф.// Пенза, ИИЦ Пенз. гос. ун-та, 2003, - 198 с.

2. Нисан А. Органическая и печатная электроника – новая ветвь развития//Поверхностный монтаж. Инф. бюллетень ЗАО Предприятия ОСТЕК, №4 (90), 2011, С. 14-19.

3. Юрков Н.К. К проблеме обеспечения безопасности сложных систем //Надежность и качество – 2011//труды Международного симпозиума: в 2 т. /под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. –Т. 1– С. 104-106.

4. Тюрина Л.А., Юрков Н.К. Системная организация жизненного цикла промышленных изделий// Тяжелое машиностроение. – 2006. – № 6. – С. 8-12

5. Данилов А.М., Гарькина И.А., Лапшин Э.В., Юрков Н.К. Системные методологии, идентификация систем и теория управления: промышленные и аэрокосмические приложения//Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2009, № 1, с. 3-11

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОММУНИКАЦИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С РАДИОКАНАЛАМИ

Якимов А.Н., Лапшин Э.В.
г. Пенза, ПензГУ

Предлагается подход к повышению помехоустойчивости беспроводных информационных систем. Получены математические зависимости, позволяющие оценить влияние параметров диаграммы направленности антенны на отношение сигнал/шум в системе. Проведен анализ полученных результатов.

Increase of the noise immunity of communications in information systems with radio channels.

Yakimov A., Lapshin Ed.

The approach to increase of a noise immunity of wireless information systems is offered. The mathematical dependences are received, allowing to estimate influence of parametres of the characteristic of radiation of the antenna on the relation a signal/noise in system. The analysis of the received results is carried out.

Для обеспечения высокого качества передаваемой информации необходимо решить ряд задач, среди которых противодействие естественным и преднамеренным помехам в каналах связи, исключение несанкционированного доступа к информации и устранение попытки навязывания ложной информации.

В беспроводных информационных системах, содержащих радиоканалы, решение всех этих задач в значительной мере связано с необходимостью пространственной локализацией передачи информации и повышения отношения сигнал/шум.

Для повышения значения отношения сигнал/шум наибольшее распространение получили два пути: увеличение мощности передатчика и увеличение времени передачи информации [1].

Первый способ, на первый взгляд, является более простым и эффективным, но в системе связи с использованием общей полосы частот неприменим, т. к. одновременно с увеличением мощности информационного сигнала увеличивается мощность помехи, действующей на вход приемников других радиоканалов, находящихся в непосредственной близости, вследствие чего парализуется функционирование информационной системы в целом.

Второй способ значительно ограничивает скорость передачи сигнала, что в условиях постоянного роста объемов передаваемой информации не всегда оказывается приемлемым.

Значительный интерес для беспроводных информационных систем в этих условиях представляет использования антенн с характеристиками направленности, позволяющими осуществить необходимую пространственную локализацию передаваемой информации и повысить отношение сигнал/шум [2, 3].

Известно, что отношение мощностей сигнала и шума $(S/N)_m$ на выходе детектора приемника оценивается соотношением [4]:

$$(S/N)_m = \frac{P_b \cdot G \cdot G_b \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot R_д^2 \cdot k \cdot T_0 \cdot B \cdot \overline{NF} \cdot L_r}, \quad (1)$$

где P_b – мощность передатчика; G – коэффициент усиления (КУ) антенны приемника в направлении передатчика; G_b – КУ антенны передатчика в направлении приемника; λ – длина используемых электромагнитных волн в сантиметрах; $R_д$ – максимальная дальность действия радиоканала в километрах; k – постоянная Больцмана ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц/^{0}К); T_0 – 290 ^{0}К; B – эквивалентная шумовая полоса пропускания усилителя промежуточной частоты в Герцах; $\overline{NF}$ – коэффициент шума приемника; L_r – потери, вносимые на участке между передатчиком и приемником.

Коэффициент направленного действия (КНД) антенны D рассчитывается по формуле [5]:

$$D = \frac{32000}{2\varphi_{0,5} \cdot 2\theta_{0,5}}, \quad (2)$$

где $2\varphi_{0,5}$, $2\theta_{0,5}$ – ширина диаграммы направленности (ДН) антенны на уровне половинной мощности в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно.

Учитывая, что КУ антенны G определяется из КНД как $G = D \cdot \eta_a$, где η_a – к.п.д. антенны, то изменение КУ полностью определяется изменением КНД.

Оценка изменения величины КУ антенны с изменением уровня боковых лепестков (УБЛ) может быть произведена с помощью формулы оценки КНД по ширине ДН с учетом УБЛ [5]:

$$D = 4\pi/\{(2\varphi_{0,5})(2\theta_{0,5}) + t_{бл}^2[4\pi - (2\varphi_{0,5})(2\theta_{0,5})]\}, \quad (3)$$

где $t_{бл}$ – эффективный уровень боковых лепестков.

Сначала определяется КНД антенны D' по главному лепестку

$$D' = 4\pi/\int_{\Omega_{гл}} F(\varphi,\theta)\mathrm{d}\Omega, \quad (4)$$

где $\Omega_{гл}$ – телесный угол, занимаемый главным лепестком ДН (по нулевому уровню излучения).

Принимая эффективность главного луча антенны равной 0,84 [5], получим формулу для исходного значения КНД:

$$D_{и} = 0{,}84 \cdot D'. \quad (5)$$

Исходное значение КНД для определения влияния УБЛ может быть получено также по формуле (2).

В соответствии с формулой (3) $t_{бл}$ определится как

$$t_{бл} = \sqrt{[(4\pi/D_{и}) - (2\varphi_{0,5})(2\theta_{0,5})]/[4\pi - (2\varphi_{0,5})(2\theta_{0,5})]}. \quad (6)$$

Если ввести коэффициент изменения уровня боковых лепестков $k_{бл}$, то формула (3) преобразуется к виду

$$D = 4\pi/\{(2\varphi_{0,5})(2\theta_{0,5}) + k_{бл}^2\, t_{бл}^2[4\pi - (2\varphi_{0,5})(2\theta_{0,5})]\}, \quad (7)$$

позволяющему учесть влияние изменения УБЛ на КНД. Если $k_{бл} = 1$, то формулы (7) и (3) совпадают, при этом совпадают значения D и $D_{и}$. При $k_{бл} > 1$, соответствующем увеличению УБЛ, КНД убывает, а при $0 < k_{бл} < 1$ – КНД возрастает.

Таким образом, появляется возможность оценки влияния характеристик направленности передающей и приемной антенн на отношение сигнал/шум в радиоканале, в значительной мере определяющий помехозащищенность информационных коммуникаций в системе. Синтез антенн с ДН заданной формы и ширины при минимальном уровне боковых лепестков позволит повысить помехоустойчивость коммуникаций в информационных системах с радиоканалом.

Литература

1. Кобак, Н.Н. Анализ повышения помехоустойчивости беспроводной информационной системы/Н.Н. Кобак, А.С. Литвин, С.С. Слесаренко// Материалы Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nauchebe.net/2012/04/analiz-povysheniya-pomexoustojchivosti-besprovodnoj-informacionnoj-sistemy/ (дата обращения: 18.02.2013).

2. Юрков, Н.К. Пространственная локализация информации в системе охраны особо важных объектов радиолучевого типа/ Н.К. Юрков, А.Н. Якимов// Надежность и

качество: Труды международного симпозиума. Том 1 / Под ред. Н.К. Юркова – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2009.– С. 6-9.

3. Якимов А.Н. Обеспечение помехоустойчивости и защиты информации в радиолокационной системе безопасности / А.Н. Якимов, Н.К. Юрков // Аналитические и численные методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем: сб. статей VI Междунар. научно-техн. конф. (г. Пенза, 25-29 октября 2011 г.). – Пенза: Изд-во "Приволжский Дом знаний", 2011. – С. 161-163.

4. Современная радиолокация: пер. с англ./ под ред. Ю.Б. Кобзарева. – М.: Сов. радио, 1969. – 704 с.

5 . Сазонов, Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.

ЕМКОСТНОЙ ДАТЧИК УРОВНЯ

Воротников И.Н., Андреев Е.А., Мастепаненко М.А.
г. Ставрополь

Емкостной метод измерения является одним из наиболее распространенных методов измерения уровня. Основными преимуществами емкостных уровнемеров является, прежде всего, простота конструкции первичного преобразователя и отсутствие подвижных элементов. Автором предложен вариант конструкции емкостного датчика уровня, которая позволяет приблизительно сохранять начальную емкость для случая измерения как малых перепадов уровня (доли метра), так и значительных (метры), тем самым позволяет устранить технологический разброс в начальных значениях емкости первичного преобразователя.

Capacitive level sensor

Capacitive method of measurement is one of the most common methods of level measurement. The main advantages of capacitive level meters is, first of all, the simplicity of the design of a primary Converter and the absence of moving parts. The author of a variant of design of the capacitive level sensor, which allows approximately save the initial capacity for the case of measuring as small fluctuations of the level of (a fraction of a meter), and significant (meters), thereby allows you to eliminate the technological variation in the initial values of the capacity of the primary Converter.

Основой для получения первичной информации и технологических параметров являются первичные преобразователи различных неэлектрических величин, которые называют датчиками. Именно от метрологических характеристик первичных преобразователей будет зависеть эффективность всей измерительной системы [1]. Так как, первичные преобразователи являются источника получения первичной информации о той или иной неэлектрической величине (например, уровне), погрешность которых не может быть скорректирована ни какими последующими устройствами. Поэтому, если рабочие характеристики датчиков будут неудовлетворительными (недостаточные точность измерений и быстродействие, низкая надежность и т.п.), то вся система измерения какими бы совершенными ни были вторичные преобразователи и вычислительные устройства, будет работать со сбоями.

Анализ литературы [1, 2] показал, что емкостной метод измерения является одним из наиболее распространенных методов измерения уровня. Основными преимуществами емкостных уровнемеров является, прежде всего, отсутствие подвижных элементов, что значительно повышает надежность работы устройства,

простота обслуживания, удобства монтажа первичного преобразователя, возможности использования в широком интервале температур и давлений, кроме того емкостные датчики уровня обладают высокой чувствительностью, малыми габаритами, массой, относительно высоким быстродействием, искробезопасностью, небольшими усилиями электромеханического взаимодействия между электродами, однонаправленностью действия, легкостью формирования требуемой формы зависимости между входной и выходной величинам.

Автором предложен один из вариантов конструкции емкостного датчика уровня. Датчик содержит электроды, выполненные из одножильных или многожильных изолированных проводников 6, уложенных в виде одно- или многовитковой петли, установлены во внутренней полости металлического защитного экрана 1 вдоль его оси и закреплены с помощью двух шпилек 3 и 5, установленных поперек защитного экрана по его концам, как это показано на рисунке 1 [3, 4].

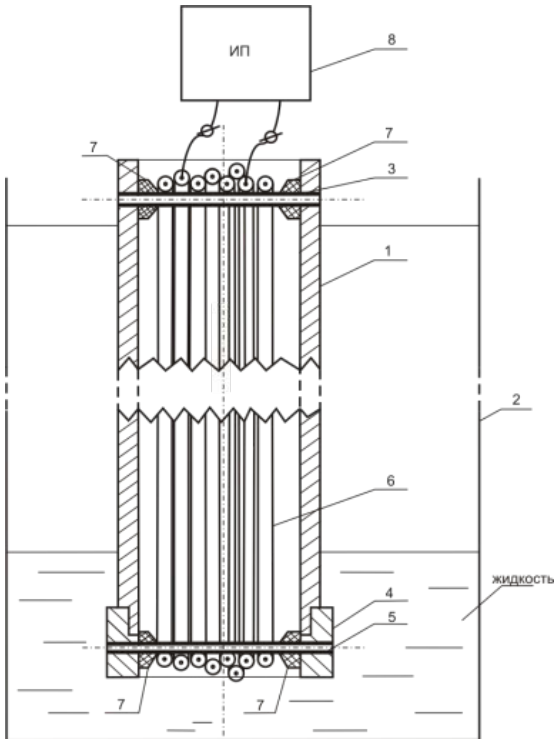


Рисунок 1 - Схема емкостного датчика уровня жидкостей

Предлагаемая конструкция датчика уровня позволяет устранить технологический разброс в начальных значениях емкости, путем поворота в ту или иную сторону втулку 4, и тем самым, меняя взаимное расположение проволочных электродов 6 и электрическую емкость датчика (таблице 1).

Таблица 1 - Характеристики емкостного датчика уровня с проволочными электродами (опытный образец №1)

Диапазон измерения 0,18 м; длинна проволочных электродов 1 м			
Характеристики датчика	**Угол поворота втулки**		
	0˚	90˚	360˚
Воздух			
Начальная емкость датчика, $C_{сух}$, пФ	31	37	43

Чувствительность датчика, пФ/м	172,2	205,5	238,8
Вода			
Емкость датчика при полном погружении, пФ	67	79,9	92,8
Чувствительность датчика, пФ/м	372,2	443,8	516

Для проведения исследований изготовлен опытный образец датчика с металлическим защитным экраном, выполненный из металлической полой трубы круглого сечения с внутренним диаметром 25 мм и длиной 0.2 м, расстоянием между шпильками 0.18 м (диапазон измерения), длина каждого из проволочных электродов 1 м. Электроды выполнены из одножильной проволки с фторопластовой изоляцией (сечением 0.35 мм^2 , ТУ 160-505185-71), что составило два полных витка уложенных в полости защитного экрана вдоль его оси. Для проведения исследований использовались: RLC-измеритель Е7-22, линейка (предел измерения – 1000 мм, цена деления – 1 мм) и штангенциркуль (значение отсчёта по нониусу 0,05 мм и 0,1 мм).

Начальная емкость датчика в свободном от воды состоянии составило 31 пФ. Поворачивая поворотную втулку в любом направлении емкость постепенно увеличивалась и при повороте на 360^0 достигла своего максимального значения 43 пФ (таблица 1). При повороте втулки в обратном направлении датчик принял значение своей исходной емкости. Следовательно, предложенная конструкция датчика с поворотной втулкой позволяет подстраивать начальную емкость в пределах 30 %. Чувствительность датчика при этом возросла от 172,2 пФ/м до 238,8 пФ/м.

При погружении датчика в резервуар с водой емкость увеличивалась, и при полном погружении достигла своего максимального значения 67 пФ. В этом случае удельная емкость датчика на единицу длины его погружения составила 370 пФ/м. А при повороте втулки на 360˚ чувствительность датчика достигла своего максимального значения 516 пФ/м.

В этот же экран уложили более длинные проволочные электроды (по 2 м каждый). Характеристики датчика показаны в таблице 2. Начальная емкость датчика составила 74 пФ. При полном погружении в воду емкость повысилась до 147 пФ. Удельная емкость при этом достигла значения 815 пФ/м. А при развороте втулки на 360˚ достигла своего максимального значения 1060 пФ/м.

Таблица 2 - Характеристики емкостного датчика уровня с проволочными электродами (опытный образец №2)

Диапазон измерения 0,18 м; длинна проволочных электродов 2 м			
Характеристики датчика	**Угол поворота втулки**		
	0˚	90˚	360˚
Воздух			
Начальная емкость датчика, $C_{сух}$, пФ	74	85	96,4
Чувствительность датчика, пФ/м	411	472	535,5
Вода			
Емкость датчика при полном погружении, пФ	147	168,8	190,8
Чувствительность датчика, пФ/м	816,6	937,7	1060

Такая конструкция емкостного датчика уровня жидкости позволяет приблизительно сохранять начальную емкость для случая измерения как малых перепадов уровня (доли метра), так и значительных (метры). Для этого достаточно,

сохраняя начальную длину проволочных электродов 6 и устанавливая шпильки 3 и 5 на необходимом расстоянии, уложить электроды в полости металлического защитного экрана 1. При этом будет меняться число витков между шпильками 3 и 5 от минимального (в случае максимального перепада уровня) до максимального (в случае минимального перепада уровня). Во втором случае удельная емкость емкостного двухэлектродного датчика уровня жидкости на единицу перепада, уровня будет также максимальной.

В тех случаях, когда необходимо получить наибольшую удельную емкость емкостного двухэлектродного датчика уровня жидкости, можно увеличивать начальную длину проволочных электродов 6. При том же расположении шпилек 3 и 5, в этом случае количество витков увеличится, что приведет к увеличению емкости датчика.

Литература

1. Датчики: справочное пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полищук, Г. Г. Ишанин, А. Н. Гуржий, И. М. Викулин, Б. Н. Гордеев, Ю. Д. Жуков, Н. Д. Кошевой, Ш. Д. Курмашев, А. Н. Куценко, С. В. Марченко, И. Г. Минаев, А. С. Совлуков. – Черкассы : Брама – Украина, 2008. – 1072 с.

2. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов». – 3-е изд., перераб. – М.: «Энергия», 1978. – 704 с.

3. Пат. 78929 Российская Федерация, МПК 8 G01F23/24. Емкостной двухэлектродный датчик уровня жидкости / И. Г. Минаев, Д. Г. Ушкур, М. А. Мастепаненко; (RU). - 2008131178/22; заявл. 28.07.2008; опубл. 10. 12. 2008

4. Минаев И. Г., Воротников И.Н., Мастепаненко М. А. Способ измерения уровня жидкостей // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 9. – С. 68–70.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ИМС СВЕРХБОЛЬШОЙ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ

Полесский С.Н., * Карапузов М.А.
*Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ; *Москва, ОАО «НИИ ТП»*

Проведен анализ моделей прогнозирования безотказности современных сверхбольших ИМС двух справочников RIAC-HDBK-217Plus и MIL-HDBK-217F, показаны их недостатки и преимущества.

Analysis of modern models of forecasting of reliability operation of microcircuits of superbig extent of integration, Polesskiy S., Karapuzov M.

The analysis of models of forecasting of reliability operation of modern superbig IMS of two directories RIAC-HDBK-217Plus and MIL-HDBK-217F is carried out, their shortcomings and advantages are shown.

Современные информационные и интеллектуальные управляющие системы должны удовлетворять ряду простых, но основополагающих требований: быть компактными, быстродействующими, сохраняя при этом энергоэффективность, невысокую стоимость и, главное, надежность. Основой всех этих систем являются полупроводниковые микроэлектронные и оптоэлектронные устройства, изготовляемые

по самым современным субмикронным технологиям, в том числе и на основе многослойных полупроводниковых гетероструктур [1]. Но с ростом степени интеграции полупроводниковых структур и, как следствие, увеличением количества и скорости выполняемых операций повышаются и требования к их надежности. Также обратной стороной высокотехнологичного производства является высокая выходная стоимость электронно-компонентной базы (ЭКБ). В первую очередь речь идет об интегральных микросхемах (ИМС).

Как было сказано ранее, надежность является одним из основных требований, предъявляемых к ИМС. Оценка показателей надежности (ПН) разрабатываемых изделий на стадии проектирования была необходима всегда и в связи с высокими темпами прогресса технологий производства микроэлектроники важность ее неуклонно растет. По ее результатам может быть принято решение о закупке тех или иных позиций ИМС из ЭКБ, если полученные ПН удовлетворяют предъявляемым требованиям, или же, при неудовлетворительном результате, провести поиск других схемотехнических решений, начиная от замены на более надежную ИМС до введения дополнительных мер защиты от отказа.

Чтобы избежать принятия неверных решений из-за недостаточной точности проводимой оценки ПН ИМС, необходимо быть уверенным, что математический аппарат и имеющиеся исходные статистические данные учитывают как внешние воздействующие факторы, так и внутреннюю структуру ИМС. Логично предположить, что чем больше факторов учтено при оценке ПН, тем точнее будут ее результаты. Рассмотрению этого предположения, а также сравнительному анализу математических моделей (ММ) оценки интенсивности отказов (ИО), представленных в справочниках [2, 3], и посвящена данная статья.

В справочнике [2] для негерметизированных ИМС в пластиковых корпусах приводится следующая математическая модель оценки интенсивности отказов:

$$\lambda_P = \pi_G \left(\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{RHT} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT} \right) + \lambda_{SJB} \pi_{SJDT} + \lambda_{EOS}, \quad (1)$$

где: λ_P - прогнозируемая интенсивность отказов, 1/ч.; π_G - коэффициент повышения интенсивности отказов; λ_{OB} - базовая интенсивность отказов в режиме работы, 1/ч; π_{DCO} - коэффициент, зависящий от рабочего цикла (время работы); π_{TO} - коэффициент, зависящий от температурного режима (время работы); λ_{EB} - интенсивность отказа в режиме хранения, 1/ч.; π_{DCN} - коэффициент, зависящий от рабочего цикла (время хранения); π_{RHT} - коэффициент, зависящий от температурного режима (время хранения) и влажности; λ_{TCB} - интенсивность отказов, зависящая от количества циклов, 1/ч.; π_{CR} - коэффициент, зависящий от количества циклов; π_{DT} - коэффициента, зависящий от разности температур в режиме работы и хранения; λ_{SJB} - интенсивность отказов паяных соединений, 1/ч.; π_{SJDT} - коэффициент, зависящий от разности температур паяных соединений в режиме работы и хранения; λ_{EOS} - интенсивность отказов из-за повышенных электрических нагрузок, 1/ч.

$$\pi_G = e^{\left(-\beta(Y-1993)\right)}, \quad (2)$$

где: β - постоянная степени повышения интенсивности отказов, зависящая от типа ИМС и приведенная в таблице в [2]; Y - год выпуска ИМС.

$$\pi_{DCO} = \frac{DC}{DC_{1op}}, \quad (3)$$

где: DC - отношение времени работы к общему времени работы и хранения аппаратуры, в которую входит оцениваемая ИМС, в процентах; DC_{1op} - табличное значение из [2] для негерметизированной ИМС в пластиковом корпусе.

$$\pi_{TO} = e^{\left(\frac{-Ea_{op}}{8{,}617\times10^{-5}}\left(\frac{1}{T_{AO}+T_R+273}-\frac{1}{298}\right)\right)}, \quad (4)$$

где: Ea_{op} - энергия активации в режиме работы, в эВ; T_{AO} - температура окружающей среды в режиме работы, в °С; T_R - величина возрастания температуры окружающей среды, в °С.

Величина возрастания температуры окружающей среды может быть получена несколькими путями: взята из таблицы, приведенной на странице 28 [2], или же получена с использованием формул (5) или (6). При наличии информации о тепловом сопротивлении перехода кристалл-окружающая среда используется (5), при наличии информации о тепловом сопротивлении перехода кристалл-корпус – (6). В последнем случае в (4) необходимо T_{AO} заменить на $T_{\tilde{N}}$ (температуру корпуса ИМС).

$$T_R = \theta_{JA} P, \quad (5)$$

где: θ_{JA} - тепловое сопротивление кристалл-окружающая среда, в °С/Вт; P - рассеиваемая мощность, в Вт.

$$T_R = \theta_{J\tilde{N}} P, \quad (6)$$

где: θ_{JA} - тепловое сопротивление кристалл-корпус, в °С/Вт; P - рассеиваемая мощность, в Вт.

$$\pi_{DCN} = \frac{1-DC}{DC_{1nonop}}, \quad (7)$$

где: DC - отношение времени работы к общему времени работы и хранения аппаратуры, в которую входит оцениваемая ИМС, в процентах; DC_{1nonop} - табличное значение из [2] для негерметизированной ИМС в пластиковом корпусе.

$$\pi_{RHT} = e^{\left(\frac{-Ea_{nonop}}{8{,}617\times10^{-5}}\left(\frac{1}{T_{AE}+273}-\frac{1}{298}\right)\right)}\left(\frac{RH}{0{,}5}\right)^3, \quad (8)$$

где: Ea_{nonop} - энергия активации в режиме хранения, в эВ; $T_{AÅ}$ - температура окружающей среды в режиме хранения, в °С; RH - относительная влажность, в процентах.

$$\pi_{CR} = \frac{CR}{CR_1}, \quad (9)$$

где: CR - количество включений аппаратуры, в которую входит оцениваемая ИМС, в течение одного календарного года; CR_1 - табличное значение из [2] для негерметизированной ИМС в пластиковом корпусе.

$$\pi_{DT} = \left(\frac{T_{AO}+T_R-T_{AE}}{DT_1}\right)^4, \quad (10)$$

где: T_{AO} - температуры окружающей среды в режиме работы, в °С; T_R - величина возрастания температуры окружающей среды, в °С; $T_{AÅ}$ - температуры окружающей среды в режиме хранения, в °С; DT_1 - табличное значение из [2] для негерметизированной ИМС в пластиковом корпусе.

$$\pi_{SJDT} = \left(\frac{T_{AO} + T_R - T_{AE}}{44} \right)^{2,26}, \quad (11)$$

где: T_{AO} - температуры окружающей среды в режиме работы, в °С; T_R - величина возрастания температуры окружающей среды, в °С; $T_{AÀ}$ - температуры окружающей среды в режиме хранения, в °С.

Необходимо уточнить, что прогнозируемая интенсивность отказов λ_P будет получена в расчете на календарный срок эксплуатации, так как учитывается не только непосредственное время работы, но и время хранения, предшествующее или следующее за ним. Интенсивности отказов ($\lambda_{OB}, \lambda_{EB}, \lambda_{TCB}, \lambda_{SJB}$ и λ_{EOS}) и энергии активации (Ea_{op} и $Ea_{попор}$) приведены в таблице справочника [2].

Для ИМС сверхбольшой степени интеграции (сложностью более 60000 элементов) в справочнике [3] приведена следующая модель:

$$\lambda_{Ý} = \lambda_{bd} P_{mfg} P_t P_{cd} + \lambda_{bp} P_e P_q P_{pt} + \lambda_{eos}, \quad (12)$$

где: λ_{bd} - интенсивность отказов, связанная с отказами кристалла, 1/ч.; P_{mfg} - коэффициент влияния процесса изготовления; P_t - коэффициент влияния температуры перехода; P_{cd} - коэффициент влияния сложности кристалла; λ_{bp} - интенсивность отказов, связанная с отказами корпуса, 1/ч.; P_e - коэффициент влияния жесткости условий эксплуатации; P_q - коэффициент влияния уровня качества; P_{pt} - коэффициент влияния корпуса; λ_{eos} - интенсивность отказов, связанная с электрической перегрузкой.

$$P_t = 0{,}1 \times e^{\left(\frac{-E_a}{8{,}617 \times 10^{-5}} \left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{N_T} \right) \right)}, \quad (13)$$

где: E_a - энергия активации, в эВ; T_J - температура перехода, в °С; N_T - постоянный коэффициент (определен в таблице раздела 1.5 справочника [3]).

$$T_J = T_C + \theta_{JC} P = T_A + \theta_{JA} P, \quad (14)$$

где: T_C - температура корпуса, в °С; T_A - температура окружающей среды, в °С; θ_{JC} - тепловое сопротивление кристалл-корпус, в °С/Вт; θ_{JA} - тепловое сопротивление кристалл-окружающая среда, в °С/Вт; P - фактическая рассеиваемая мощность, в Вт.

$$P_{cd} = 0.36 + \left(0.64 \cdot \left(\frac{A}{0.21} \right) \cdot \left(\frac{2}{x_S} \right)^2 \right), \quad (15)$$

где: A - площадь кристалла, в см^2; x_S - топологический размер, в мкм.

$$\lambda_{bp} = 0.0022 + 1.72 \cdot 10^{-5} \cdot N, \quad (16)$$

где: N - количество выводов корпуса.

$$\lambda_{eos} = \frac{-\ln(1 - 0.00057 \cdot e^{(-0.0002 \cdot V)})}{0.00876}, \quad (17)$$

где: V - восприимчивость к электростатическому разряду, В.

Интенсивности отказов λ_{bd}, λ_{bp} и коэффициенты P_{mfg}, P_e, P_q, P_{pt} являются табличными данными и приведены в таблицах справочника [3].

При сравнении двух приведенных моделей оценки ИО хотелось бы обратить внимание на описание коэффициента, учитывающего влияние температуры. Как можно видеть, формулы (4), (8) и (13) отличаются. В первом случае, учитывается влияние

температуры на ИО в режимах работы (4) и хранения (8), что и является основной причиной различия: в режиме хранения также учитывается относительная влажность и не учитывается теплоотвод с кристалла, так как на него не подается питание. Таким образом, данные формулы прекрасно дополняют друг друга в одной модели. Во втором случае, формула (13) практически идентична (4): коэффициент N_T в справочнике [3] для любых ИМС, кроме арсенид-галлиевых, имеет значение 298, а также необходимо подставить (14) в (13) и (5) в (4). Отличие состоит в уменьшении полученного коэффициента в 10 раз в формуле (13), к тому же стоит обратить внимание на отсутствие учета временного графика работы в модели оценки ИО из справочника [3] (об этом косвенно свидетельствует учет рассеиваемой мощности (14)). Если в (14) учесть отсутствие рассеиваемой мощности, то есть режим хранения ИМС, то температура корпуса будет равна температуре окружающей среды и, что важнее, температуре перехода. Другими словами, при $P = 0$ формула (13) приобретает следующий вид (в данном случае учтено, что $N_T = 298$):

$$P_{to} = 0{,}1 \times e^{\left(\frac{-E_a}{8{,}617\times10^{-5}}\left(\frac{1}{T_A+273}-\frac{1}{298}\right)\right)}, \qquad (18)$$

где: E_a - энергия активации, в эВ; $T_À$ - температура окружающей среды, в °С.

Приравнивая P_{to} и π_{RHT}, получим, что $\left(RH/0.5\right)^3 = 0.1 \Rightarrow RH = 0.232$, то есть относительная влажность составляет 23,2%. Очевидно, что в данном случае 0,1 не может быть коэффициентом учета относительной влажности. В справочнике [3] отсутствуют рекомендации по оценке ИО ИМС в режиме хранения (пониженного энергопотребления) и вывод формулы (18) был сделан, чтобы наглядно продемонстрировать этот основной недостаток модели (12).

Необоснованное уменьшение значения коэффициента учета температуры приводит к уменьшению ИО и, как следствие, возможному завышению итоговых ПН ИМС. Также хотелось бы отметить, что в модели (1) недостатком по сравнению с (12) является отсутствие учета сложности архитектуры ИМС, условий эксплуатации (и хранения) и уровня качества.

Исходя из вышеизложенного, у каждой модели есть как достоинства, так и недостатки. Оптимальным путем выхода из этой ситуации стало бы объединение двух ММ оценки ИО ИМС в единую, которая включила: во-первых, учет сеансного режима работы (и, соответственно, условий хранения/пониженного энергопотребления), во-вторых, учет сложности архитектуры ИМС, в-третьих, учет условий эксплуатации и, в-четвертых, учет уровня качества. Основная трудность будет заключаться в адекватной замене коэффициентов, так как большая часть их является эмпирическими формулами.

Литература

1. А.И. Белоус, В.А. Емельянов, А.С. Турцевич, «Основы схемотехники микроэлектронных устройств. - М.: Изд-во Техносфера, 2012. - 472 с.

2. RIAC-HDBK-217Plus (Handbook of 217PlusTM Reliability Prediction Models). Reliability Information Analysis Center, 2006.-182.

3. MIL – HDBK – 217F. Reliability prediction of electronic equipment, 1995.-205.

ЕМКОСТНОЙ ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ, ИНВАРИАНТНЫЙ К ИЗМЕНЕНИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЫ

Воротников И.Н., Андреев Е.А., Мастепаненко М.А.
г. Ставрополь

Способ измерения уровня электропроводных и диэлектрических жидкостей основан на емкостном методе измерения. Расчет уровня жидкости выполняется по универсальному для любого типа жидкостей алгоритму. Устройство, реализующее новый способ измерения, содержит два конденсаторных датчика, по показаниям которых вторичное измерительное устройство ведет расчет уровня жидкости в соответствии с алгоритмом расчета. Способ измерения уровня жидкостей позволяет полностью устранить влияние диэлектрических свойств контролируемой среды на результаты измерений.

Capacitive dual-channel level meter liquids, invariant to a change of the relative dielectric permittivity of the medium under monitoring

Way to measure the level of electrical conductivity and dielectric fluids based on a capacitive measurement method. Calculation of liquid level is performed by the universal for any type of fluid algorithm. A device that implements a new method of measurement includes two capacitor sensor, according to indications that the secondary measuring device is the calculation of liquid level in accordance with the algorithm of the calculation. Method for measuring liquid level can eliminate the effect of the dielectric properties of the controlled environment on the measurement results.

Измерение уровня жидкостей является важной задачей во многих отраслях промышленности: нефтепереработка, химическая промышленность, теплоэнергетика, пищевая промышленность и другие. Наибольшее распространение в промышленности нашел емкостной метод измерения уровня.

В настоящее время известны различные конструктивные решения емкостных измерителей уровня (ЕИУ).

Одним из таких вариантов, является ЕИУ жидкости (рис. 1), который содержит два идентичных конденсаторных датчика (КД) 1 и 2 уровня жидкости [1]. Внешние электроды 3 и 4 КД 1 и КД 2 выполнены в виде труб преимущественно круглого сечения. Внутренние электроды 5 и 6 датчиков могут быть выполнены либо в виде проволочных электродов [2, 3], покрытых изоляцией (в случае измерения уровня электропроводной жидкости), либо в виде труб меньшего диаметра, как это показано на рисунке 1. Внутренние электроды закреплены либо с помощью поперечных шпилек (в случае, когда в качестве внутренних электродов использовались проволочные электроды), либо с помощью диэлектрических втулок (когда в качестве электродов использовались трубы меньшего диаметра), как в нашем случае, выполненных из стержневого фторопласта [4].

При чем длинна КД 1 короче, на $\boldsymbol{h_{комп}}$ (не менее чем на 10 %), длинны КД 2, и поэтому нижний конец датчика 2 высотой $\boldsymbol{h_{комп}}$ постоянно погружен в контролируемую жидкость, образуя при этом дополнительный компенсационный датчик, параллельно соединенный с КД 2. Уровень жидкости не может опускаться ниже постоянно погруженной части $\boldsymbol{h_{комп}}$ (не измеряемая зона), что позволяет внести компенсации в измерительную схему (рис.1).

При измерении уровня электропроводной жидкости один из электродов емкостных датчиков 1 и 2 должен иметь изоляционное покрытие. Естественно, таким электродом должен быть потенциальный. При этом материал изоляционного покрытия должен быть одним и тем же для обоих датчиков 1 и 2. В этом случае КД 1 и КД 2 становятся двухслойными конденсаторами.

При этом, емкость $\boldsymbol{C_A}$ КД 1 в общем случае, когда уровень контролируемой жидкости находится между крайними отметками будет определяться выражением:

$$C_{дат} = C_1 + C_2 + C_0, \quad (1)$$

где C_1 - емкость незаполненной жидкостью части КД 1;

C_2 -емкость погруженной части КД 1.

C_0 - емкость проходного изолятора и соединительного кабеля;

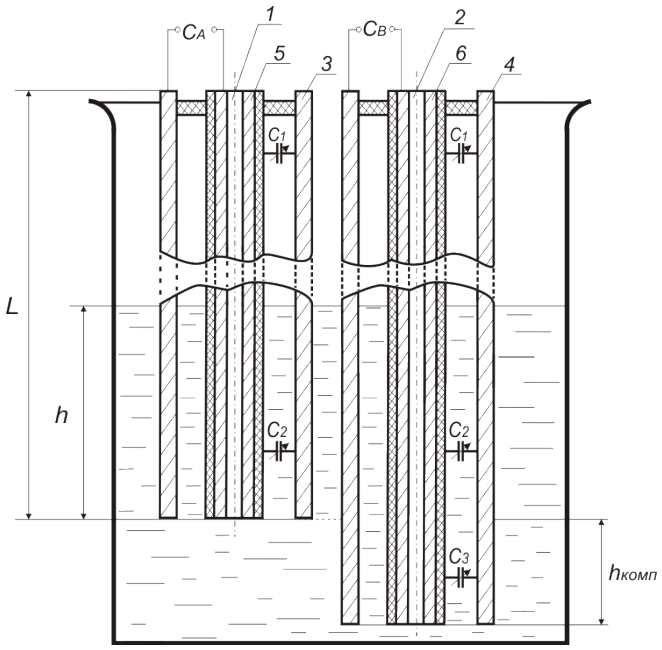


Рисунок 1 - Емкостной двухканальный измеритель уровня жидкости

В случае измерения уровня электропроводной жидкости непогруженный участок КД 1 будет иметь емкость $\boldsymbol{C_1}$, образованную последовательным соединением $\boldsymbol{C_{из}}$ и $\boldsymbol{C_1'}$, как это показано на рисунке 2:

$$C_1 = \frac{C_1' \cdot C_{из}}{C_1' + C_{из}}, \quad (2)$$

где: $\boldsymbol{C_{из}}$ **–** емкость изоляционного покрытия на участке *L-h*;

$\boldsymbol{C_1'}$ - емкость между наружной поверхностью изоляции внутреннего электрода 5 и внешним электродом 3 на участке *L-h*.

Значения $\boldsymbol{C_{из}}$ и $\boldsymbol{C_1'}$ на участке *L-h* имеют вид:

$$C_{из} = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{из}(L-h)}{\ln(\frac{d_{из}}{d_1})};\ C_1' = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_г(L-h)}{\ln(\frac{d_2}{d_{из}})}, \quad (3)$$

где: $\varepsilon_{из}$ - диэлектрическая проницаемость изоляционного покрытия;

$d_{из}$ – внешний диаметр внутреннего электрода вместе с изоляционным покрытием;

d_1 - внешний диаметр внутреннего электрода без учета изоляционного покрытия.

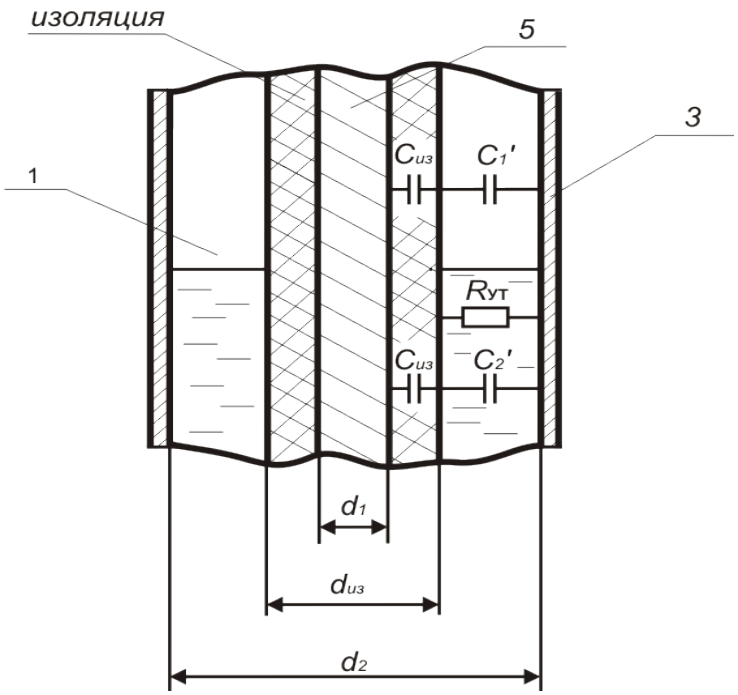


Рисунок 2 - Эквивалентная схема участка КД 1 на границе раздела «воздух - электропроводная жидкость»

Отсюда выражения для определения значения $\boldsymbol{C_1}$ примет вид:

$$C_1 = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{ИЗ}\cdot\frac{1}{\frac{d_2}{d_{из}}}\cdot\frac{1}{\ln\frac{d_{ИЗ}}{d_1}}\cdot(L-h)}{\frac{1}{\ln\frac{d_2}{d_{из}}}+\frac{\varepsilon_{ИЗ}}{\ln\frac{d_{ИЗ}}{d_2}}}. \quad (4)$$

Импеданс погруженной части датчика будет восприниматься измерительным устройством как некое емкостное сопротивление конденсатора с кажущейся или эффективной емкостью $\boldsymbol{C_2}$, зависящей от ряда параметров: электропроводности жидкости (сопротивления утечки $\boldsymbol{R_{УТ}}$ на рис. 2), диэлектрических свойств изоляционного покрытия и самой жидкости (а точнее от соотношения $\boldsymbol{R_{УТ}}$ и емкостного сопротивления конденсатора $\boldsymbol{C_2'}$).

В частности, если $R_{УТ} \rightarrow 0$, то $C_2 \rightarrow C_2'$.

Поэтому выражение для определения $\boldsymbol{C_2}$**:**

$$C_2 = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{ИЗ}\cdot\varepsilon_{ж}\cdot h}{\frac{\varepsilon_{ж}}{\ln\frac{d_2}{d_{из}}}+\frac{\varepsilon_{ИЗ}}{\ln\frac{d_{ИЗ}}{d_1}}}. \quad (5)$$

Функция преобразования КД 1 примет вид:

$$C_A = C_0 + \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{ИЗ}\cdot\frac{1}{\frac{d_2}{d_{из}}}\cdot\frac{1}{\ln\frac{d_{ИЗ}}{d_1}}\cdot(L-h)}{\frac{1}{\ln\frac{d_2}{d_{из}}}+\frac{\varepsilon_{ИЗ}}{\ln\frac{d_{ИЗ}}{d_2}}} + \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{ИЗ}\cdot\varepsilon_{ж}\cdot h}{\frac{\varepsilon_{ж}}{\ln\frac{d_2}{d_{из}}}+\frac{\varepsilon_{ИЗ}}{\ln\frac{d_{ИЗ}}{d_1}}} \quad (6)$$

При этих же условиях общая емкость $\boldsymbol{C_B}$ КД 2 будет определяться выражением:

$$C_B = C_0 + C_1 + C_2 + C_3, \quad (7)$$

где $\boldsymbol{C_3}$ - емкость компенсационного конденсаторного датчика диэлектрических свойств, постоянно погруженного в контролируемую жидкость.

При этом значение $\boldsymbol{C_1}$ и $\boldsymbol{C_2}$ зависти от изменения уровня жидкости, и изменяется одновременно с изменением уровня. А значение $\boldsymbol{C_3}$ не зависит от изменения уровня жидкости, а является функцией только диэлектрической проницаемости контролируемой жидкости.

Так как, конструкции датчиков 1 и 2 идентичны, то выражения (4) и (5) для определения значения $\boldsymbol{C_1}$ и $\boldsymbol{C_2}$ будут справедливы для расчета $\boldsymbol{C_A}$ и $\boldsymbol{C_B}$. При этом емкость $\boldsymbol{C_A}$ КД 1 будет меньше общей емкости $\boldsymbol{C_B}$ КД 2 на $\boldsymbol{C_3}$, которая определяется выражением:

$$C_3 = C_B - C_A = C_{0к} \cdot \varepsilon_{ж}, \quad (8)$$

где: $C_{0к}$ – начальная емкость компенсационного датчика (т.е. до погружения в жидкость);

$\varepsilon_{ж}$ - относительная диэлектрическая проницаемость контролируемой жидкости.

Компенсационный конденсаторный датчик, постоянно погруженный в жидкость, будет «вести» себя так же, как и КД 1 (рис.2), так как его потенциальный электрод покрыт тем же изоляционным материалом. Поэтому в расчетах уровня будет участвовать некая кажущаяся или эффективная относительная диэлектрическая проницаемость $\boldsymbol{\varepsilon_{ж}}$ контролируемой среды, которая в частном случае при $\boldsymbol{R_{УТ} \to 0}$ будет определяться только диэлектрическими свойствами изоляционного покрытия.

В этом случае, функция преобразования КД 2 примет вид:

$$C_в = C_0 + C_A + \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{ИЗ}\cdot\varepsilon_{ж}\cdot h_{комп}}{\frac{\varepsilon_{ж}}{\ln\frac{d_2}{d_{из}}} + \frac{\varepsilon_{ИЗ}}{\ln\frac{d_{ИЗ}}{d_1}}} \quad (9)$$

Во время измерения уровня жидкости в резервуаре возможно изменение $\boldsymbol{\varepsilon_{ж}}$, которая зависит от температуры, состава и свойств жидкости, а в связи с этим возникновение дополнительной погрешности. Этот недостаток позволяет устранить КД 2, который постоянно погружен в жидкость (рис.1). Одновременно, с изменением $\boldsymbol{\varepsilon_{ж}}$, изменяется общая емкость $\boldsymbol{C_B}$ КД 2, так как емкость $\boldsymbol{C_3}$ не зависит от изменения уровня жидкости в резервуаре, а является функцией только $\boldsymbol{\varepsilon_{ж}}$ и позволяет постоянно следить за изменением $\boldsymbol{\varepsilon_{ж}}$ и компенсировать погрешность измерений вызванных ее изменением.

Литература

1. Пат. 85641 Российская Федерация, МПК 8 G01F23/24. Емкостной измеритель уровня / И. Г. Минаев, Д. Г. Ушкур, М.А. Мастепаненко, В. В. Самойленко; (RU). – 2009105632/22; заявл. 19.02.2009; опубл. 19.02. 2009.

2. Пат. 2407993 Российская Федерация, МПК 8 G01F23/24. Емкостной способ измерения уровня жидкостей и устройство для его осуществления / Минаев И. Г., Мастепаненко М. А.; (RU) . – № 2009141472/28 ; заявл. 09.11.2009 ; опубл. 27. 12.2010, Бюл. № 36. – 2 с.

3. Минаев И. Г., Воротников И.Н., Мастепаненко М. А. Способ измерения уровня жидкостей // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 9. – С. 68–70.

4. Минаев И. Г., Воротников И.Н., Мастепаненко М. А. Универсальный способ контроля уровня различных жидкостей и аппаратный комплекс для его реализации // Вестник АПК Ставрополья. – 2012. – № 5. – С. 55–58.

ТЕПЛОБМЕН ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ИГОЛЬЧАТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Андреев Е.А.[1], Шаталов А.Ф.[2], Воротников И.Н.[2], Шаталов Н.А.[2]
[1]ФБГОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет, [2]ФБГОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь

Изучен теплообмен плоской поверхности погруженной в трансформаторное масло при воздействии электрического поля. Получены зависимости коэффициента теплоотдачи от межэлектродного напряжения, числа игл, расстояния от их острия до охлаждаемой поверхности при различных направлениях вектора напряженности электрического поля по отношению к вектору массовых сил. Обнаруженные зависимости объясняются на основе формирования электроконвективных потоков трансформаторного масла.

Heat transfer flat surface in electric field igolichatyh electrode. Andreev E.A.[1], Shatalov A.F.[2], Vorotnikov I.N.[2], Shatalov N.A.[2].[1]North-Caucasian federal university, [2] Stavropol state agrarian university, Stavropol

Studied heat transfer flat surface sunk in transformer butter at influence of the electric field. Dependencies of the factor heat transition are Received from межэлектродного of the voltage, numbers needle, distances from their edge before coolled surfaces under different directions of the vector to tension of the electric field to vector of mass power. The Discovered dependencies are explained on base of the shaping electric convection flow of the transformer butter.

Электрическая конвекция эффективное средство управлением интенсивностью теплообмена в жидких диэлектриках. Воздействие поля позволяет существенно повысить теплоотдачу не прибегая к введению в устройства насосов, прокачивающих теплоноситель или к повышению общей площади теплообмена.

В работе изложены результаты исследования электроконвективного теплообмена плоской пластины трансформаторном масле, в ней ставилась задача найти оптимальное соотношение между числом игольчатых электродов, межэлектродным напряжением и расстоянием от охлаждаемой поверхности до их острия, при которых наблюдается максимум интенсификации теплообмена.

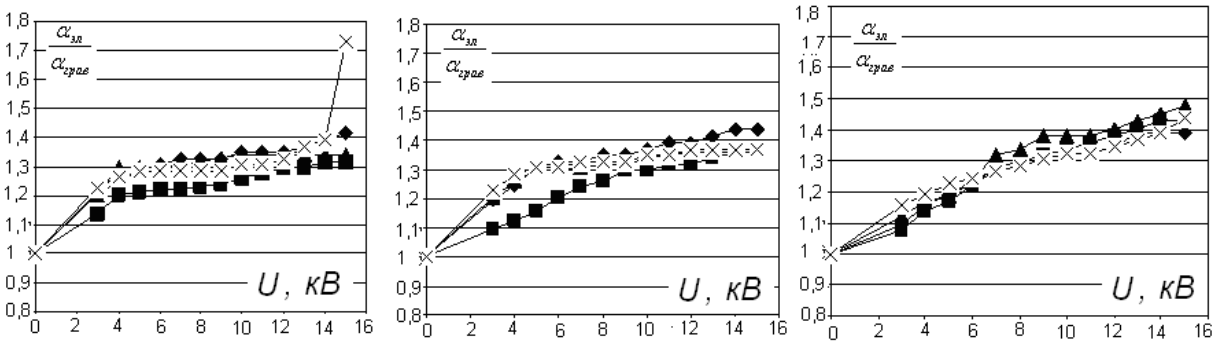
В опытах поверхность пластины, не контактирующая с маслом тщательно теплоизолировалась, электрическое поле создавалось подведением постоянного регулируемого напряжения к пластине и перпендикулярно располагаемым к ней иглам [2,3]. Расстояние l_0 от острия иглы до плоскости в опытах изменяли, менялась, так же, ориентация всей ячейки в пространстве относительно вектора массовых сил и количество игольчатых электродов.

Интенсивность теплообмена характеризовали относительным коэффициентом $\alpha^* = \frac{\alpha_{эл}}{\alpha_{грав}}$, где $\alpha_{эл}$, $\alpha_{грав}$ интегральные коэффициенты теплоотдачи при электрической и гравитационной конвекции соответственно. Интегральные коэффициенты теплоотдачи рассчитывали по стандартной методике с использованием соотношения $\alpha = \frac{q}{T_{ñò} - T}$, где q - удельный тепловой поток к жидкости, находимый по мощности тока в пластине-нагревателе, T_{CT} - температура нагревателя, определяемая методом

термометра сопротивления, T - температура масла на удалении от нагретой поверхности, фиксируемая ртутным термометром с ценой деления 0.5 град.

Первая серия опытов проведена при расположении игл над охлаждаемой поверхностью. Как следует из графиков (рис.1) увеличение коэффициента α^* при напряжениях до 3 кВ прямо росло с увеличением числа электродов. При больших напряжениях зависимость оказывалась более сложной. Характерно, что при малых межэлектродных расстояниях, начиная с 4 кВ зависимость $\alpha^*(U)$ заметно ослабевает, при больших расстояниях она приближается к линейной в рассмотренном диапазоне напряжений [6].

Обнаружилось существенное влияние на функциональную зависимость расстояния l_0 между острием игл и нагретой поверхностью рис. 1. Как следует из графиков $\alpha(U)$, уменьшение межэлектродного расстояния сопровождается уменьшением относительного коэффициента теплоотдачи. Такая зависимость, на первый взгляд противоречит тому обстоятельству, что с ростом напряженности электрического поля интенсивность электроконвективных явлений, а стало быть,



а) б) в)

Рисунок 1 - Зависимость относительного коэффициента теплоотдачи α^* от межэлектродного расстояния и количества игольчатых противоэлектродов. По горизонтальной оси отложено напряжение между электродами в кВ. Межэлектродное расстояние: а)-5мм, б)-10мм, в)20мм. Количество игл:■ -1, ▲-2, ♦-3, **x**-4.

и коэффициент теплоотдачи должны возрастать. Действительно, с уменьшением расстояния напряженность электрического поля между электродами растет. Однако, объем области, где происходит электроконвективное течение, напрямую связан не только с напряженностью поля, но и с межэлектродным расстоянием [4]. Для оценки развитости электрического течения в [5] введено безразмерное число

$$\Gamma = l_0 \cdot \sigma / (\nu \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0) \ , \qquad (1)$$

где, σ - удельная электрическая проводимость жидкости, ν - скорость потоков. Данное число дает отношение времени пересечения жидкостью межэлектродного промежутка ко времени релаксации электрического заряда. В сосуде, размер которого соизмерим с межэлектродным расстоянием течение охватывает всю жидкость, когда число Γ принимает значения более 90 [5]. В нашем случае размеры сосуда велики по отношению к межэлектродному промежутку, поэтому течению подвержена лишь часть объема. Размер области, подверженной течению в радиальном к оси иглы направлении определятся формулой [4]

$$R = (0.75 - 1) \cdot S \ . \qquad (2)$$

В свою очередь, размер S в осевом направлении пропорционален межэлектродному напряжению U

$$S = 0.016 \cdot U \qquad (3)$$

и охватывают только межэлектродный промежуток при Γ=90. Дальнейшее повышение напряжения уже не вызывает заметного роста коэффициента теплоотдачи. Исходя из сказанного, понятно, что уменьшение межэлектродного расстояния l_0 должно приводить также к уменьшению площади нагревателя, омываемой электроконвективными потоками и поэтому к понижению интегрального коэффициента теплоотдачи.

В случае с несколькими игольчатыми противоэлектродами, благодаря зависимости S и R от напряжения между электродами при высоких значениях напряжения наблюдается сложное взаимодействие между гравитационными и ЭГД потоками, а также взаимодействие ЭГД потоков соседних игольчатых электродов между собой, что приводит к уменьшению коэффициента теплоотдачи.

Остановимся теперь на зависимости коэффициента теплоотдачи от ориентации электродной системы по отношению к отвесной линии рис. 2.

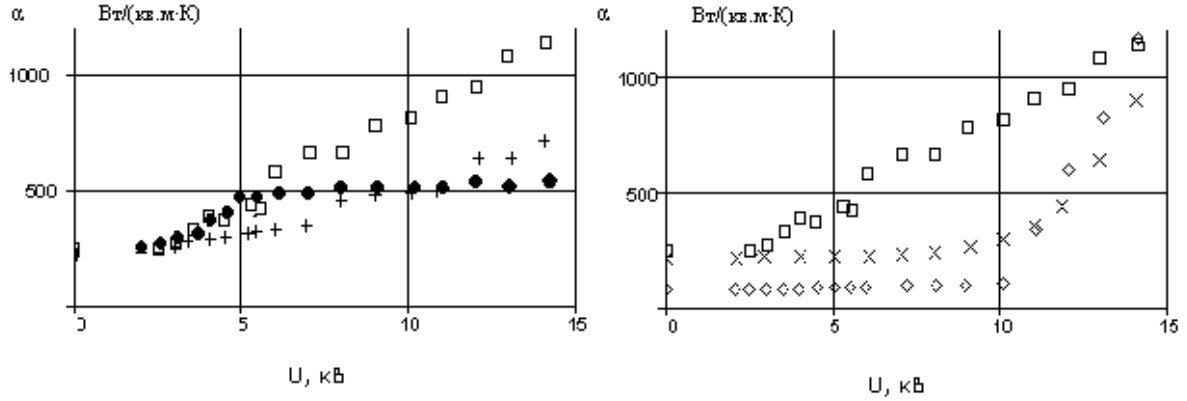


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента теплоотдачи от межэлектродного напряжения при горизонтальном расположении нагретой пластины (левый график): □ - расстояние между иглой и плоскостью l_0 составляет 20 мм, + - 10 мм, • - 3 мм. При различной ориентации по отношению к вектору массовых сил (правый график): □ - нагреватель снизу, × - нагреватель сбоку, ◊ - нагреватель сверху.

При расположении нагретой поверхности сверху от иглы напряжение на электродах не меняет коэффициент теплоотдачи вплоть до 10 кВ. С дальнейшим повышением напряжения коэффициент α резко нарастает по степенной зависимости, далее по линейной с угловым коэффициентом порядка 0.06, вплоть до напряжений 25-30 кВ. Гравитационная конвекция в этом случае отсутствует, так как теплые слои удерживаются у нагревателя силами плавучести, а теплообмен без поля осуществляется теплопроводностью. Чтобы привести нагретые слои в движение у горячей поверхности ЭГД поток должен иметь достаточную кинетическую энергию. Таковая приобретается лишь при межэлектродных напряжениях 10 кВ, что соответствует безразмерному числу Γ=70. Следует указать, что в аналогичных условиях, без градиента температуры расчет и опыты дают значение Γ=90 и, соответственно, более низкое межэлектродное напряжение. Очевидно, такая поправка к числу Γ, обуславливается взаимодействием между собой набегающих электроконвективных потоков с перегретым слоем масла, удерживаемым у нагревателя силами плавучести.

При расположении нагретой пластины снизу наблюдается сложное взаимодействие конвективных и электрогидродинамических потоков, результатом

которого является уменьшение порогового напряжения до 2500 В и линейный рост коэффициента α вплоть до стабилизации коэффициента теплоотдачи.

При вертикальном расположении нагретой пластины, а иглы сбоку от нее, ситуация самая сложная в силу того, что взаимодействуют между собой горизонтальные электроконвективные потоки и вертикальные гравитационные. В этом случае нижняя часть пластины имеет локальный перегрев по отношению к верхней. Интегральный коэффициент теплоотдачи растет по квадратичной зависимости вместе с напряжением.

Из экспериментов и их анализа следуют выводы:

1) для эффективного управления коэффициентом теплоотдачи плоской пластины необходимо чтобы между поперечным размером охлаждаемой поверхности и межэлектродным расстоянием была связь, определяемая формулой (1), ее можно достичь расположением не одной, а нескольких игл, межэлектродное напряжение следует находить из соотношения (3). При небольшом напряжении увеличение коэффициента теплоотдачи происходит с увеличением числа игольчатых электродов;

2) изменяя расстояние между острием иглы и плоскостью удается регулировать величину углового коэффициента $\alpha(U)$;

3) влияние на зависимость $\alpha(U)$ ориентации нагретой поверхности по отношению к отвесной линии обуславливается взаимодействием гравитационных и электроконвективных потоков.

Литература

1. Болога М.К., Гросу Ф.П., Кожухарь И.А. Электроконвекция и теплообмен. Кишинев: Штиинца, 1977. 320 с.

2. Шаталов А.Ф., Кожевников В.М., Попов А.А. Интенсификация теплообмена плоской поверхности посредством электрического поля // Исследования, синтез и технология люминофоров / Сб. научных тр. Вып. 44. ЗАО НПО «Люминофор», Ставрополь 2002. С. 252-255.

3. Попов А.А., Шаталов А.Ф., Кожевников В.М. Особенности теплообмена плоской поверхности при взаимодействии естественноконвективных и ЭГД потоков // 10 юбилейная Международная Плесская конференция по магнитным жидкостям / Сб. научных. трудов. Плесс, Россия, 2002. С. 276-280.

4. Остроумов Г.А. Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. М.: Наука, 1979. 319 с.

5. Стишков Ю.А., Остапенко А.А. Электро-гидродинамические течения в жидких диэлектриках. Ленинград, изд. Ленинградского университета, 1989. 119 с.

6. Шаталов А.Ф., Хащенко А.А., Воротников И.Н. Влияние геометрии электродов на теплообмен при электроконвекции // Известия ВУЗОВ. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2013, № 1. С.28-32.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ОБЪЕКТОВ

Андреев Е.А, Шаталов А.Ф., Воротников И.Н., Мастепаненко М.А

[1]ФБГОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет, [2]ФБГОУ ВПО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь

Analysis of the electromagnetic situation object. Andreev E.A.[1], SHatalov A.F.[2], Vorotnicov I.N.[2], Mastepanenko M.A[2].[1]North-Caucasian federal university, [2]Stavropoliskiy state agrarian university, Stavropol

Considered approaches to analysis of the electromagnetic situation object on a part of the earth. The Offered way of the determination of the resistance of current flow multiple-unit earth terminal in uniform soil, founded on formal analogy of the field of the direct current and electrostatic field and way of the finding potential in nodes earth terminal on base of the method of the node voltages.

Увеличение интенсивности общего электромагнитного фона в населенных пунктах, связанное с развитием сотовой связи, многообразием приемников электрической энергии, многочисленными коммутациями заставляет обратить внимание на оценку электромагнитной обстановки объектов различного назначения и оценить таким образом вероятности отказов и сбоев в работе электротехнической аппаратуры.

Электромагнитная обстановка (ЭМО) называют совокупность электромагнитных явлений в данной области пространства и в заданных частотном и временном диапазонах.

Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС ТС) определяется как «способность технических средств (устройств) функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам и недопустимых электромагнитных воздействий на биологические объекты», согласно стандарта VDE 0870 Общества немецких электротехников. Этот стандарт определяет еще одно важное понятие: э**лектромагнитное воздействие** как «воздействие электромагнитных величин на электрические цепи, приборы, системы или живые существа».

Электромагнитное воздействие может ухудшить качество функционирования технических средств (устройств), а иногда вызвать в них необратимые разрушения.

Наиболее восприимчивы к электромагнитным воздействиям автоматизированные системы технического управления (АСТУ), аппаратура АСКУЭ и связи. Такие воздействия обусловлены: напряжениями и токами промышленной частоты при КЗ на землю в распределительных устройствах напряжением выше 1 кВ; импульсными помехами при коммутациях и КЗ в распределительных устройствах; импульсными помехами при ударах молнии; электромагнитными полями радиочастотного диапазона; разрядами статического электричества; магнитными полями промышленной частоты; импульсными магнитными полями; возмущениями в цепях питания АСТУ постоянного и переменного тока.

Дополнительные источники электромагнитных воздействий, которые могут вызвать сбои в работе АСТУ вспомогательное электрооборудование: как мощные преобразователи, сварочные аппараты, осветительные приборы, мощные тяговые механизмы, бытовые электроприборы, электроинструмент и др.

Современная аппаратура проходит испытания на помехоустойчивость по стандартам системы ГОСТ Р, согласованными с международными стандартами МЭК, однако, может случиться так, что на предприятии где устанавливается эта аппаратура ЭМО является чрезмерно жесткой и не принимаются меры по ограничению уровней помех. В этом случае может оказаться, что уровень помех превышает уровень помехоустоичивости аппаратуры.

В таких случаях целесообразно уже на стадии проектирования делать оценку уровней помех и сопоставлять их с уровнями помехоустойчивости аппаратуры. Для

оценки можно проводить натурные эксперименты на работающем объекте, в то время как ее оценка на стадии проекта возможна только расчетным путем.

Общая методика определения ЭМО [1] на объекте включает следующие этапы: получение исходных данных об объекте; экспериментально-расчетное определение уровней помех на объекте; определение соответствия между уровнями помехоустойчивости устройств АСТУ и проверку соответствия уровней требованиям для персонала.

Одним из главных источников помех являются однофазные и двухфазные короткие замыкания (КЗ) [4-7], на шинах РУ и ЗУ в сетях с эффективно заземленной нейтралью в этом случае течет наибольший ток промышленной частоты. При этом разность потенциалов может превысить испытательное напряжение для контрольных кабелей, подходящих к оборудованию или устройствам АСТУ, возможно также обратное перекрытие изоляции кабелей или устройств. Ток КЗ, распределяясь по заземленным оболочкам, броне и экранам кабелей может вызвать повреждение кабелей, если будут превышены допустимые по термической стойкости нагрузки Исходными данными для проведения расчетов напряжений и токов при КЗ на землю, являются: схема расположения оборудования с трассами прокладки кабелей цепей вторичной коммутации; расчетные значения токов однофазного и двухфазного КЗ на каждом из РУ 110 кВ и выше и токов двойного замыкания на РУ 6-35 кВ; удельное сопротивление грунта (геоэлектрический разрез) [4-7].

Несмотря на наличие методических указаний, в них практически отсутствует описание методик расчетного определения параметров ЭМО. В литературе также отсутствует информация непосредственно по методам, применяемым к оценке ЭМО.

Уже на стадии оценки ЗУ возникают проблемы. Применение описанного в некоторых источниках подхода, когда рассчитывается сопротивление растекания ЗУ в статическом режиме, и потенциалы всех элементов принимаются одинаковыми, а далее рассчитываются распределения потенциалов на базе теории цепей дает весьма значительные погрешности и поэтому малоэффективно. Определение сопротивления растекания заземляющего устройства эмпирическими формулами также имеет низкую точность, порядка 20%, в то время как требования диктуют значение погрешности не более 5% (Стандарт СО 34.35.311.-2004. ОАО РАО ЕС России).

Исходя из опыта разработки разделов ЭМС приведем некоторые из используемых подходов. Целесообразно проводить расчеты сопротивления растеканию тока ЗУ с использованием метода наведенных потенциалов, базирующемуся на формальной аналогии между полем постоянного тока в проводящей среде и электростатическим полем. Этот метод позволяет учесть взаимовлияние элементов заземляющего устройства друг на друга при стекании с них тока [3]. Взаимные коэффициенты электростатической индукции, учитывающие это взаимовлияние вычисляются по методу Хоу. Для численной реализации осуществляется параметрическая замена переменных с последующим выражением расстояний между элементами ЗУ по теореме Пифагора с нахождением коэффициентов электростатической индукции.

Расчеты состоят в нахождении потенциала точек, куда стекают токи, а далее определения сопротивления растеканию тока по закону Ома.

Суммарная погрешность такого метода не более 1,5%. Реализованная в среде MathCAD 14,0 программа таких вычислений опробована на ЗУ, рекомендованных Стандартом организации СО 34.35.311.-2004 ОАО РАО ЕС России и подтвердила заявленную точность.

Остановимся теперь на методике определения потенциалов элементов ЗУ. В этом случае используется метод узловых напряжений, применение которого базируется

на стандартной методике и включат моделирование ЗУ сопротивлениями растеканию отдельных элементов ЗУ и взаимными проводимостями участков. Такой подход учитывает частоту тока, а совместно с применением ЭМС-номограммы [7] позволяет найти сопротивление растеканию при импульсах тока произвольной формы.

Литература

1. Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. Московский энергетический институт (МЭИ ТУ), научно-производственнаяй фирма "Электротехника: наука и практика" (НПФ ЭЛНАП) Исполнители: Авторский коллектив под руководством члена-корреспондента РАН РФ, доктора техн. наук, проф. А.Ф.Дьякова в составе: Б.К.Максимов, Р.К.Борисов (МЭИ ТУ), А.В.Жуков (филиал ОАО "СО-ЦДУ ЕЭС" ОДУ Центра), А.К.Белотелов (ОАО "Федеральная сетевая компания"), М.Н.Смирнов (НПФ ЭЛНАП.
2. Закон РФ об электромагнитной совместимости 1999 год.
3. Лебедев В.Д. Исследование характеристик одиночных заземлителей методами компьютерного моделирования. Вестник научно-промышленного общества. Вып 14.: Алев-В, 2010, С.60-69.
4. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. М.: «Энергоатомиздат», 2003. – 735 с.
5. Шваб Адольф Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора 2-е изд., перераб. и доп./ Под. ред. Кужекина. М.: Энергоатомиздат, 1998, 480 с., ил.
6. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике: Пер. с нем. / И.П. Кужекин, Под ред. В.К. Максимова. - М.: Энергоатомиздат, 1995.- 304 с.: ил.
7. Шаталов А.Ф., Воротников И.Н., Боровлев И.И., Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Учебное пособие. Ставрополь, 2012. 200 с.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА С УЧЕТОМ СТЕПЕНИ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ СВЯЗИ

Невзоров Ю.В., Фомина И.А.
ОАО «МНИРТИ»

Проведен анализ существующих способов управления БПЛА. Рассмотрено влияние ширины канала передачи данных на помехозащищенность связи при дистанционно-пилотируемом режиме управления.

Analysis of the of ways to manage the UAV accordance with the degree interference immunity communication. Nevzorov U., Fomina I.

The analysis of existing of ways to manage the UAV. Consider the influence the width of the data channel communication to jamming immunity when remotely piloted flight control. Considered onboard equipment control systems.

БПЛА сегодня получают все большее распространение в различных областях народного хозяйства и в военной технике. Их применяют для видеомониторинга и охраны транспортных сетей топливно-энергетического комплекса, патрулирования

транспортных магистралей, лесных массивов и охраняемых территорий, в разведывательных целях и для аэросъемок.

Широкое применение БПЛА получили в деятельности таких ведомств, как ФСБ, МВД, МЧС и Таможенная служба.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для дистанционного наблюдения и контроля окружающей среды и объектов в режиме реального времени позволяет снизить себестоимость услуг на порядок по сравнению с традиционными космическими или авиационными системами.

В настоящее время вопросу организации полетов БПЛА в общем воздушном пространстве уделяется также большое внимание. В Евроконтроле, FAA, RTCA, EUROCAE идут дискуссии, на базе каких принципов и технических решений должны организовываться такие полеты, но общепризнано, что согласованного решения пока еще нет.

Существуют альтернативные концепции интеграции БПЛА в общее воздушное пространство. Первая концепция предполагает распространить на БПЛА все существующие нормы УВД (управление воздушным движением), включая, например, оснащение системами опознавания и предупреждения столкновений. Вторая концепция предлагает организовывать полеты БПЛА в специально отведенных зонах.

По ряду причин эксперты отдают предпочтение первой концепции. Следуя этой концепции, процесс эксплуатации БПЛА в общем воздушном пространстве должен отвечать следующим основным принципам:

· должна обеспечиваться безопасность полетов пользователей общего воздушного пространства и безопасность населения на уровне, отвечающем требованиям безопасности полетов воздушных судов (ВС);

· не должны предъявляться требования о дооборудовании ВС дополнительными системами в целях совместимости с БПЛА;

· БПЛА должны иметь систему, позволяющую надежно отслеживать и избегать потенциально конфликтных ситуаций с ВС;

· производство полетов БПЛА следует осуществлять по тем же правилам, что и для ВС.

Для управления дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом в режиме реального времени, при ведении видеонаблюдения за окружающей средой и объектами, необходимо постоянное обеспечение связи бортовой аппаратуры БПЛА с наземным пунктом управления и повышение уровня безопасности полета в воздушном пространстве.

На основании этого, разработка способов управления беспилотными летательными аппаратами в общем воздушном пространстве, где главной задачей является повышение эффективности использования БПЛА и уровня безопасности в дистанционно-пилотируемом режиме управления представляет актуальную задачу.

Способы управления БПЛА.

Ниже приведены анализ существующих патентованных способов управления беспилотными летательными аппаратами в режиме реального времени и уровня помехозащищенности связи БПЛА с наземным пунктом управления:

1) №WO 2007146538, МПК B64C 39/00Ж B64C 39/00, опубликовано 2007-12-21.

Система и метод обеспечения беспроводного управления беспилотным летательным аппаратом и доступа к данным наблюдения включают в себя:

- наземный пункт управления (НПУ);

- БПЛА, оборудованный устройствами управления, устройствами передачи и приема информации;

- беспроводную систему связи между БПЛА и НПУ.

Метод заключается в том, что беспроводная система связи, ручные устройства ввода, приема и передачи данных (например, сотовый телефон или PDA), а также другие аналогичные технологии используют для:

- связи БПЛА с НПУ;
- передачи команд управления параметрами полета беспилотного аппарата;
- получения данных наблюдения с БПЛА.

Система связи включает в себя беспроводную систему между наземным пунктом управления и БПЛА.

В качестве сети для передачи данных предлагается использовать communications (GSM) network, a general packet radio service (GPRS) network, a code division multiple access (CDMA) network, an evolution – data optimized (EV-DO) network, enhanced data rates for GSM evolution (EDGE) network, a third generation global system for mobile communications (3GSM) network, a digital IS-136/time division multiple access (IS-136/TDMA) network, an integrated digital enhanced network (iDEN).

Для передачи команд управления в реальном времени с помощью этих систем требуется широкополосная система радиосвязи, для которой характерны следующие недостатки:

- низкая помехозащищенность и помехоустойчивость;
- сложность сбора и передачи полной информации о воздушной обстановке, что неизбежно снижает уровень безопасности полетов [1].

2) № US2008033604, МПК G05D 1/00; G06F 17/00; G05D 1/00; G0617/00, опубликовано 2008-02-07.

В состав указанной системы входят: наземная станция управления (НСУ), оборудованная устройством визуализации; удаленный пилот-оператор на НСУ и система передачи данных между БПЛА и НСУ.

Метод позволяет пилоту-оператору контролировать полет БПЛА с помощью трехмерного синтезируемого изображения. Во время полета бортовая система периодически транслирует свой индентификатор, местоположение, высоту и азимут. По полученным от БПЛА данным в системе визуализации генерируется и отображается на экране монитора обстановка вокруг текущего местоположения БПЛА. В течение тех фаз полета, когда система визуализации не используется для управления, он выполняет полет под управлением бортовой автономной системы. Дополнительно обеспечивается канал связи с системой УВД и пилотами другими летательных аппаратов (ЛА), имеющими прямую связь с указанным пилотом-оператором.

Для передачи управляющих сигналов на борт БПЛА от органов управления, на которые воздействует пилот-оператор, требуется широкополосная радиолиния.

Недостатками данного способа управления является:

- по сравнению с узкополосной линией передачи данных (ЛПД) она имеет при той же мощности передатчика меньшую дальность действия, а также низкую помехозащищенность, что затрудняет управление полетом в пилотируемом режиме на дальние расстояния и обеспечения требуемого качества сигнала.
- необходимость использования дополнительных каналов передачи данных о воздушной обстановке для связи с системой УВД и пилотами других ЛА, что снижает уровень надежности и безопасности полетов в воздушном пространстве.[2]

3) «Способ управления беспилотным летательным аппаратом и устройство его реализации» RU 2390815 C1, опубликовано 27.05.2010.

Данный способ предназначен для управления одним или несколькими беспилотными летательными аппаратами, каждый из которых оборудован бортовой автоматической системой управления, спутниковой навигационной системой, бортовым вычислителем и приемо-передающей станцией, с помощью которой

осуществляется цифровая радиосвязь с базовой радиостанцией, со стационарным или подвижным пунктом управления (ПУ). ПУ, в свою очередь, оборудован автоматизированным рабочим местом оператора.

Сигналы управления формируют в виде макрокоманд и передают в общий радиоканал. В радиоканал также поступают сообщения от всех участников воздушного движения, содержащие данные об их местоположении, высоте, скорости и направлении полета, а также дополнительная информация.

Для определенных фаз полета БПЛА план и программу его движения закладывают в память бортового вычислителя заранее, при этом полет выполняется в автономном режиме с помощью автопилота. В реальных условиях требуется корректировать параметры движения беспилотного летательного аппарата и перестраивать программу в зависимости от известнейшей обстановки возникновения новых задач. С учетом повышения точности и надежности измерения координат и параметров движения, которые обеспечиваются спутниковыми системами наблюдения, реальным становится получение достоверного и точного прогноза движения БПЛА на некотором интервале времени с учетом его динамики и влияния внешней среды. Это позволяет использовать дискретный способ управления, при котором управляющая информация подается на бортовую аппаратуру в сжатой форме, а именно в виде микрокоманд. Указанные команды содержат необходимые данные об изменении программы движения и выполняются в соответствии с заранее алгоритмами.

Указанный способ передачи команд в сжатой закодированной форма позволяет снизить скорость передачи данных и, как следствие, полосу частот, что приводит к увеличению дальности передачи и помехозащищенности по сравнению с широкополосной линией при той же мощности передатчика.[3]

Использование общего узкополосного радиоканала, с временным разделением, позволяет существенно повысить помехозащищенность по сравнению с широкополосным ЛПД.

Использование узкополосного канала связи позволяет достичь высокой помехозащищенности, но обладает рядом недостатков для обеспечения связи при управлении БПЛА в режиме реального времени, например, сложность передачи большого объема информации.

Бортовая аппаратура систем управления беспилотным летательным аппаратом.

В систему управления летательными аппаратами входит бортовая аппаратура. Рассмотрим некоторые разновидности данной аппаратуры.

1) Бортовая аппаратура систем управления беспилотным летательным аппаратом RU 2207613 C1, опубликовано 27.06.2003.

Рассмотрен комплекс системы управления местоположением и курсом беспилотного летательного аппарата (БПЛА) может быть использована при проектировании БПЛА, предназначенных для высокоточного наведения на цель. Бортовые системы управления беспилотным летательным аппаратом обладают широкими возможностями адаптации к условиям полета и складывающейся помеховой обстановке для обеспечения высокоточного наведения на цель.

Комплекс содержит систему управления движением (СУД) и систему обнаружения и самонавигации (СОСН), при этом СУД содержит датчик угловых скоростей, инерциальный блок, ЦВМ, радиовысотомер, устройство преобразования информации, усилительно-преобразовательное устройство рулевых приводов, рулевые агрегаты, магистраль информационного обмена, а СОСН содержит ЦВМ, систему электропитания, устройство обработки сигналов и управления, приемное устройство, антенное устройство, передающее устройство, магистраль информационного обмена.

СОСН представляет собой моноимпульсную когерентную радиолокационную систему (РЛС) с фазоманипулированным зондирующим сигналом, параметры которого могут перестраиваться в зависимости от задач, решаемых СОСН на протяжении полета БПЛА.

Использование фазоманипулированного зондирующего сигнала обеспечивает более высокую точность самонаведения и более высокую помехозащищенность по отношению к активным и пассивным помехам.

Недостатками использования такой системы для управления БПЛА в режиме реального времени является:

- невозможность надежного обеспечения маловысотного полета (МВП) на высотах 50 и более метров;
- отсутствие автоматической пролонгации безопасной траектории МВП;
- невозможность обеспечения полета на предельно малых высотах 25-50 м и преодоления ПВО противника на этих (наиболее безопасных) высотах;
- невозможность посадки на необорудованные площадки;
- невозможность точного проведения коррекции навигационной системы в промежуточных точках маршрута;
- снижение боевой эффективности ЛА.[4]

2) Бортовая радиоаппаратура летательных аппаратов RU 2442723 C1, опубликовано 15.03.2011

Бортовая радиоаппаратура летательных аппаратов содержит трехканальную помехозащищенную радиолинию сантиметрового (СМ) диапазона волн, базирующуюся на когерентной оптимальной обработке цифровых шумоподобных сигналов, содержащую узкополосный и два широкополосных канала и включающую в себя радиомодемный модуль СМ диапазона, а также двухканальную помехозащищенную радиолинию дециметрового (ДМ) диапазона волн, базирующуюся на когерентной оптимальной обработке цифровых шумоподобных сигналов, содержащую узкополосный и широкополосный каналы и включающую в себя радиомодемный модуль ДМ диапазона.

Передающая антенная система состоит из двух передающих антенных подсистем, каждая из которых включает в себя антенну СМ диапазона, антенну ДМ диапазона и контроллер углового канала, соединенный с азимутальным приводом, при этом контроллеры углового канала двух передающих подсистем соединены с модулем управления радиомодемного модуля СМ диапазона.

Модули управления радиомодемных модулей СМ и ДМ диапазона соединены между собой, при этом в радиолиниях двух диапазонов используются узкополосные помехоустойчивые каналы, которые обеспечивают своими синхронизирующими сигналами синфазную работу передающих и широкополосных приемных устройств при действии активных помех. Модемы СМ и ДМ диапазонов выполнены с возможностью формирования для всех радиолиний единой структуры сигналов, а именно фазоманипулированных (ФМ) сигналов с тактовой частотой 20 МГц.

Все это позволяет достигнуть повышения надежности и помехозащищенности обмена радиотелеметрической и командной информацией между летательным аппаратом и наземным пунктом управления.

Этот метод наиболее эффективен, так как введение в радиоканалы двух объединенных помехозащищенных радиолиний позволяет обеспечить надежность, помехозащищенность и большую дальность обмена радиотелеметрической, командной и широкополосной информацией между летательным аппаратом и наземным пунктом управления. Кроме того .[5]

Сверхширокополосная связь.

В последнее время начинает использоваться новый метод передачи данных по сверхширокополосному каналу связи. Этот метод еще не до конца изучен и требует точного исследования для применения при управлении беспилотным летательным аппаратом в режиме реального времени.

Как известно, для передачи информации в СШП системах (патент Фуллертона) используются сверхкороткие "Гауссовские" импульсы длительностью 0,20-1,5 нс либо хаотические импульсы длительностью от 2 нс до 1 мкс. Согласно определению Федеральной Комиссии Связи США (2002 г. FCC 0248) [2] сверхширокополосными называются сигнал или система с относительной полосой частот h более 0,25 или с шириной спектра более 500 МГц. Для простоты предложено определение СШП-передатчика: к сверхширокополос-ным относят передатчики, у которых полоса составляет более 25% от центральной частоты. Однако для UWB были поставлены весьма жесткие рамки: диапазон – от 3,1 ГГц до 10,6 ГГц, плотность - ниже -41 дБм/Мгц (~10-4 мВт/МГц) (в других странах, возможно, будет еще строже). Кстати, частоты ниже 3.1 ГГц запрещены для UWB из-за все-таки ощутимого влияния на точность работы системы глобального позиционирования GPS, что является существенным признаком для применения его в системе управления БПЛА.

Отличием импульсной СШП системы связи от традиционных узкополосных систем является отсутствие несущей частоты. Существенно, что для передачи информации используется не непрерывный сигнал, а последовательность импульсов. Поэтому, наряду с методом модуляции важными характеристиками являются длина импульса и скважность.

К известным преимуществам импульсной сверхширокопо-лосной связи относят:

- энергетическую скрытность и защищенность связи от перехвата;
- устойчивость скрытной связи в частично экранированных объектах за счет многолучевого "просачивания" сверхширокопо-лосного сигнала через щели в металлических конструкциях;
- вторичное использование диапазона с низкой спектральной плотностью импульсных сигналов при разумном ограничении мощности для достижения необходимого расстояния до уровня, не мешающего другим системам;
- скрытную высокую скорость передачи данных.

Расширение полосы дает дополнительные возможности по увеличению скорости передачи дискретной информации, канальности и числа независимо работающих абонентов.

Главное преимущество СШП- систем состоит в том, что спектральная плотность энергии сигнала UWB не превышает определенного значения (10-4-10-2 мВт/МГц). В данной технологии при увеличении дальности спектральная плотность мощности может увеличиваться в 3-5 раз, что неизмеримо ниже аналогичного показателя для классических ШПС радиоинтерфейсов (Wi-Fi, Bluetooth и так далее). По этой причине для всех остальных не -UWB-устройств сверхширокополосный сигнал просто смешивается с массой другого "электронного" шума, и возможные помехи можно считать пренебрежимо малыми.

Таким образом, на базе имеющегося опыта использования СШП систем уникальные возможности сверхширокополосной связи будут применяться и для решения многих других задач, например, в системах связи для управления беспилотными летательными аппаратами.[6]

Литература

1. Патент № WO 2007146538, МПК B64C 39/00Ж B64C 39/00, опубликовано 2007-12-21

2. Патент № №US2008033604, МПК G05D 1/00; G06F 17/00; G05D 1/00; G0617/00, опубликовано 2008-02-07.

3. Патент «Способ управления беспилотным летательным аппаратом и устройство его реализации» RU 2390815 C1 опубликовано 27.05.2010.

4. Патент «Бортовая аппаратура систем управления беспилотным летательным аппаратом» RU 2207613 C1 опубликовано 27.06.2003.

5. Патент «Бортовая радиоаппаратура летательных аппаратов» RU 2442723 C1 опубликовано 15.03.2011

6. Симаков В.В. Сверхширокополосная связь "СШПС-Импульс". Состояние и перспективы решения специальных задач// URL: http://kbor.ru/sites/default/files/publications/sshps_vor.pdf.

МКЭ МОДЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ DEFORM

Годек Й., Земко М.
ЦОМТЕС ФГТ, Доброжани, Чешская Республика

Непрерывное выдавливание металлов на оборудовании типа Conform™ является известной технологией, которая применяются уже несколько десятилетий при выдавливании мягких металлов (Al, Cu) [1] и их сплавов. Новым направлением развития непрерывного выдавливания металлов является применение этой технологии для высокопрочных материалов и применение положительного эффекта с получением тонкой структуры формируемого материала.

Работа описывает 3D моделирование процесса непрерывного выдавливания высокопрочных материалов (титан) методом конечных элементов в программном обеспечении DEFORM-3D [2]. Модель отслеживает температурное и деформационное поля, которые сравниваются с экспериментальными данными, полученными из непрерывного выдавливания титановой заготовки. Температура рабочего колеса и титановой заготовки на входе вместе со скорость колеса по окружности имеет существенное влияние на весь процесс формовки. Целью является нахождение подходящих крайних условий, которые математическая модель максимальным образом приблизит к фактическому процессу, и тем самым позволит его оптимизацию.

FEM model of continuous extrusion of titanium in deform software.

Hodek J., Zemko M.

Continuous extrusion of titanium using the Conform™ process poses new requirements for the entire technology in contrast to the processing of standard materials (aluminium and copper alloys). The die materials are required to sustain multiple times higher mechanical stress at higher temperatures. Titanium feedstock is driven into the wheel groove at the angular speed of the wheel of $\omega = 0{,}1\ rad \cdot s^{-1}$ and is carried by it for several seconds. Once it reaches the die chamber and hits the abutment, it undergoes shear deformation. Intensive heat transfer takes place between the titanium workpiece and the wheel (Fig. 1).

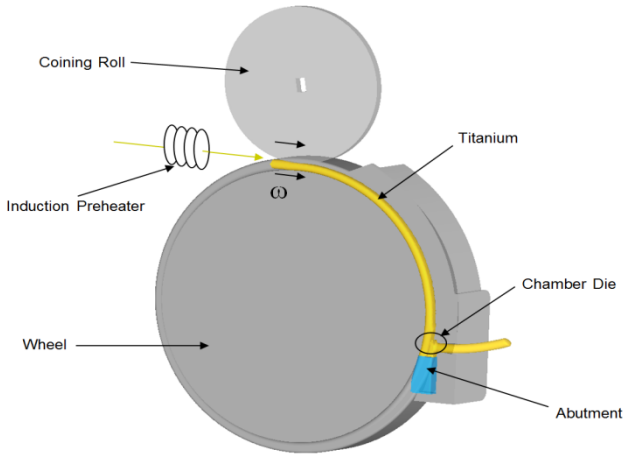


Fig. 1 CONFORM simulation model

In this study, the continuous extrusion of titanium was simulated using the FEM software DEFORM-3D . The model was implemented as a coupled heat-deformation problem. The important goal was to accurately measure real-world data and incorporate them into the FEM model. The results provide theoretical background for further development of the FEM model and for subsequent optimization of the forming process.

Heat Transfer Coefficient Between Titanium Feedstock and Wheel

The feedstock is induction heated prior to entering the equipment. It is then driven into the wheel groove and carried into the die chamber over a certain amount of time. It is clear that for the temperature field to be mapped, the heat transfer coefficient between the workpiece and the wheel must be known. An experiment was performed, where feedstock at 700°C was driven into the cold wheel groove and the decline in its temperature with time was measured. The measured data were compared with simulations for multiple heat transfer coefficient values. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** shows the comparison between measured and computed curves. The next computation runs were performed with the value of 1000 W/m2K.

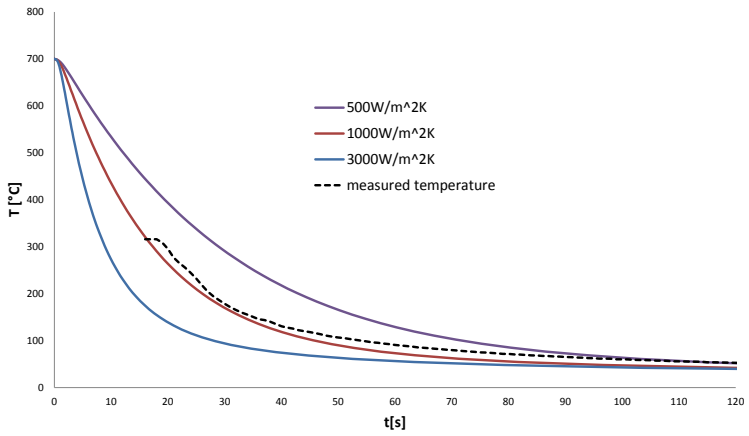


Fig. 2 Measured and computed temperature decreases

Average Temperature of the Wheel

The computation times can be reduced by using constant wheel temperature. As a result, the temperature field within the wheel need not be computed. The temperature within

the groove exhibits a regular pattern given by the heat supply from the feedstock and by cooling while the groove is empty for the rest of the revolution. If the constant temperature is set equal to the average temperature of the groove surface, the heat balance can be achieved despite the periodic temperature changes. The CONFORM equipment records temperature at a point 12 mm below the wheel groove. By comparing the measured and computed temperature values, it is possible to find the surface temperature of the groove.

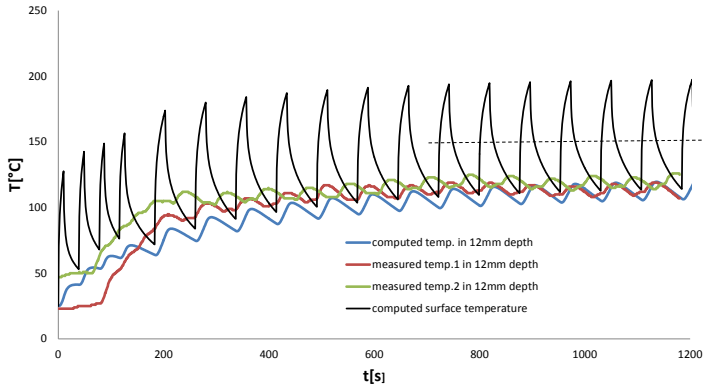


Fig. 3 Measured and computed temperature at 12 mm depth beneath the wheel groove

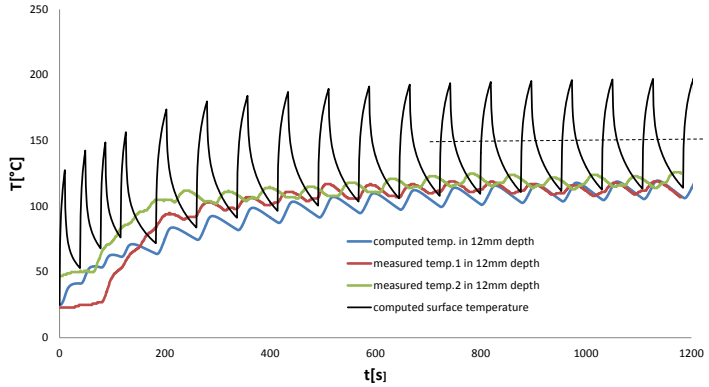


Fig. 3 Measured and computed temperature at 12 mm depth beneath the wheel groove

shows the surface temperature of the wheel groove. The average temperature at the steady state is 143.7 °C. This temperature was used as the constant wheel temperature in the model.

2.3. Friction Coefficient Between Titanium and Chamber Die

The coefficient of friction between the workpiece and the chamber die was determined by tribometric measurement. At the temperature of $T = 350°C$, the value of $\mu_f = 0.58$ was found. In order to validate the value, simulations were run with friction coefficients of $\mu_f = 0{,}2$ and $\mu_f = 0{,}7$ (Fig. 4 and Fig. 5). By comparing the simulated velocity field and the appearance of the workpiece section in the die chamber (Fig. 6), the friction coefficient value for further computation was found: $\mu_f = 0.6$.

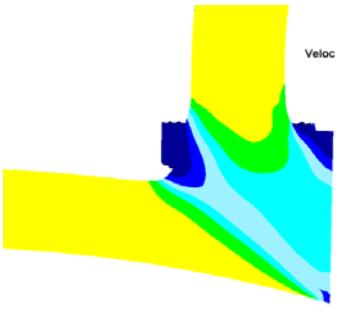


Fig. 4 Velocity $\boldsymbol{\mu_f = 0.2}$

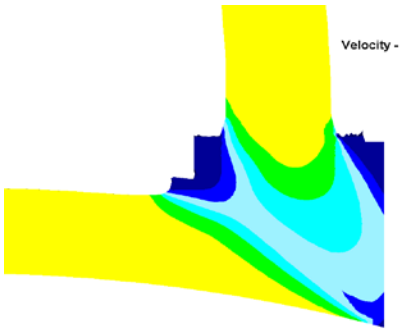


Fig. 5 Velocity $\boldsymbol{\mu_f = 0.7}$

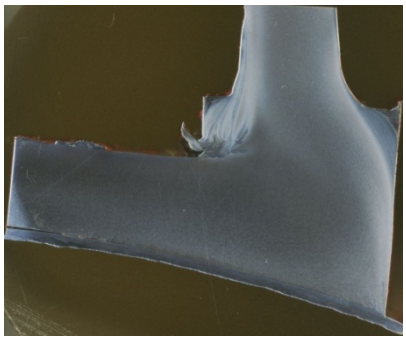


Fig. 6 Macrostructure of the workpiece section

2.4. Final FEM Model

The model of the process is shown in Fig. 7. Thanks to its plane symmetry, only one half of the equipment and feedstock were could be used for computation. The resulting strain-temperature field varying in time was analysed mathematically. At each iteration step, strain was computed, which was corrected with respect to temperature, until both strain and temperature fields changed.

In the deformation zone, titanium was considered to be plastic, whereas the other parts of the model were deemed rigid. The friction between the wheel and titanium plays a significant role in the mathematical model. Shear and Coulomb types of friction were tested in the model. The best results were achieved using Coulomb friction with $\mu_f = 10$ and a constant value with the compression separation criterion. In other cases considered, the contact between the titanium feedstock and the wheel was insufficient.

The temperature fields have only been examined within the titanium feedstock. The temperature of the wheel was set to a constant value 143.7°C (see section 2.2). The heat transfer coefficient between the titanium feedstock and the wheel was $\alpha = 1000\, W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. The impact of the environment was neglected due to the rate of temperature changes.

About 80 000 elements were created in the titanium feedstock. The chamber die and its surroundings were fine meshed (Fig. 8).

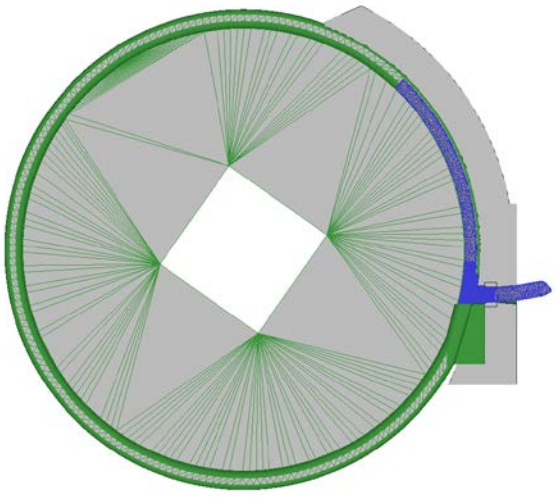


Fig. 7 Final FEM model

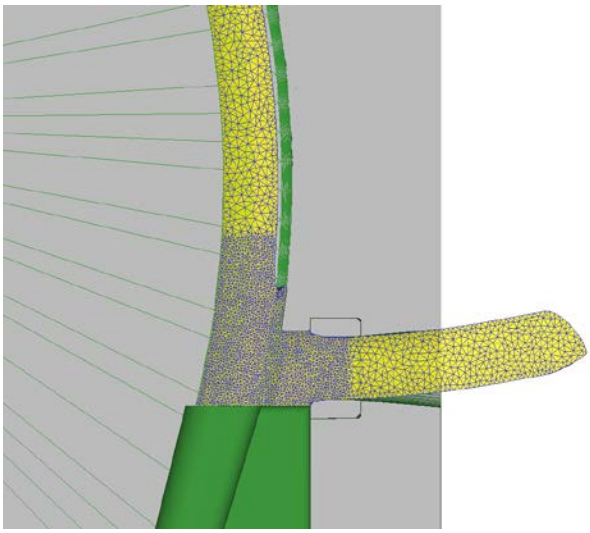


Fig. 8 Fine mesh in the chamber die

Simulation Results

The strain distribution within the titanium feedstock exiting the chamber die is uniform throughout, with equal values both on the section plane and on the surface (Fig. 9). The temperature field (Fig. 10) shows that heat is generated during forming. The strain rate distribution (Fig. 11) clearly shows that shear deformation of titanium takes place in the chamber die. The velocity field (Fig. 12) reveals that the velocity changes in the chamber die. It decreases locally due to an increase in the cross section area.

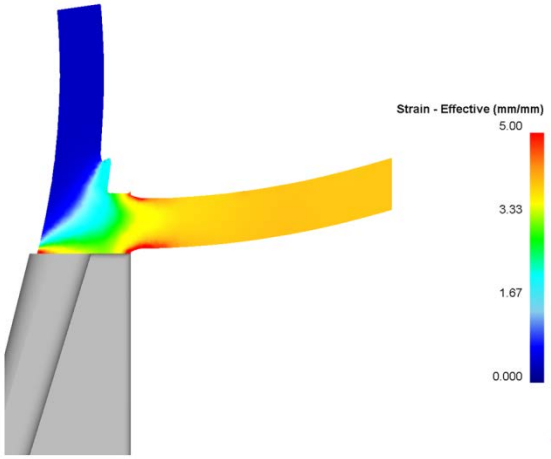


Fig. 9 . Effective strain field within the workpiece

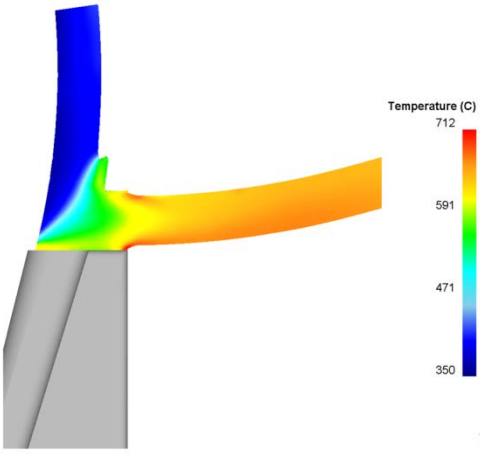


Fig. 10 Temperature field within the workpiece

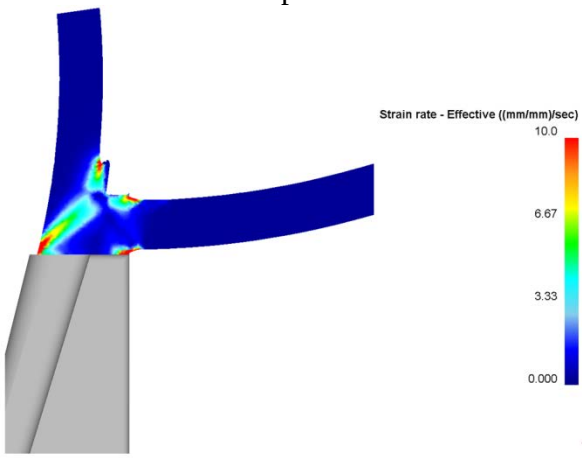


Fig. 11 Effective strain rate field within the workpiece

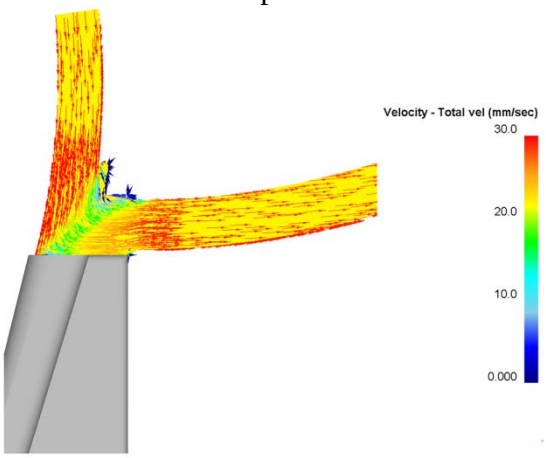


Fig. 12 . Total velocity field within the workpiece

Conclusions

The main goal of this study was to describe continuous extrusion of titanium by means of a mathematical model. The model was constructed in the FEM software DEFORM-3D. The outcome of the simulations is in good agreement with experimental results. The chamber die of the Conform™ machine was adapted for titanium forming.

The FEM model describes the forming process in the CONFORM device accurately. The model fits the measurement data and can be used for optimizing the existing technology and for estimating the process behaviour under non-standard conditions or for exploring the forming process in other materials.

Further efforts will be take two directions. The first one is finding the optimum conditions for the process, particularly in relation to temperature and finding the dependence of grain size on the number of passes. The other is to obtain more test data, make the

measurement in the actual CONFORM process more accurate and add the data to the FEM model to obtain better results.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Grant of The Ministry of Education, Youth and Sports in Czech Republic - MSM/ED2.1.00/03.0077

References

[1] WU Peng-yue, et al, Effect of extrusion wheel angular velocity on continuous extrusion forming process of copper concave bus bar

[2] J.R. Cho, H.S. Jeong, Parametric investigation on the curling phenomenon in CONFORM process by three-dimensional finite element analysis

[3] www.bwe.co.uk

[4] http://deform.com

PROSPECTS OF MATHEMATICAL MODELLING OF HOT ROLLING BASED ON FINITE ELEMENT METHODS

Fabík, R., *Aksenov, S. A., Kubina, T.
Ostrava, VŠB-TU; Moscow, MIEM*

The aim of this paper is to critically assess the potential of mathematical modelling which uses finite element method software for solving operation problems in the hot rolling of flat and long products. We focused on concrete issues faced by rolling plants in the Moravian-Silesian region (Czech Republic). The investigation was always combined with field or pilot measurements or laboratory experiments.

Perspektivy matematického modelování na bázi metody konečných prvků. Fabík, R., Aksenov, S. A., Kubina, T.

Cílem tohoto článku bylo kriticky zhodnotit možnosti použití matematického modelování pomocí programů na bázi metody konečných prvků na řešení provozních problémů při válcování plochých a dlouhých vývalků za tepla. Zaměřili jsme se na konkrétní problémy válcoven v Moravsko-Slezském kraji (Česká Republika) ovšem vždy v kombinaci s (polo)provozním měřením nebo laboratorním experimentem.

Introduction

The main object of industrial research and development is to optimise the means of production for the manufacturing of a given product. The optimisation criteria may vary, depending on the requirements for the final product. In general, they should be based on full understanding of the manufacturing process. In forming processes, the knowledge of deformation mechanisms is crucial. Without knowing the impact of friction, material properties and tool geometry on the operation of the process, it is impossible to propose optimum shapes of tools, the configuration of machines, and to predict occurrence of defects and evolution of microstructure. Field (pilot) trials and physical modelling (laboratory rolling, forming simulators) alone cannot reveal the exact values of thermomechanical parameters and their distribution: e.g. the distributions of various parameters across the product cross-section are virtually impossible to determine. This is why process modelling using PC simulation has an increasing importance in today's metal forming processes [1-7].

Summary of Key Outcomes

Our research provided a vast amount of results, all of which have been published in the form of conference talks or in professional journals. Our work comprises the following topics which may be classified with respect to the optimisation criterion as follows (the institutions where physical experiments were conducted are listed in the parentheses):

- Friction in hot rolling

Impact of friction coefficient on sideways expansion of rolled steel products (Department of Materials Forming, VŠB-TU Ostrava (DMF), ŽDB GROUP a.s., Rolling mill, Bohumín (ZDB))

In this study, pilot rolling of 100×100 mm billet into 20 mm diameter bar in 13 passes was carried out. In each roll pass, a sample was taken and a cross-section print of the rolled bar was made. Simulations of individual roll passes were carried out for various friction values according to Tresca, ranging between 0.1-0.9. Other boundary conditions of the given roll pass remained the same. Comparison of the calculated cross-sections (see Figure 1) with the prints provided an assessment of the optimal friction coefficient value for each roll pass [8, 9].

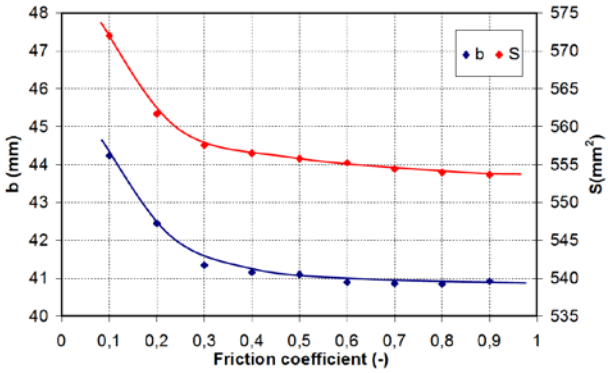


Figure 1. Dependency of the width b and the area S of the stock on various friction values in the roll groove R 20

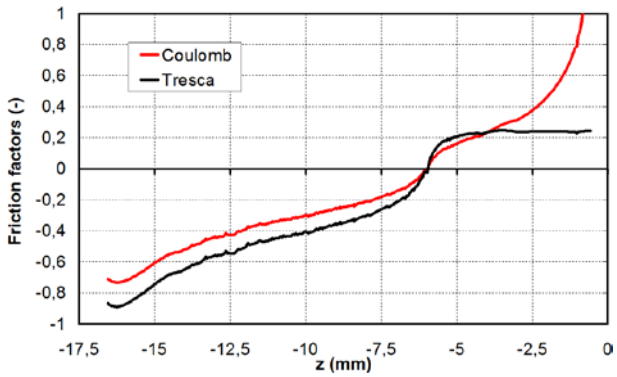


Figure 2. Dependence of Coulomb and Tresca friction factors on the distance from the plane of exit [10]

Finding the friction coefficient value using inverse analysis of the rolled product shape (DMF).

The design and industrial application of a method of determining the friction coefficient and the friction factor along the arc of contact (see Figure 2) were based on the analysis of rolled product shape upon laboratory rolling. Results show that simplifying the mathematical model of rolling by using a constant value of friction may become one of the most significant sources of error [10].

- Temperature field in a rolled product:

Cooling of shaped products in HCC rolling mill (ArcelorMittal Ostrava, a.s. (AMO)).

Inverse analysis (IA) principles were used for determining the temperature field upon rolling in shaped products as input data for subsequent computer simulation of cooling. The input parameter for IA was the dependence of the rolled product's surface temperature on time [11].

Definition of the temperature field in a rail upon rolling in VH rolling mill (Třinec Steelworks, a.s. (TZ)).

A method of determining temperature fields in rails and their exporting into FEM software for the purpose of heat treatment simulation was elaborated and verified in production. It relies on measuring the temperature field across the cross-section of the rail after cutting off its front

end. It is then described using a mathematical model with temperature variables associated with selected points on the rail's surface (see Figure 4). This method can be used in applications where the temperature field is very difficult to estimate (non-symmetric rolled products) and in those, where the full-scale FEM simulation of the rolling process becomes costly due to the process complexity [11].

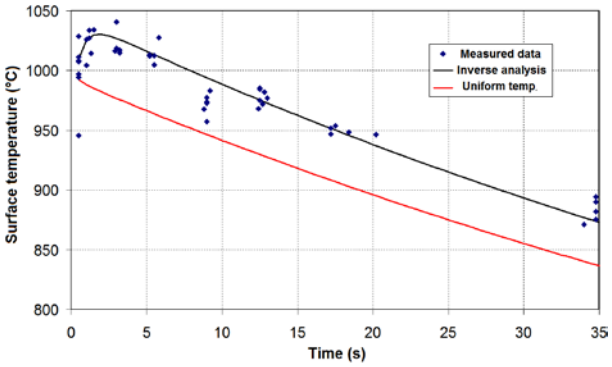


Figure 3. Measured surface temperatures and calculated cooling curves for a uniform temperature field (T = 1,000 °C) and for a temperature field computed using inverse analysis [11]

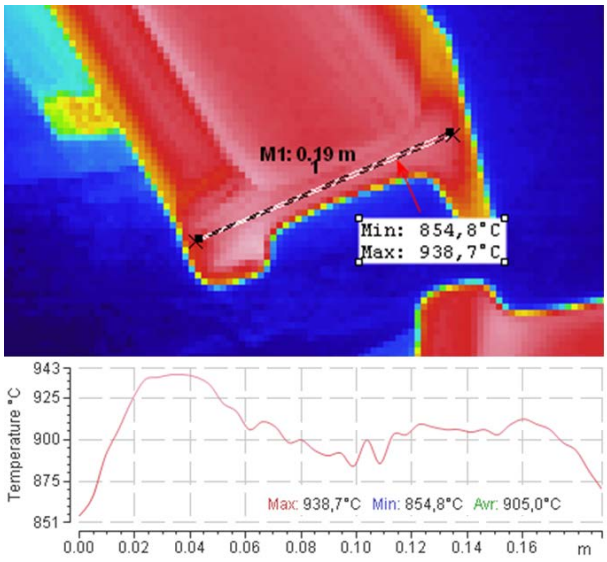


Figure 4. Analysis of a thermal image of the rail's cross-section after cutting off the rail's front end

A method of measuring temperature fields in rolled products (rails) for laboratory simulation of heat treatment was designed and applied.

A hypothetical cooling process of rails in production was simulated by means of both above-mentioned methods. The simulation clearly showed that even the processes with in-line heat-treatment operations can benefit from equalizing the temperature field within a rail in a soaking furnace prior to the actual cooling. This can provide both higher hardness in the rail head and a less steep hardness gradient beneath the surface [12].

- Evolution of microstructure in a rolled product:

Assessment of capabilities of controlled rolling in a medium section rolling mill (AMO).

Mathematical analysis of microstructure evolution in rolled 40×5 mm flat bar showed that in terms of microstructure, the current process is very close to the optimum setting. However, our analysis also revealed that in case of 40×60 mm sections, the finish rolling temperature cannot be controlled [13].

Obtaining the thermomechanical paraameter vs. time dependences for rolling in HSC mill to be used as input data for plastometric experiments (heat treatment, DMF).

In pilot experiments with thermomechanical rolling of steel bars in the continuous fine section mill at TZ, non-homogeneity of microstructure and significant scatter in grain size across the bar's cross-section were revealed. FEM simulation was used as an efficient tool for describing the thermal-stress-deformation fields across the rolling gap. The main attention was devoted to mapping the strain rate (see Figure 5), strain and temperature. Changes in these quantities with time were mapped for various points on the cross-section of the rolled

product. The data proved the non-homogeneity of deformation parameters across the section, which is due to the applied production technology [14].

Construction of a new model for calculating the critical strain for onset of dynamic recrystallization and its verification in a laboratory rolling process (DMF).

Strain rates in the deformation zone in rolling of flat products were analysed in depth. Due to the presence of a region of inhibited deformation, the plot of strain rate vs. time for surface layers exhibits two peaks. The absolute value of strain rate of the first peak considerably exceeds the average value obtained using conventional formulas.

Taking into account this fact and upon an analysis of continuous plastometric experiments involving sharp changes in strain rate, a new model for calculation of critical strain for the onset of DRX has been constructed. The model was tested in laboratory rolling. The agreement between results of experiments, the new and the old model was by no means satisfactory, which

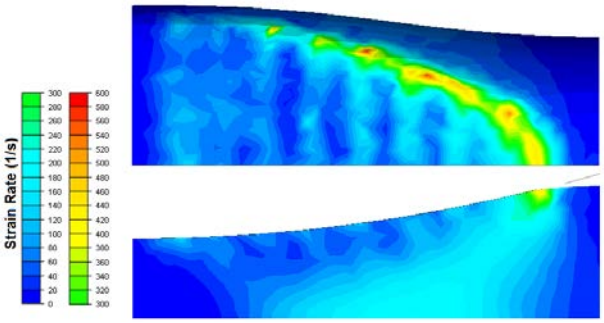


Figure 5. Distribution of strain rate across the cross-section and on surface – prefinishing stand, ASC rolling mill at TZ

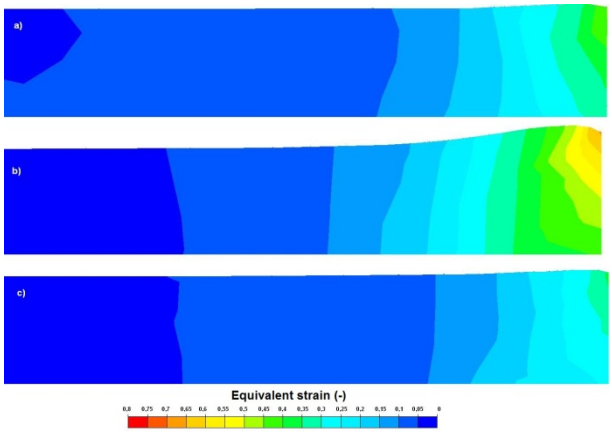


Figure 6. Dog bone shape and equivalent strain after vertical rolling: a) slab head b) middle of slab c) slab tail [16]

applies in particular to the surface region of the rolled product. We attribute this to the additional effects which were impossible to incorporate in the mathematical analysis [15].

- Final shape of rolled product:

Impact of parameters of horizontal-vertical (H-V) rolling of slabs on the amount of scrap after rolling (DPM).

Mathematical analysis was successfully used for designing an H-V slab rolling process which uses the short-stroke method to significantly reduce the amount of scrap resulting from undesirable shapes of the slab ends (see Figure 6) [16].

Laboratory H-V rolling was carried out to verify the mathematical model. The process was also modelled using FEM analysis. The agreement between results for the shape of the product in its crucial part (the dog bone peak) is unsatisfactory. It was revealed that the mesh density is of great importance but, at the same time, other parameters (friction, surface undercooling, flow stress of the steel) have an impact on the dog bone shape. We did not succeed in obtaining the actual shape with sufficient accuracy [17].

Clarification of causes of defects in rolling of a special section (Special Section Rolling Mill, VŮHŽ, a.s. (VUHZ)).

FEM simulation confirmed our hypothesis that the defect (see Figure 7, left) is due to greater wear of the first box pass (see Figure 7, right). It turned out that mathematical modelling using FEM is very suitable for this type of task [18].

- Technological formability

Solving problems related to the formation of inner cavities in the course of blooming 42CrMo4 steel at VH (TZ, DMF)

Several hypotheses concerning causes of defects in blooming at TZ have been formed on the basis of microstructure observation. The effect of undercooling of bloom surface on the penetration of strain into its core was explored by means of simulation. It was found that this method allows higher strain to be introduced into the core of the bloom under favourable stress conditions (see Figure 8) [19].

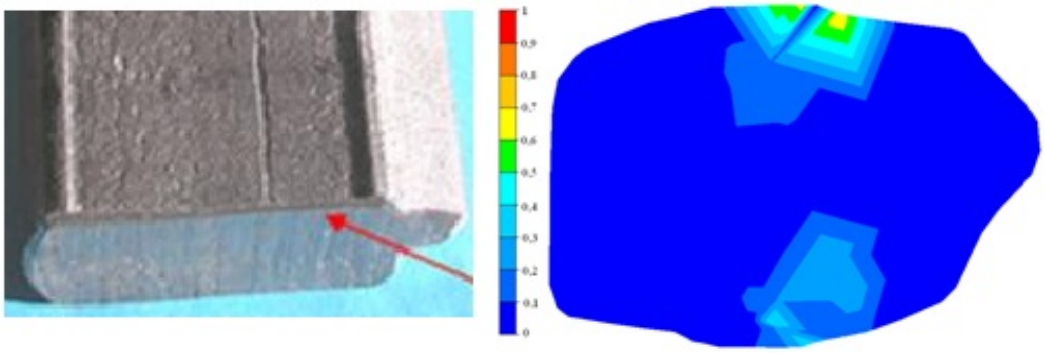


Figure 7. Left: defect in the final rolled product. Right: FEM simulation of the probability of lap occurrence caused by the wear of the first roll pass.

Computer simulation of rolling a continuously cast round section with the diameter of 525 mm and a defect in the centre of the middle part of the section revealed an interesting fact. The conditions for an inner defect in the continuously cast material to be welded closed strongly depend on the shape of the defect. The simulation involved a V-shaped defect (a notch perpendicular to the rolling axis). Defects with depth/width ratio of 0.5 – 1 were welded closed as early as 10th pass (17-pass rolling schedule) [20].

A method was designed for determining the critical values for Cockcroft-Latham fracture criterion (CLFC), relying on a modified wedge test and its FEM simulation (see Figure 9) [11, 21].

In case of rolling of continuously cast 525 mm dia. round sections it was revealed that critical values of the CLFC are not achieved in the routine rolling process [20].

Rolling of 525 mm round continuously cast sections was simulated with both new and the original roll pass designs. Inner cavities were created artificially in the specimens and the impact of the rolling process on their behaviour was explored. It was confirmed that the cavities do not tend to expand and that the new roll pass design is capable of closing them [22].

Behaviour of cracks in billet surface during wire rolling (TZ, DMF)

For process reasons, the surface of continuously cast square sections is sanded prior to rolling into round bars. This opens the cavities formed during casting. The subsequent heating causes the cavity surface to oxidise, which then prevents them from being closed by pressure welding. Elongated defects thus form within the continuously cast sections. These defects are connected with the surface; they remain in the material throughout the rolling process and degrade the quality of the final product. The purpose of this analysis was to assess during rolling by means of finite-element method-based simulation (see Figure 10) [23].

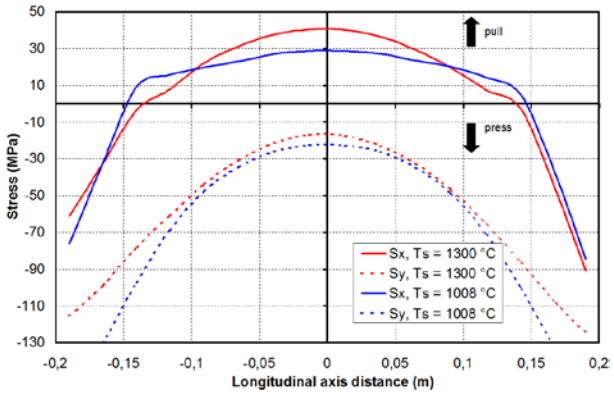


Figure 8. Impact of the cooler surface on longitudinal and transversal stresses on the plane of exit.

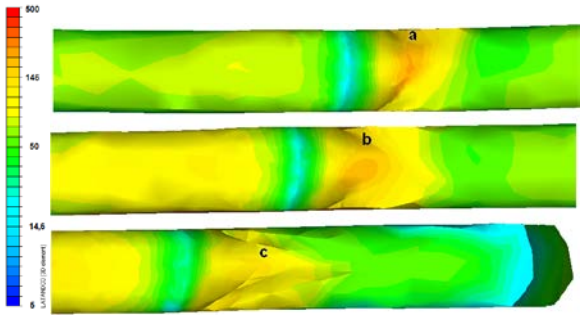


Figure 9. CLFC values (MPa) around notches 3 (a), 4 (b) and 5 (c) found by FEM simulation of the wedge test with notched specimens [11].

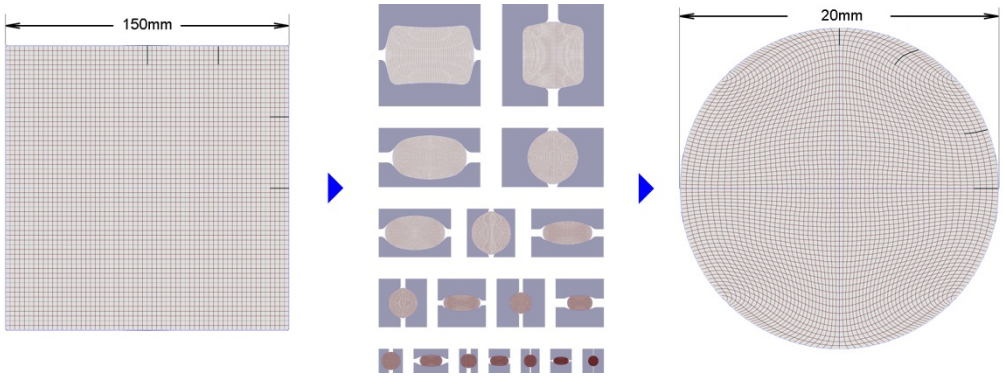
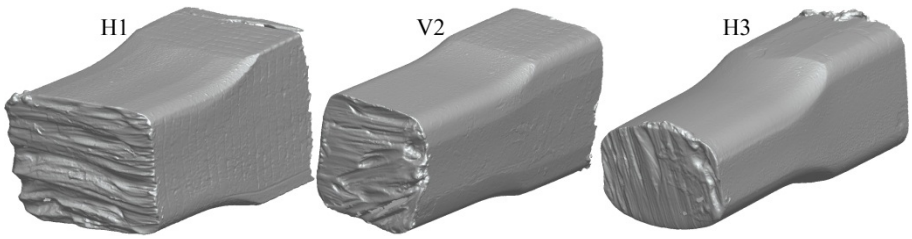


Figure 10. Roll-pass design and computed shapes of cross-section of the rolled product with surface cracks [24].

- Development of an FEM program for simulating the rolling of shaped products with the aid of “rapid” algorithms.

Pilot testing of the model. (TZ, DMF)

A special industrial experiment was performed in the TZ plant, which was aimed at exploring the nature and parameters of metal flow during caliber rolling. The process involved rolling a 150 mm square-section continuously-cast billet into a 120 mm round bar. The rolling was discontinued once the deformation zone was filled. The unfinished piece was then cut to smaller parts and removed from between the rolls. Parts of the rolled product which at the moment of stopping were inside the roll pass were thoroughly measured and analysed. The measured data was compared with the results of simulation in own software SPLEN-Rolling, which uses rapid algorithms (slab method) (see Figure 11). The usability of our software for calculation of real-world problems was thus verified [25].



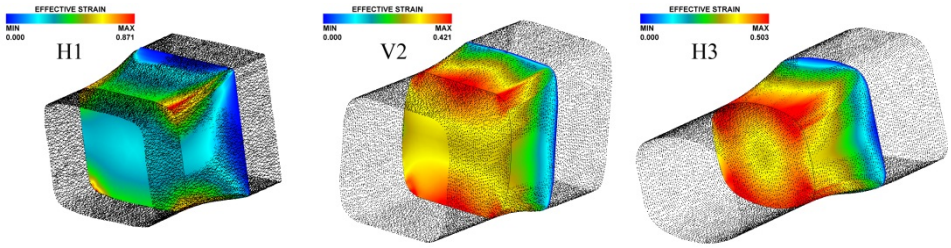


Figure 11. Top: Digital rendering of specimens' surfaces; Bottom: FE models of the deformation zone and scanned points on surfaces of rolled specimens [24]

Optimisation of the roll pass design with respect to technological formability (TZ, DMF)

Optimisation of the schedules of reduction for rolling in the preparatory train of the TZ continuous wire rod rolling mill. The objective was to minimize the strain peaks. Proposed changes in roll pass design resulted from more than 80 calculations, each of which included simulations of all four passes. The use of a 3D method would be enormously time consuming, even with the aid of powerful computer technology. Our computer software based on rapid mathematical models and algorithms was able to solve this problem promptly [26].

Conclusion

FEM-based mathematical modelling of hot rolling of long and flat products remains overshadowed by modelling applications in closed-die and also open die forging. Many of previously published articles are focused entirely on the FEM, neglecting the comparison with real-world rolling operations or dealing with only selected aspects of actual rolling processes, while omitting others.

One of the characteristic features of most rolling plants mentioned in this paper is their broad range of process parameters. These are very difficult and sometimes even impossible to determine and describe through mathematical equations or through boundary and initial conditions.

This often applies even to fundamental and theoretically easily available data, such as tool (roll) geometry, roll skipping, relative orientation of rolls (setting of the rolling gap and, in case of shape rolling, horizontal offset of rolls), product geometry and initial positions of the stock and the roll (horizontal and vertical offset, angle). These are often difficult to obtain. It requires close cooperation with production engineers and mill operators.

Then there are materials parameters (we rank these second in terms of availability). They can be determined using additional physical tests or obtained from rheological and TTT curve databases of simulation programs (physical properties of tools and materials used as input stock: flow stress, thermal properties and phase transformation temperatures for steels and others). Physical (plastometer) testing can yield very accurate data for a particular material [27]. Such tests are relatively easily available but costly and time consuming. Contrariwise, data from databases are readily available but their accuracy might be questionable, particularly for new (special) grades of steels.

The third group contains, again, process parameters. These are virtually impossible to obtain in the industrial practice. Under laboratory conditions, this requires special equipment. This means that they apply to the workpiece-roll interface (friction coefficient and heat transfer coefficient) and to the effects of environment. It is mainly the friction, which is one of the most significant sources of errors in mathematical modelling of rolling. However, the very same mathematical modelling and FEM-based programs allow the friction coefficient (and the coefficient of heat transfer to rolls) to be determined by indirect methods relying on the inverse analysis. The effect of environment is typically reduced to the heat transfer coefficient

for still air (most FEM programs contain this calculation module). For rolling, this simplification can be accepted without concern. Simulation of cooling of finished complex rolled sections or several rolled products placed side by side on a cooling bed requires that radiation between sides of a single section or between rolled products on the cooling bed is taken into account If simulation of cooling processes is to be credible, such as that of cooling on Stelmor conveyor or on a cooling bed of the HCC mill, a number of simplifying assumptions must be adopted (particularly the uniformity of cooling across the entire area of the cooling bed).

The above causes of variance in process parameters are the reason why virtually no rolling plant in the region uses FEM-based software on a regular basis or considers whether to purchase them. The reason is obvious. The only area where FEM simulation of rolling would have an impact strong enough to motivate the individual companies to purchase the necessary hardware and software is the roll pass design process. As results published in this paper showed, the accuracy and speed of the programs are utterly insufficient. (The question remains whether this situation changes in the future thanks to further increase in processor speed or whether the study by Singiresu [28] correctly argues that increasing the number of finite elements above a certain limit N_0 provides no more accuracy). An experienced roll pass designer is able to design, test in operation and optimise roll passes to the final state over such a short period of time and with such accuracy which cannot be matched by any FEM software. Total costs of introducing new roll pass design without FEM will be higher, due to the need for field trials and optimisation but the flexibility of the design process will outweigh this drawback.

Outside the field of roll pass design, there are areas which are described in this paper and where FEM modelling can be developed and where it has a potential for the future. All these research and development activities expand the opportunities for researchers by providing information about the rolling process in greater detail than achievable by field, pilot and laboratory experiments. The most useful areas (in regard to applicability), in our view, are the following: 1. process formability analysis, 2. failure cause analysis, 3. rolled product shape analysis (if trends, rather than exact data, are the focus), 4. analysis of temperature fields in the course of cooling, as an accessory tool for laboratory modelling of rolled product cooling, 5. FEM as a tool (determining the time dependency of thermal and mechanical quantities) for physical modelling of evolution of microstructure in rolling. These fields, however, will not be the reason for rolling plants to procure the costly equipment. This opens up an area for research organizations and higher education institutions.

Acknowledgments

This paper was created in the project No. CZ.1.05/2.1.00/01.0040 "Regional Materials Science and Technology Centre" within the frame of the operation programme "Research and Development for Innovations" financed by the Structural Funds and from the state budget of the Czech Republic.

References

[1] S. Kobayashi, S. Oh, A. Altan, Metal forming and the finite element method. Oxford University Press, Inc. New York 1989, ISBN 0-19-504402-9.

[2] R. Kawala, M. Graf, K. Tokmanov, Metalurgija, 49 (2010) 3, 175-179

[3] Z. Jančíková, V. Roubíček, D. Juchelková, Metalurgija, 47 (2008) 4, 339-342

[4] J. Kliber, I. Mamuzić, Metalurgija, 49 (2010) 3, pp. 169-174

[5] Komori, K., Koumura, K., JOMPT 105 (2000), pp. 24-31

[6] R. Inakov, JOMPT, 142 (2003) 355-361.

[7] S. Xiong, et al. JOMPT 120 (2002) 53–61

[8] T. Kubina, M. Kučera, R. Kocur, Proceedings, Metal 2010: 19th Int. Metallurgical and Materials Conference, Tanger : Ostrava, 2010, pp. 263-268 .
[9] T. Kubina, R. Kocur, M. Kučera, Hutnické listy, 62 (2009) 6, pp. 20-25.
[10] S. Aksenov, R. Fabík, J. Kliber, Acta Metallurgica Slovaca, 13 (2007) 4, pp. 660-666
[11] R. Fabík, Habilitation thesis, VSB-TU Ostrava, Ostrava, 2011, 43 – 63
[12] R. Fabík, et al. Acta Metallurgica Slovaca, 13 (2007) 4, pp. 583-588
[13] J. Kliber, O. Žáček, R. Fabík, Quality of materials and services. S. Borkowski, F. Pešlová, (ed), Publishing: Tribun EU, s. r. o., Brno, 2008, pp. 125 -130.
[14] M. Kotas, R. Fabík, T. Gajdzica, J. Kliber, Proceedings, Metal 2010: 19th Int. Metallurgical and Materials Conference, Tanger : Ostrava, 2010, pp. 251-256.
[15] R. Fabík, et al. Metalurgija, 48 (2009) 4, pp. 273-276
[16] R. Fabík, S. Aksenov, Steel Research Int., 79 (2008) 1, pp. 432-439.
[17] R. Fabík, Proceedings, Metal 2010: 19th Int. Metallurgical and Materials Conference, Tanger : Ostrava, 2010, pp. 339-345
[18] R. Fabík, R. Baron, Proceedings, Metal 2009: 18th Int. Metallurgical and Materials Conference, Tanger : Ostrava, 2009, pp. 98-104.
[19] R. Fabík, O. Acheampong, Acta Metallurgica Slovaca, 11 (2005) 2, pp.. 226 – 231
[20] R. Fabík, J. Kliber, S. Aksenov, Materials Science Forum, 24 (2008), 575-578, pp. 1445-1454.
[21] I. Schindler, et al. Steel Research Int., 79 (2008) 1, pp. 758-764.
[22] R. Fabík, et al:, Hutnické listy, 63 (2010) 4, pp. 123-125.
[23] M. Kotas, et al. M. Hutnik, 75 (2008) 8, pp. 483-486.
[24] S. Aksenov, Diploma thesis, VSB-TU Ostrava, Ostrava, 2008, 20 – 26
[25] S. Aksenov, Proceedings, Metal 2011: 20th Int. Metallurgical and Materials Conference, Tanger : Ostrava, 2011, pp. 330-335.
[26] S. Aksenov, et al:, Hutnické listy, 63 (2010) 4, pp. 110-113.
[27] J. Kliber, S. Aksenov, R. Fabík, Metalurgija, 48 (2009) 4, pp. 257-261
[28] S. R. Singiresu, The Finite Element Method in Engineering. 4th edition. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТРОЛЕПРИГОДНЫХ ЭС. МОДУЛЬ 1: ДИАГНОСТИРУЕМЫЕ ЭРЭ

Иванов И.А., Кошелев Н.А.
Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В работе представлена система, позволяющая автоматизировать процесс обеспечения контролепригодности при проектировании электронных средств. Разработаны и представлены алгоритмы функционирования основных модулей. Подробно рассмотрен модуль формирования набора диагностируемых элементов.

Computer-aided design of electronic testability. Module 1: Diagnosed components. Ivanov.I.

This paper presents a system that automates the process of ensuring testability in the design of electronic equipment. Developed and presented algorithms of basic modules. Discussed in detail module for selecting diagnosed elements.

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.

Проектирование современных электронных средств (ЭС) невозможно без использования информационных технологии. На протяжении всего жизненного цикла, начиная с разработки технического задания и заканчивая утилизацией, применяется специализированное программное обеспечение, автоматизирующее соответствующие процессы.

К сожалению, системы автоматизированного проектирования (САПР) и диагностирования не решают актуальную задачу обеспечения контролепригодности ЭС, которая в последние годы стоит особенно остро. Значимость проблемы обеспечения контролепригодности обусловлена, в первую очередь, сложностью проектируемой аппаратуры и необходимостью непрерывного мониторинга технического состояния.

В работе [1] предложен метод проектирования контролепригодных электронных средств, в соответствии с которым:

- проводится расчет функции чувствительности выходных характеристик к параметрам электрорадиоэлементам (ЭРЭ);
- проводится расчет показателей надежности ЭРЭ;
- в результате анализа функции чувствительности и вероятности отказа формируется коэффициент значимости, в соответствии с которым ранжируются ЭРЭ;
- в соответствии с коэффициентом полноты проверки формируется набор диагностируемых элементов;
- комплексное диагностическое моделирование разнородных физических процессов и формирование справочника неисправностей для набора диагностируемых элементов, позволяет обеспечить контролепригодность на этапе проектирования.

Автоматизация метода обеспечения контролепригодности [1] и внедрение разрабатываемой системы в процесс проектирования в рамках применения современных CALS-технологий позволит значительно повысить эффективность диагностирования, снизив трудоемкость и финансовые затраты ремонта и восстановления на этапе выходного контроля и стадии эксплуатации.

Предлагаемая система автоматизации проектирования контролепригодных ЭС «T- Designing» (Testability Designing – контролепригодное проектирование) направлена на реализацию главных принципов организации жизненного цикла:

1) непрерывности информационной среды, куда погружается ЭС на протяжении жизненного цикла;

2) регулярности информационной среды для исключения информационных выбросов, связанных с необходимостью переформатирования информации от этапа к этапу.

«T- Designing» входит в состав подсистемы АСОНИКА-Д и системы АСОНИКА в целом, что создает фундамент для повсеместного и широкого внедрения CALS-технологии в область разработки, производства и эксплуатации ЭС для их непрерывной и регулярной информационной поддержки на протяжении всего жизненного цикла [2].

Модульная структура системы позволяет дополнять ее другими модулями, расширяющими ее функциональные возможности, а также достичь эффекта экономии ресурсов электронно-вычислительных машин за счет распараллеливания расчетных процессов.

При разработке системы реализуется возможность ее функционирования в составе интегрированных САПР, с целью обеспечения контролепригодности.

Автоматизированный процесс проектирования контролепригодных ЭС проходит совместно с программами анализа схем PSpice и топологического проектирования P-CAD, ACCEL, конструкторского проектирования ANSYS и, прежде всего, совместно с подсистемами системы АСОНИКА, для чего предусмотрены соответствующие программы-интерфейсы.

Укрупненная схема алгоритма системы «T- Designing» представлена на рисунке 1. Многие блоки этого алгоритма представляют собой объединение модулей подпрограммы, работающих на основе собственных алгоритмов.

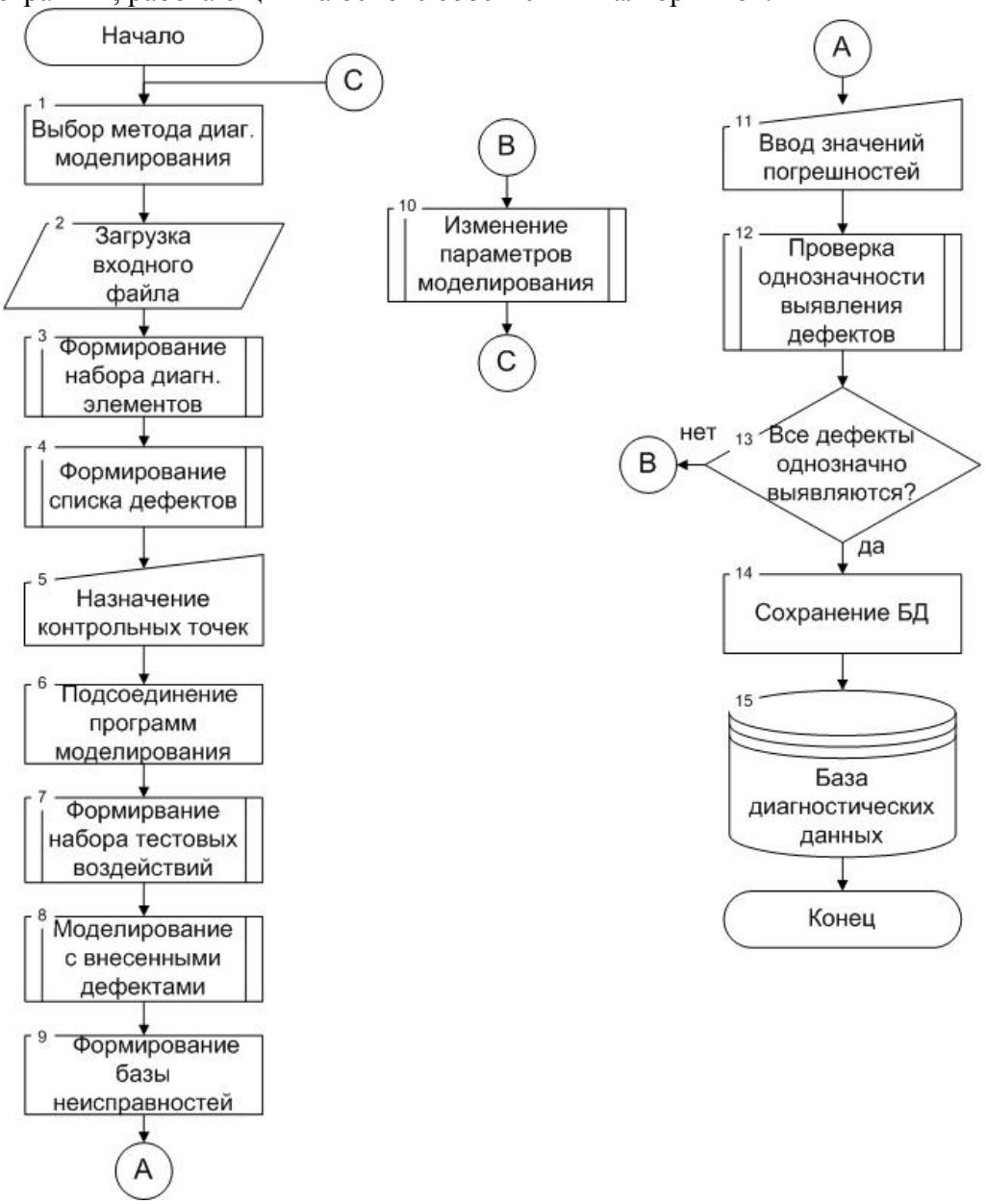


Рисунок 1 - Блок-схема укрупненного алгоритма системы автоматизированного проектирования контролепригодных ЭС

Контролепригодность ЭС в рамках данной работы предлагается обеспечивать на стадии проектирования, точнее на его этапах электрического, теплового и механического моделирования. Поэтому в *Блоке 1* рисунка 1 необходимо выбрать метод диагностирования, которому соответствует определенный расчет при диагностическом моделировании и, следовательно, необходимы соответствующие

входные файлы, которые загружаются в программу в *Блоке 2*. Входными файлами являются результаты работы соответствующих программ моделирования электрических, тепловых и механических процессов.

Исходя из особенностей метода [1], контролепригодность обеспечивается относительно строго заданного набора элементов, который отвечает требованию по полноте диагностирования. В модуле «Диагностируемые ЭРЭ», алгоритм которого представлен на рисунке 2, происходит формирования набора диагностируемых элементов, которые затем импортируются (*Блок 3*) в основной модуль системы.

Имея сведения об электрической схеме, конструкции, результатах расчета показателей надежности и статистике отказов, в *Блоке 4* проводится назначение дефектов. Формируется список неисправностей, характерных для набора диагностируемых элементов данного ЭС, которые влияют на электрические, тепловые и механические параметры, и выявляются соответствующими методами.

Для проведения диагностического моделирования необходимо сформировать первоначальный набор контрольных точек *Блок 5*, которые соответствуют, например, для электрического диагностического моделирования, узлам электрической схемы.

В *Блоке 6* проводится подключение математического ядра программы моделирования к ПК «Т- Designing». Например, для проведения электрического моделирования используется математическое ядро программы Spice, находящееся в открытом доступе.

Необходимым условием диагностического моделирования является наличие перечня тестовых воздействий (*Блок 7*) [4].

В следующем *Блоке 8* проводится диагностическое моделирование, т.е. моделирование с дефектами определенными в *Блоке 4*.

Результатом диагностического моделирования, в соответствии с используемым методом справочников неисправностей [3], являются данные формирующие в *Блоке 9* "базу неисправностей", т.е. пары дефект - выходная характеристика.

Основным условием обеспеченности контролепригодности является возможность однозначного выявления всего рассматриваемого списка неисправностей при диагностировании. Для этого необходимо проведение операции по проверке однозначности выявления дефектов (*Блок 12*).

Однозначность выявления дефектов определяется параметрами точности и погрешности моделирования и контрольно-измерительной аппаратуры. Эти параметры необходимо ввести в *Блоке 11*.

В соответствии с критерием обеспечения контролепригодности [1], проверяется достигнутый уровень контролепригодности (*Блок 13*). В случае достижения максимального значения контролепригодности в *Блоке 14* происходит формирование Базы диагностических данных (*Блок 15*). Куда поступают данные "базы неисправностей", набор тестовых воздействий и контрольных точек.

Когда, из-за недостаточной точности контрольно-измерительной аппаратуры или ряда других причин, невозможно однозначно различить все рассматриваемые дефекты, в «Т- Designing» необходимо ввести изменения в параметры моделирования (*Блок 10*). Изменения могут быть выражены в назначении дополнительных контрольных точек, дополнительных тестовых воздействий или рассмотрении схемы (в случае электрического диагностического моделирования) в частотной и динамической областях, а также в переходе к другому методу диагностического моделирования. Для каждого изменения проводятся повторные расчеты (*Блок 1* - *Блок 11*) и проверка критерия обеспечения контролепригодности (*Блок 12*).

Согласно разработанному в [1] методу, контролепригодность обеспечивается однозначно для заданного набора диагностируемых ЭРЭ. В системе «Т- Designing» за

процесс формирования набора диагностируемых элементов отвечает отдельный модуль, алгоритм которого приведен на рисунке 2.

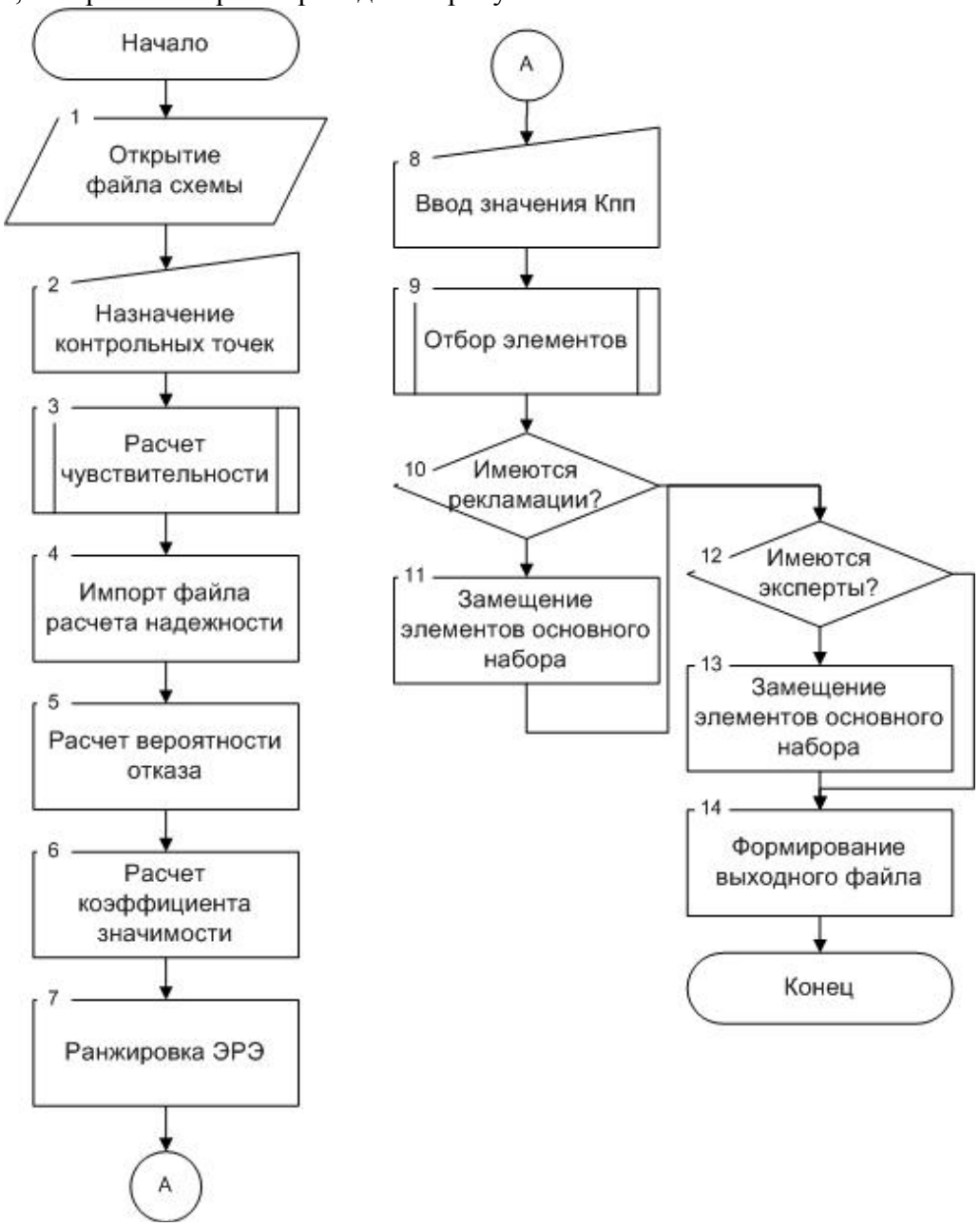


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма формирования набора диагностируемых ЭРЭ

Входным файлом, загружаемом в *Блоке 1*, также как для всей системы «T-Designing» является электрическая, тепловая или механическая модель. Например, электрическая модель представляет собой описание электрической схемы в Spice-файле (*.cir). Формирование набора диагностируемых элементов основано на анализе чувствительности выходной характеристики и надежности ЭРЭ. Для расчета чувствительности в *Блоке 2* назначается контрольная точка, которая будет являться выходом схемы и с которой будут сниматься данные изменения выходной характеристики в зависимости от изменения параметров ЭРЭ.

Расчет значений чувствительности и выбор максимального значения проводится в *Блоке 3*. Максимальное значение относительной чувствительности выходной характеристики к изменению параметра принимается как чувствительность к

изменению параметров элемента вообще.

Для расчета показателей надежности применяется специализированный программный комплекс АСОНИКА-К, выходные данные из которого импортируются в *Блоке 4*. Выходной файл АСОНИКА-К содержит рассчитанный значения интенсивности отказа каждого ЭРЭ. Для определения коэффициента значимости необходимо использование показателя надежности - вероятность отказа. Поэтому в *Блоке 5* на основании загруженных данных проводится соответствующий расчет показателей по каждому ЭРЭ.

Поэлементное перемножение полученных значений чувствительности и вероятности отказа дает нам значение коэффициента значимости ЭРЭ (*Блок 6*).

Для наглядного выделения значимых элементов упорядочим все ЭРЭ по коэффициенту значимости (*Блок 7*) от более значимого к менее, т.е. проведем ранжировку.

В *Блоке 8* вводится значение коэффициента полноты диагностирования, требование по которому заложено в техническом задании.

Согласно введенному значению коэффициента полноты диагностирования проводится отбор наиболее значимых элементов (*Блок 9*).

Далее, при наличии рекламаций (*Блок 10*) или (и) опытных экспертов(*Блок 12*), чье мнение может быть учтено при формировании набора диагностируемых параметров, проводится автоматизированное замещение (*Блок 11,13*) некоторых элементов сформированного набора на элементы, полученные из *Блоков 10,12*.

Выходной файл данного модуля системы «Т- Designing», формируемый в *Блоке 14*, представляет собой окончательный набор диагностируемых элементов, которой передается в основной модуль и относительно которого проводится однозначное обеспечение контролепригодности.

В настоящий момент завершено написание модуля «Диагностируемые ЭРЭ» и проводится тестирование эго элементов.

Внешний вид модуля формирования набора диагностируемых элементов представлен на рисунке 3.

Окно программы условно можно разделить на три зоны.

Первая зона (рисунок 3, 1), боковая панель управления, служит для импорта входных файлов расчета, файла схемы и запуска программы, подробнее на рисунке 4.

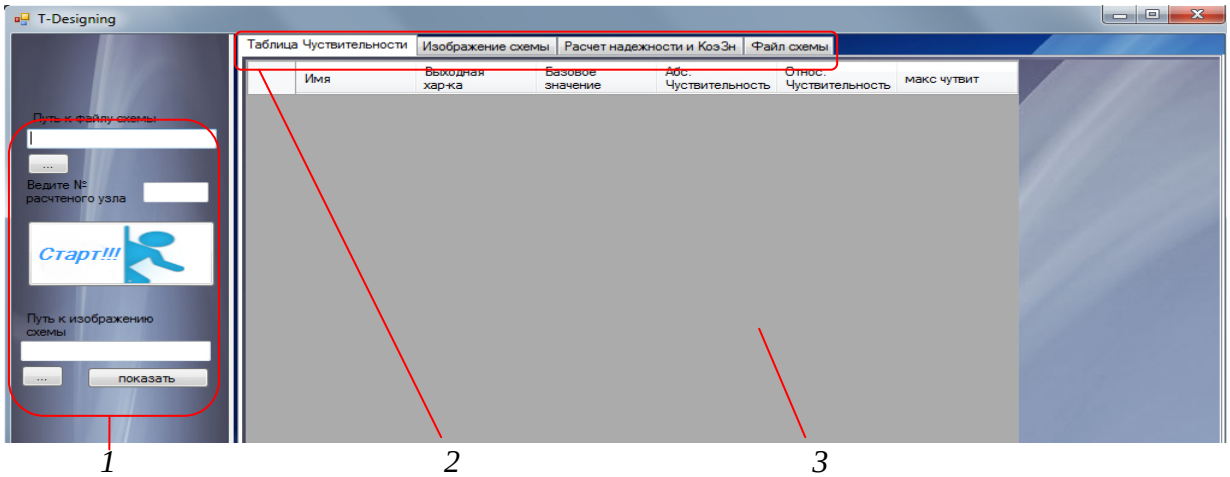


Рисунок 3 - Интерфейс модуля формирования набора диагностируемых элементов.

Вторая зона (рисунок 3, 2) представляет собой набор вкладок, которые заполняются по мере импорта входных файлов и проведения необходимых расчетов. В данной версии имеется 4 вкладки: Таблица чувствительности, Расчет надежности и Коэффициента значимости, Изображение схемы, файл схемы.

Третья зона (рисунок 3, 3) является полем, на котором отображается все описание файла схемы и результаты расчетов.

Боковая панель управления позволяет указать путь к исходному файлу с расширением *.cir (рисунок 4, 1).

При наличии изображения схемы для наглядности работы его можно загрузить в соответствующую закладку, указав путь к нему (рисунок 4, 2).

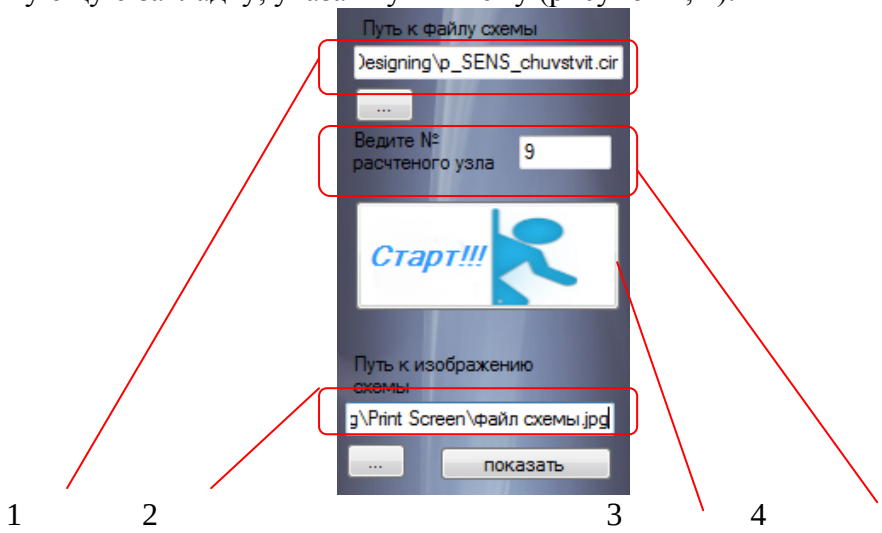


Рисунок 4 - Боковая панель управления

Для расчета функции чувствительности, которая является основой для формирования набора диагностируемых элементов, необходимо ввести номер выходного узла (рисунок 4, 4) из соответствующей схемы.

Кнопка "Старт" (рисунок 4, 3) запускает процесс расчета функции параметрической чувствительности.

Выбрав файл схемы на боковой панели (рисунок 4, 3), заполняется соответствующая вкладка (рисунок 5), на которой появляется spice-файл рассчитываемой схемы.

В закладке "Изображение схемы" открывается файл в формате *.jpg (рисунок 6).

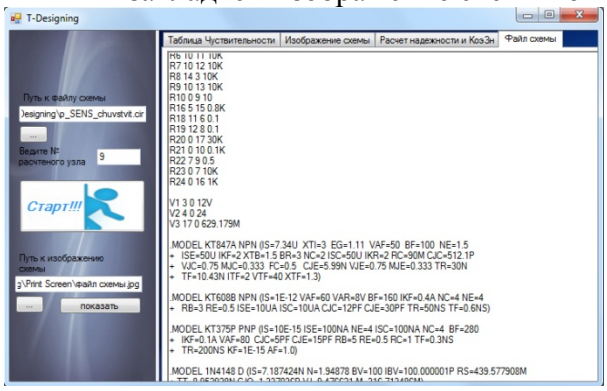


Рисунок 5 - Файл схемы

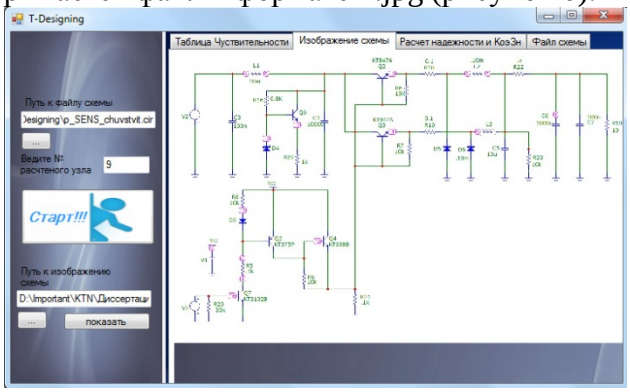


Рисунок 6 - Изображение схемы

Введя номер расчетного узла на боковой панели и нажав кнопку "Старт", проводится анализ функции чувствительности, результаты которого отображаются во

вкладке "Таблица чувствительности" (рисунок 7). В автоматическом режиме происходит формирование списка ЭРЭ, с каждого из которых выдаются соответствующие результаты расчета.

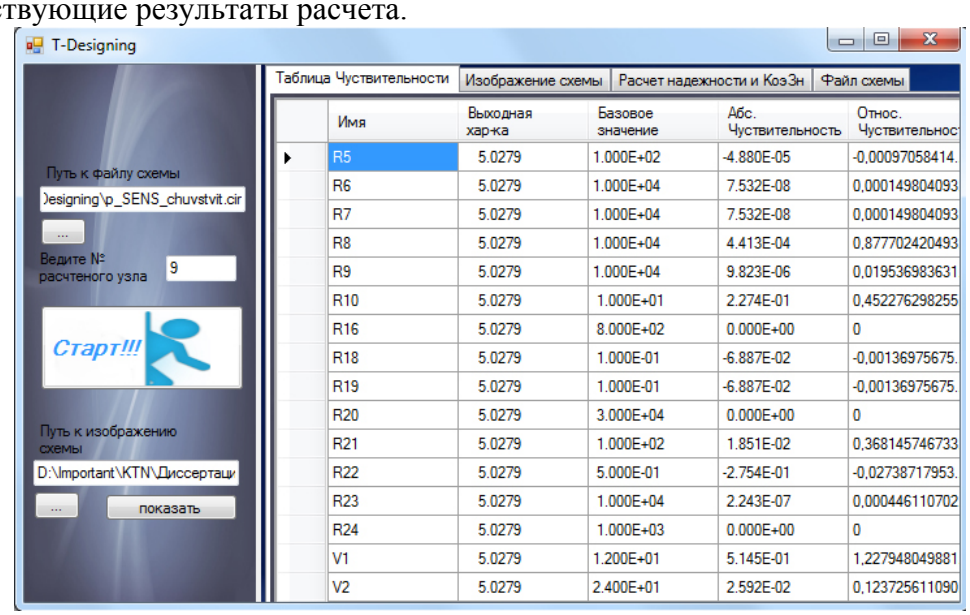


Рисунок 7 - Расчет чувствительности

Следующим этапом выполняется расчет вероятности отказа ЭРЭ (рисунок 8, 1). В программу импортируются или вводятся вручную значения интенсивности отказов, которые рассчитываются в программном комплексе АСОНИКА-К. При нажатии кнопки "Расчет" программой формируются значения Вероятности отказа, а также значение коэффициента значимости.

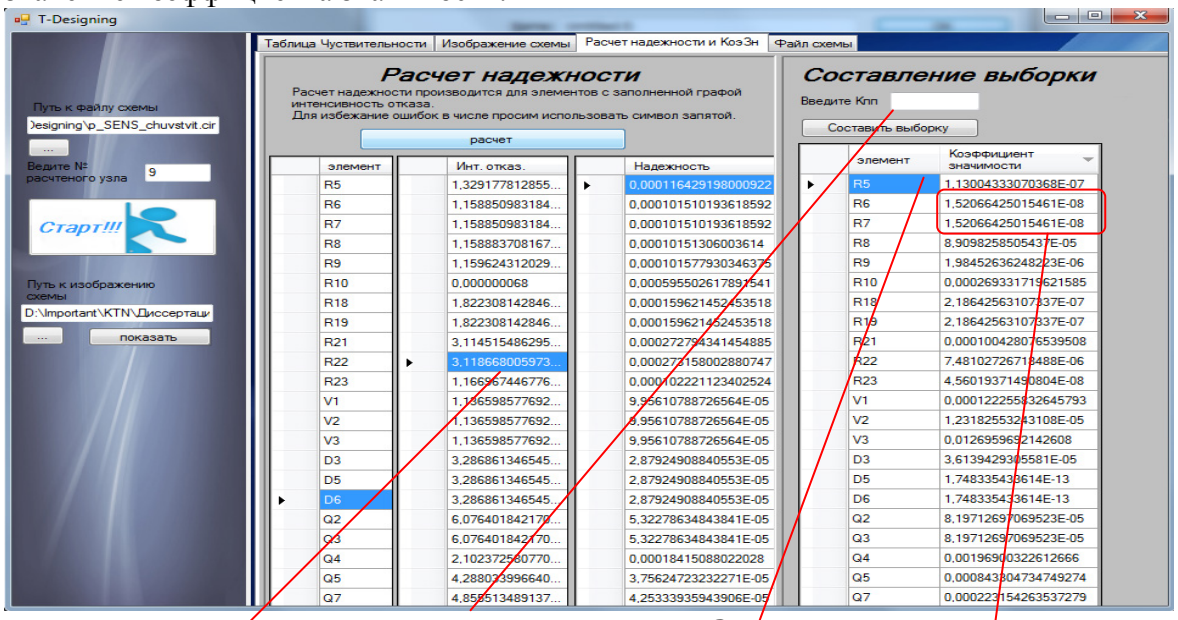


Рисунок 8 - Расчет коэффициента значимости

При нажатии на заголовок таблицы "Коэффициент значимости" (рисунок 8, 4) происходит ранжирование всего списка электрорадиоэлементов.

Определяющим значением при формировании набора диагностируемых элементов является значение коэффициента полноты проверки, которое вводится в

соответствующее поле (рисунок 8, 2). При нажатии на кнопку "Составить выборку" (рисунок 8, 3), автоматически приводится упорядочивание (ранжировка) элементов и отсечка значимых элементов (рисунок 9), они остаются в видимой части таблицы.

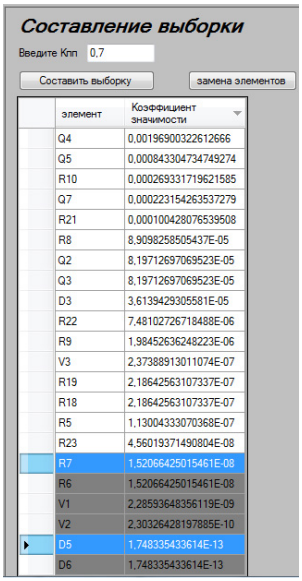


Рисунок 9 - Формирование набора диагностируемых элементов

При этом появляется дополнительная кнопка "Замена элементов". Выбрав элементы и списка не вошедших в основной набор и нажав кнопку "Замена элементов", происходит замещение нижних ЭРЭ выбранными.

В дальнейшей работе будет усовершенствован математический аппарат системы автоматизированного проектирования контролепригодных электронных средств и разработаны остальные модули системы.

Литература

1. Увайсов С.У., Иванов И.А. Обеспечение контролепригодности радиоэлектронных средств в рамках CALS-технологий // Качество. Инновации. Образование. 2011. № 1. С. 43-46.

2. Иванов И.А., Увайсов С.У. Информационная модель процесса проектирования контролепригодных радиоэлектронных средств. Журнал "Информационные технологии" №12, 2011, стр. 41-45

3. Воловикова Е. В. Метод диагностирования радиоэлектронных функциональных узлов по электрическим характеристикам с учетом температур комплектующих элементов /Дисс. канд. техн. наук. – М.: МИЭМ, 2010. – 152 с.

4. Иванов И.А., Увайсов С.У, Кошелев Н.А. Формирование наборов тестовых сигналов для контроля качества электронных средств космических аппаратов. Журнал «Качество. Инновации. Образование», № 11(78), 2011 г., с.84-88.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МИКРОСХЕМЫ НА ОСНОВАНИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВНУТРЕННИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕСТОВОЙ СТРУКТУРЫ

Абрамешин А.Е., Андреевская Т.М., Пашев Р.Ю.
г. Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В статье дается метод диагностирования интегральных схем на основании идентификации внутренних параметров тестовой структуры в виде полупроводникового диода.

The method to determine the IC technical state based on the identification of internal parameters of the test structure. Abrameshin A., Andreevskaya T., Pashev R.

This article deals with the method of diagnosing IC based on the identification of the internal parameters of the test structure in a semiconductor diode.

В настоящее время актуальность проблемы диагностирования сверхбольших интегральных схем (СБИС), плотность компоновки элементов в которых доходит до 1 млн. в кристалле, растет и требует новых методов и критериев оценки качества. Для технологического процесса производства СБИС нужна высокая точность формирования структуры элементов. На рис.1 приведены наборы масок (называемых также фотошаблонами) для микросхем. По их требуемому числу можно легко определить трудоемкость разработки и процесс производства интегральных схем.

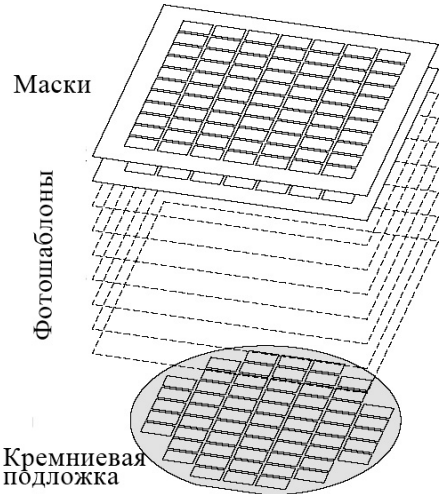


Рис.1. Маски или фотошаблоны

Идентифицировать электрические параметры каждого сформированного на кристалле элемента невозможно из-за высокой степени интеграции микросхемы и малых размеров элементов. Для решения этой проблемы предлагается формировать тестовые структуры на кремниевой подложке, где создается партия микросхем одного типа, а одна из них содержит тестовые структуры (рис.2). Основной принцип построения тестовых структур состоит в том, что при таком способе формирования тестовые структуры должны иметь определенное сходство с рабочими компонентами диагностируемых интегральных микросхем, содержать все конструктивные элементы в различных сочетаниях и обеспечивать удобство их контроля во время испытаний, чтобы объективно отражать их свойства. Так как микросхемы формируются в едином

технологическом процессе, то по выходным характеристикам тестовой структуры можно контролировать техническое состояние микросхемы в целом. Применение тестовых структур позволяет организовать эффективный технологический контроль производства ИМС и сократить трудоемкость при проведении испытаний на надежность СБИС, особенно на этапе отработки технологии.

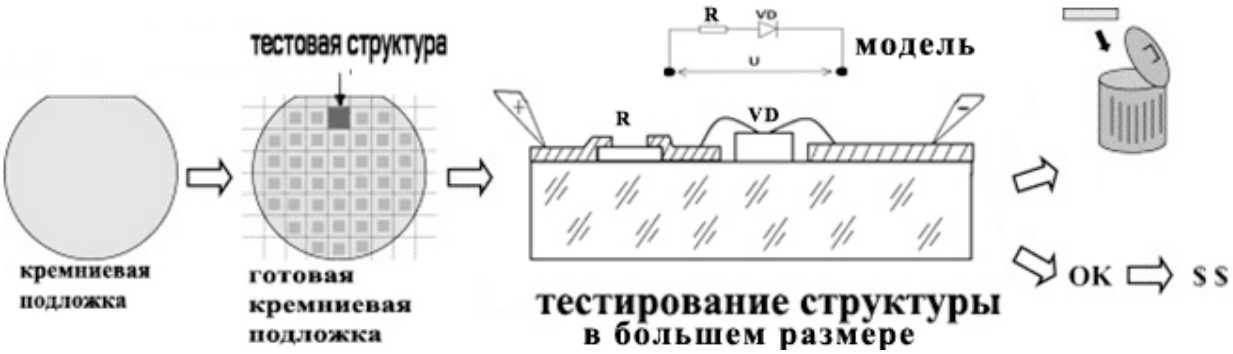


Рис.2. Контроль технического состояния гибридной интегральной микросхемы по внутренним характеристикам тестовой структурой в виде диода

Цель работы: по измерениям выходных характеристик тестовой структуры микросхемы идентифицировать действительные значения электрических параметров отдельных элементов; сравнить их с предельно-допустимыми значениями; классифицировать техническое состояние данной микросхемы как исправное или неисправное. На рис.3 дан пример области допустимых внутренних параметров q_n тестовой модели, например, такого как обратный ток диода тестовой структуры.

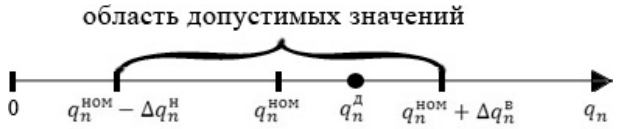


Рис.3. Облать допустимых значений q_n

на рис. 3 обозначено:

– $q_n^{ном}$- номинальное значение *n*-го внутреннего параметра;
– $\Delta q_n^{н}$, $\Delta q_n^{в}$- нижний и верхний допуски на *n*-ый параметр;
– $q_n^{д}$ – действительное значение *n*-го внутреннего параметра;

Состояние микросхемы классифицируется как неисправное, если действительное значение хотя бы одного внутреннего параметра ее тестовой структуры выходит за допустимые границы, т.е. не выполняются условия:

$$\begin{cases} q_1^{ном} - \Delta q_1^{н} \le q_1^{д} \le q_1^{ном} + \Delta q_1^{в} \\ q_2^{ном} - \Delta q_2^{н} \le q_2^{д} \le q_2^{ном} + \Delta q_2^{в} \\ \vdots \\ q_n^{ном} - \Delta q_n^{н} \le q_n^{д} \le q_n^{ном} + \Delta q_n^{в} \end{cases} .$$

Разработка метода диагностирования микросхем на основе идентификации параметров тестовой структуры велась на примере маломощного полупроводникового диода КД103А. Анализ режима работы и контроль технического состояния полупроводникового диода осуществляется по известной экспоненциальной вольт-амперной характеристике:

$$I = I_s \cdot \left(e^{\frac{U}{\varphi_t \cdot N}}\right), \qquad (*)$$

где I_s – обратный ток диода; U – напряжение на p-n переходе; φ_t – температурный потенциал; N – коэффициент, учитывающий неидеальность p-n перехода и его материал.

Для идентификации реальных параметров диода использовались методы оптимизации, при котором осуществлялся выбор наилучшего варианта из множества возможных. В данной работе использовался метод одномерной оптимизации. К методам решения одномерной оптимизации относится: Метод перебора; Метод исключения отрезков (метод деления пополам и метод золотого сечения).

В данной работе выбран самый простой способ поиска распознаваемых значений внутренних параметров тестовой структуры – метод перебора.

Обработка экспериментальных данных выполнялась по следующим образом:

1. Вычислялась наилучшая оценка по результатам серии снятия отсчетов математического ожидания m по следующей формуле:

$$m_i^* = \sum_{i=1}^{n} I_{s,i}$$

2. Определялась наилучшая оценка статистического среднеквадратического отклонения:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} I_{s,i}}{n}}\ .$$

3. находилась доверительная погрешность измерений из ряда 0,9; 0.95; 0.99:

$$\Delta = t_\alpha \frac{s_i}{\sqrt{n}}\ ,$$

где t_α - коэффициент Стьюдента, n - число наблюдений.

4. Конечный результат записать в виде:

$$I_s = m_i^* \pm \frac{S_i}{\sqrt{n}}.$$

При выборе доверительной вероятности, равной 0.9, значение величины t_α получается равным 1,675.

Для идентификации параметров тестовой структуры был промоделирован выбранный диод (КД103А) с помощью программы PSPICE (программа моделирования с ориентацией на интегральные схемы).

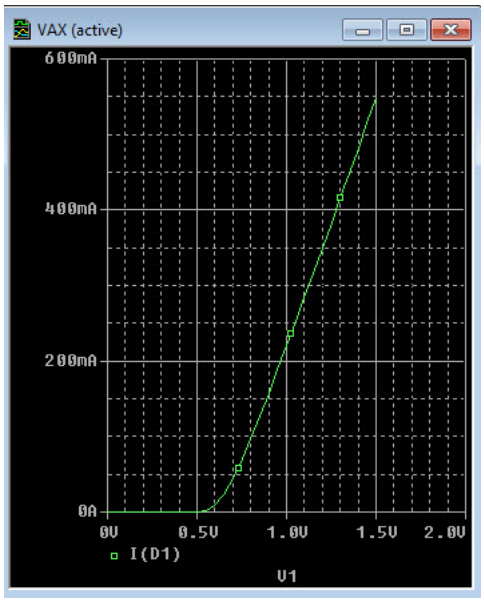


Рис.4. ВАХ, полученная в PSPICE.

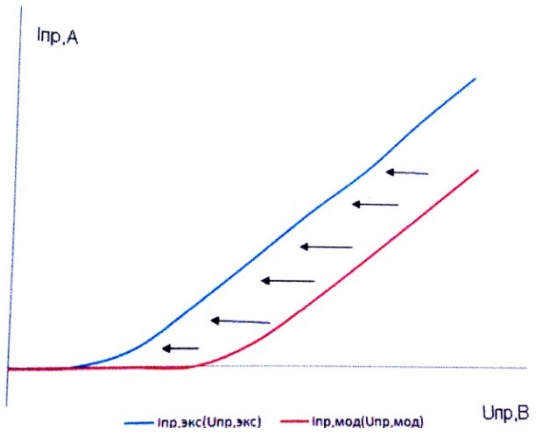


Рис.5.Минимизация разницы ВАХ

Полученный результат моделирования сравнивался со значениями ВАХ, полученными при экспериментальном снятии ВАХ, и находилась разница между ними. Для минимизации разницы между двумя ВАХ изменялось значение тока насыщения (I_S) и коэффициент N в формуле (*), отражающий неидеальность p-n перехода (N). Подбор параметров происходил до тех пор, пока разница не станет минимальной. Этот результат был достигнут при I_S=67.09 пА и N=1.23.

Завершающим этапом работы являлось сравнение выявленных значений тока насыщения и коэффициента неидеальности p-n перехода N с заданными допусками. Сравнение показало, что оба значения входят в область допусков.

На основе данных результатов можно сделать вывод, что данная тестовая структура не имеет дефекта по этим двум параметрам, следовательно данная микросхема также не имеет дефектов по этим двум параметрам.

Литература

1) Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции (2010) / Отв. ред.: С.У. Увайсов; науч. ред.: С.У. Увайсов. М.: МИЭМ, 2010.

2) Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции (2011) / Отв. ред.: С.У. Увайсов; науч. ред.: С.У. Увайсов. М.: МИЭМ, 2011.

3) Тумковский С.Т.. Идентификация параметров математических моделей элементов РЭС : дис. ... д-ра техн. наук : 05.12.04 Москва, 2006 251 с. РГБ ОД, 71:07-5/285

4) Увайсов С.У., Иванов И.А., Увайсов Р.И. Показатели контролепригодности радиоэлектронной аппаратуры // Мир измерений. 2008. № 3. С. 47-51.

5) Иванов И.А., Увайсов С.У., Кошелев Н.А. Формирование наборов тестовых сигналов для контроля качества электронных средств космических аппаратов // Качество. Инновации. Образование. 2011. № 11. С. 84-88.

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЛАТЕНТНЫХ ДЕФЕКТОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.

Лышов С.М., Иванов И.А., Увайсов С.У., Савин Ю.В.
Москва, МИЭМ ВНИУ ВШЭ

В статье описан процесс внесения в блок навигационный системы схемно-конструкторской избыточности в виде встроенных эмуляторов для выявления латентных дефектов, с целью экспериментальной проверки разработанного метода [1] вибрационного диагностирования.

Development of experimental installation for vibration diagnostics of latent defects in designs of electronic means. S.M.Lyshov, I.A.Ivanov, S.U.Uvaysov, Savin Y.V. Moscow, MIEM, HSE.

This article describes how to make the block navigation system redundancy scheme and design in the form of built-in emulator to detect latent defects, to experimental verification of the developed method [1] of vibration diagnostics.

Любая бортовая аппаратура подвержена постоянным механическим нагрузкам, амплитуда ускорений которых достигают 8-10 м/с^2. Данный внешний воздействующий фактор требует большого запаса прочности конструкции т.к. является основной причиной возникновения конструктивных дефектов или проявлению скрытых технологических дефектов в процессе эксплуатации. К такого рода дефектам можно отнести, например:

- дефекты изготовления несущего корпуса и плат;
- присутствие в корпусе посторонних предметов;
- люфты в местах различных креплений;
- механическое повреждение ЭРИ. [1]

В настоящее время с целью мониторинга технического состояния электронных средств используются различные методы неразрушающего контроля. Но для бортовой аппаратуры пока основным способом выявления дефектов остается разрушающий физический анализ, предполагающий вскрытие конструкции, визуальный осмотр и другие процедуры. Стоит отметить, что бортовая аппаратура изготовляется в герметичных корпусах, вскрытие которых крайне нежелательно. Это, в свою очередь, подтверждает актуальность разработанной и описанной в [2] методики.

При проектировании экспериментальной установки была поставлена задача максимальной достоверности проводимого исследования, для чего был выбран реальный блок навигационного позиционирования (Рисунок 1).

В ходе анализ внутренней конструкции (Рисунок 2.) был обнаружен свободный слот под плату PCI, который мог быть задействован для размещения дополнительного печатного узла с встроенными эмуляторами. Было принято решение спроектировать плату, на которой разместить 2 схемы построенных на операционных усилителях. Функция операционных усилителей заключается в усиления подаваемого и снимаемого сигнала с эмуляторов вибрационных воздействий. Для осуществления соединения с внешним источником гармонических колебаний и снятия сигнала с датчика на внешнее устройство анализа и измерения используются стандартные акустические разъёмы.

При выборе схемы построения усилителя основой упор был сделан на возможность изменения диапазона амплитуды сигнала от 1В до 20В. Данное

напряжение является максимальным в диапазоне частот от 50 до 1000 Гц, которое не вызывает искажение синусоидального сигнала на источнике вибрационного воздействия. Еще одним немаловажным фактором выбора данной схемы построения, является наличие шины питания +/- 12В в разъеме PCI.



Рисунок 1. Блок навигационного позиционирования.

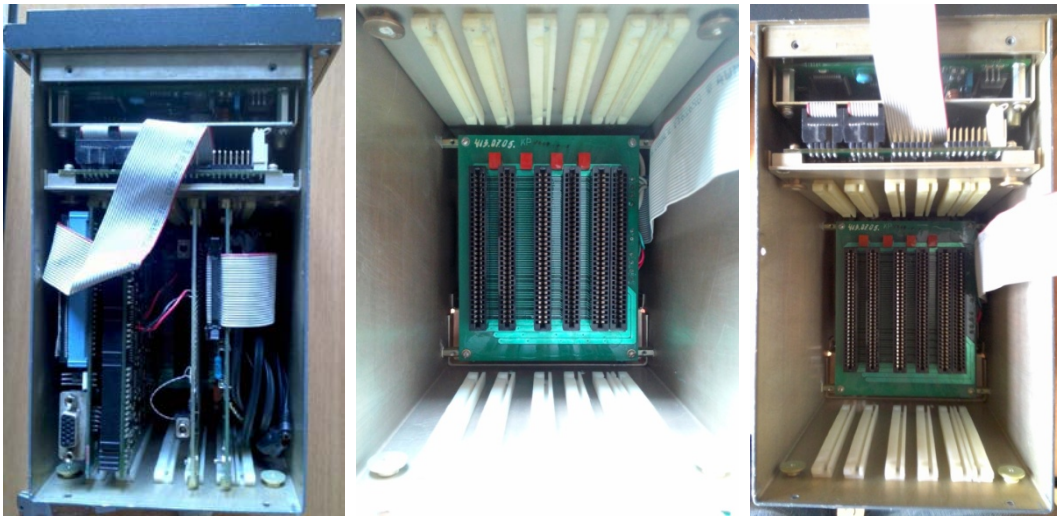


Рисунок 2. Конструкция блока.

Принципиальная электрическая схема представлена на рисунке 3. Данная схема состоит из 4-х резисторов номиналом 20 КОм, 1-го резистора номиналом 1 КОм, 2-х диодов Шоттки, 1-го резистора номиналом 1 МОм,1-го двойного операционного усилителя и 1-го операционного усилителя с низкими шумовыми характеристиками.

Характеристики выбранных операционных усилителей позволяют максимально точно, без искажений, усилить подаваемый и снимаемый сигнал с эмулятора и датчика вибрационных воздействий. В схеме усилителя, снимаемого сигнала с датчика, учтена возможность самовозбуждения схемы, для его предотвращения используются диоды Шоттки, т.к. они обладаю малыми емкостями и улучшенными временными характеристиками.

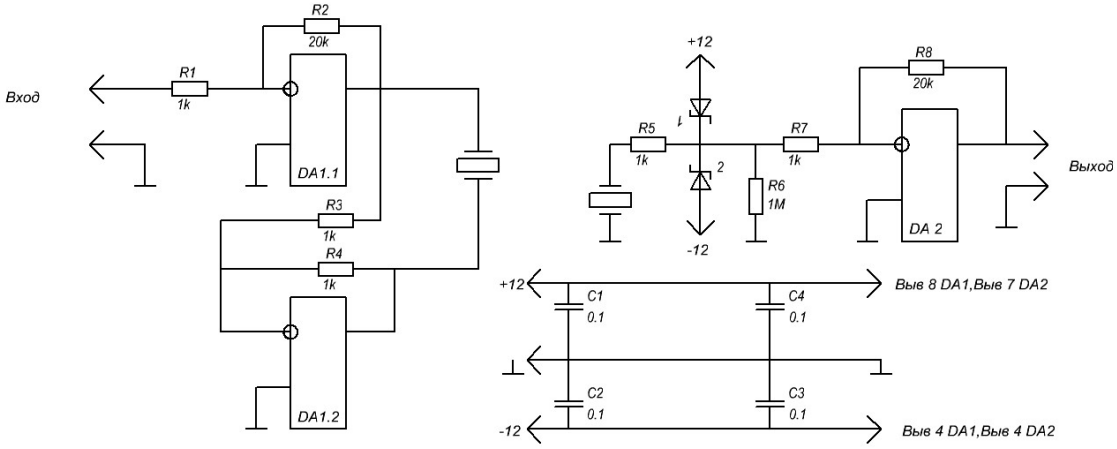


Рисунок 3.Принципиальная схема усилителя.

Выбранная модель MC1458 двойного операционного усилителя реализована на одном кристалле, основными плюсами которого является высокий коэффициент усиления и широкий диапазон рабочих напряжений питания.

Разработанная печатная плата имеет габариты соответствующие данному типу корпуса. Геометрические размеры печатного узла составляют 124*106 мм. Материал, из которого произведена плата - FR-4 является наиболее распространённым во всем мире базовым материалом для производства двухсторонних и многослойных печатных плат, а так же для производства односторонних печатных плат с повышенными требованиями к механической прочности. Трассировка печатной платы произведена с учетом дальнейшего подключение выводов снимаемого и подаваемого сигнала через 3.5 мм акустический разъем. Питание усилителя осуществляется через стандартный разъем PCI. Готовая печатная плата представлена на рисунке 3.

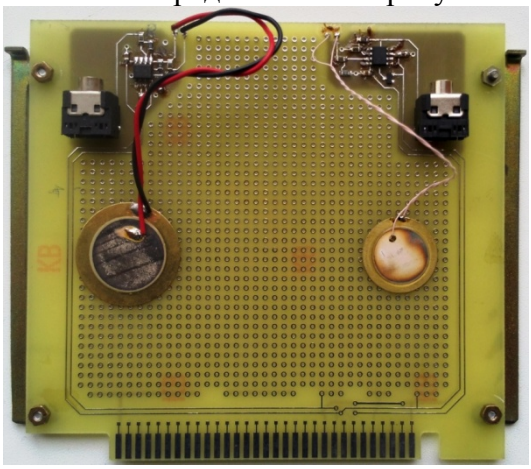


Рисунок 4. Печатная плата.

В ходе решения поставленных задач разработан печатный узел, на котором реализована схема с эмуляторами вибрационных воздействий. Данный печатный узел позволит провести экспериментальные исследования предлагаемого метода вибрационной диагностики и выявления латентных дефектов

Литература

1.Тумковский С.Р., Увайсов С.У., Иванов И.А., Увайсов Р.И. Виброакустический контроль бортовой космической аппаратуры // Мир измерений. 2007. № 12. С. 4-7.

2. Лышов С.М., Иванов И.А., Увайсов С.У. Экспериментальные исследования возможности вибродиагностики аппаратуры встроенными источниками колебаний // 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. 272-274.

3. Иванов И.А., Увайсов С.У., Кошелев Н.А. Методика обеспечения диагностируемости электронных средств космических аппаратов по ранговому критерию на ранних этапах проектирования // Качество. Инновации. Образование. 2012. № 1. С. 60-62.

4. Увайсов С.У., Абрамешин А.Е., Лышов С.М., Дубоделова Д.А. Обеспечение эксплуатационной надежности космической аппаратуры неразрушающими методами виброударной диагностики // В кн.: Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. / Под общ. ред.: Н.К. Юрков. . Т. 2. Пенза: Пензенский государственный университет, 2012. С. 454-456.

5. Увайсов С.У., Иванов И.А., Увайсов Р.И. Показатели контролепригодности радиоэлектронной аппаратуры // Мир измерений. 2008. № 3. С. 47-51.

ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MICRO-CAP

Кофанов ЮН., Прусаков М.И.
Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ

В данной работе поставлена задача проведения электрического и теплового анализа с помощью одной программы электрического моделирования. Это позволяет сделать существующая электротепловая аналогия между протекающими электрическими и тепловыми процессами. В данной работе показана возможность осуществления такого электротеплового моделирования с помощью одной программы Micro-Cap.

Electric and thermal simulation of wireless devices with the help of program of Micro-Cap. Kofanov Y.N., Prusakov M.I.

In this work the task of electric and thermal analysis with the help of one of the programme of electrical simulation. This allows you to make the existing electricity and heat analogy between the leaking of electric and thermal processes. In this work the possibility of such electro-thermal simulation using the same program Micro-Cap.

В настоящее время анализ электрических схем радиотехнических устройств (РТУ) проводятся применяемыми программами типа PSpice на предприятиях, а для теплового анализа применяются подсистемы АСОНИКА–Т (тепловая) и АСОНИКА–ТМ (тепломеханическая). Вопросы исследования отдельно электрических процессов в схемах и отдельно тепловых процессов в конструкциях РТУ с применением ЭВМ к настоящему времени получили определенное развитие как в теоретическом, так и в практическом планах. Но вопросы автоматизированного совместного электротеплового анализа электрических и тепловых процессов РТУ с учетом их постоянного взаимного влияния друг на друга являются менее исследованными и не получили должного практического распространения.

В связи с этим на сегодня по прежнему актуальной является задача разработки электротепловых моделей для совместного исследования электрических и тепловых процессов в РТУ, а также их методического обеспечения.

Целью работы является показать, как использовать управляемые источники для связи электрической и тепловой моделей в единую электротепловую модель.

Рассмотрим таблицы обозначения пассивных (рис.1) и активных (рис.2) параметров в электрических и тепловых процессах. На ней изображены электрические и тепловые модели, с помощью аналогий между электрическими и тепловыми процессами мы создаем совершенно новую унифицированную модель, для того чтобы эта объединенная модель будет воспринималась программой Micro-Cap, как единая расчетная модель.

Во время функционирования электрической схемы выделяется тепловая мощность на каждом радиоэлементе. Рассмотрим эти процессы на примере тестовой конструкции блока делителя (рис 3).

Условное изображение конструкции блока делителя напряжения (изображен один резистор из делителя) (рис.4). Мы взяли этот резистор с типом поверхностного монтажа печатных плат. Технология поверхностного монтажа по сравнению с технологией монтажа в отверстия обладает рядом преимуществ как в конструкторском, так и технологическом аспекте.

- Снижение габаритов и массы печатных узлов.
- Современная технология поверхностного монтажа позволяет устанавливать компоненты с обеих сторон печатной платы, что позволяет уменьшить площадь платы и, как следствие, габариты печатного узла

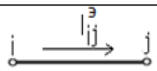
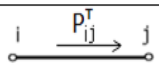
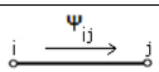
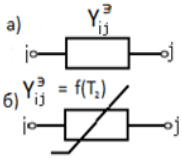
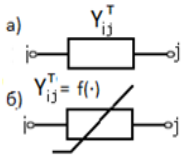
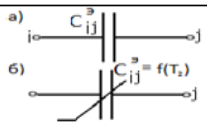
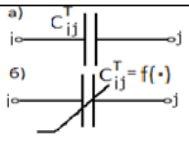
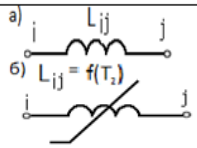
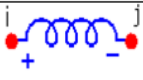
Электрическая модель		**Тепловая модель**		**Унифицированная модель**	**Способ описания ветви**
Электрический потенциал ϕ_i узла i		Температура Ti в точке i		Переменная ϕi узла i модели ветви ij	
Ток ветви		Тепловой поток ветви		Переменная ψ i модели	
Электрическая проводимость а) Линейная б) Нелинейная		Тепловая проводимость а) Линейная б) Нелинейная		Диссипативный параметр ωij ветви ij	
Электрическая емкость а) Линейная б) Нелинейная		Тепловая емкость Линейная б) Нелинейная		Консервативный параметр 1-го рода βij	
Индуктивность Lij а) Линейная б) Нелинейная		Не существует		Консервативный параметр 2-го рода γij	

Рис.1 Обозначение пассивных параметров в электрических и тепловых процессах

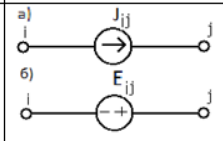
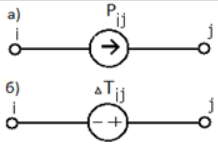
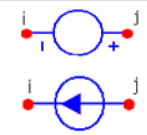
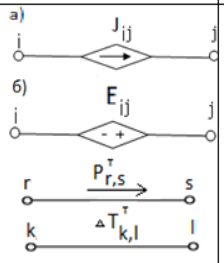
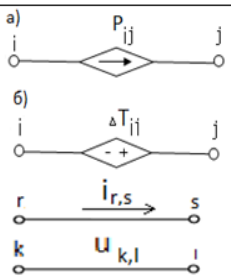
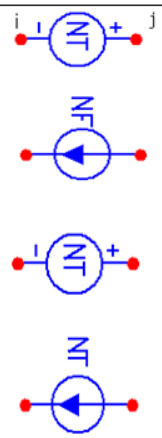
Электрический процесс		Тепловой процесс		Унифицированный процесс	
Типы ветвей	Изображение ветвей	Типы ветвей	Изображение ветвей	Типы ветвей	Изображение ветвей
Независимые источники а) тока б)напряжения		Независимые источники а)тепловой мощности б)разности температур		Независимые источники а)напряжения б)тока	
Зависимые источники а) тока б)напряжения	 $J_{ij} = J_{ij}(P_{rs})$ $E_{ij} = E_{ij}(\Delta T_{rs})$ $J_{ij} = J_{ij}(P_{kl})$ $E_{ij} = E_{ij}(\Delta T_{kl})$	Зависимые источники а)тепловой мощности б)разности температур	 $P_{ij} = P_{ij}(i_{rs})$ $\Delta T_{ij} = \Delta T_{ij}(i_{rs})$ $P_{ij} = P_{ij}(U_{kl})$ $\Delta T_{ij} = \Delta T_{ij}(U_{kl})$	Зависимые источники напряжения а)от напряжения б)от тока Зависимые источники тока а)от напряжения б)от тока	

Рис. 2 Обозначение активных параметров в электрических и тепловых процессах

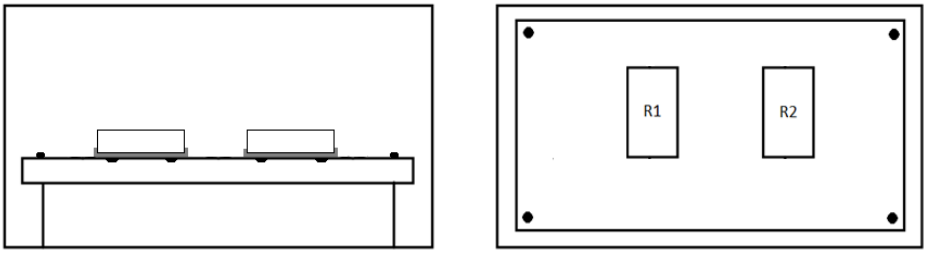


Рис. 3. Пример тестовой конструкции блока делителя:
а – вид спереди, б – вид сверху

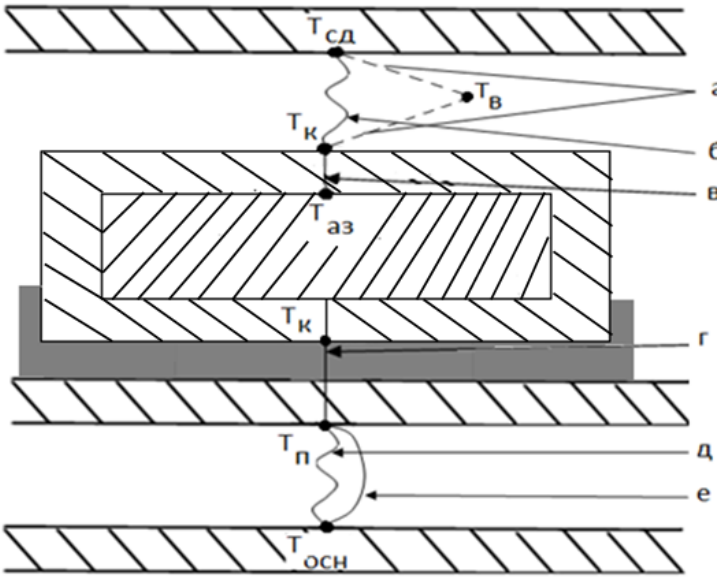


Рис. 4. Условное изображение конструкции блока делителя напряжения (изображен один резистор из делителя)

- Улучшение электрических характеристик.
- Повышение технологичности.
- Повышение ремонтопригодности.
- Снижение себестоимости.

В технологии поверхностного монтажа, как правило, применяются два метода пайки: пайка оплавлением припойной пасты и пайка волной. На этом рисунку изображен метод пайки оплавлением припойной пасты, при такой пайке используют последовательность операции:

- Нанесение паяльной пасты.
- Установка компонентов.
- Пайка оплавлением.

Очевидные преимущества поверхностного монтажа приводят к постоянному расширению сферы его применения и развитию технологических методов, применяемых в данной технологии.

В рабочем режиме мы видим взаимодействие этого резистора и всех тепловых процессов связанных с ним:

а - тепловое сопротивление излучения конвекция ($R^{к}_{сд,в}$ и $R^{к}_{к,д}$)

б - тепловое сопротивление излучения ($R^{и}_{к}$,сд) на соседний элемент(крышку)

в - внутреннее тепловое сопротивление ($R^{вн}_{аз,к}$)

г - теплопроводность через пасту ($R^{т}_{к,п}$)

д - теплопроводность стоящего воздуха ($R^{т}_{п,осн}$) между платой и основанием блока

е - тепловое сопротивление излучения с платы на основание ($R^{и}_{п,осн}$).

Во время функционирования электрической схемы выделяется тепловая мощность на каждом радиоэлементе. Мощности тепловыделений радиоэлементов в процессе функционирования электрической схемы необходимы в качестве входных воздействий тепловой модели. С помощью источника тока управляемого током другой ветви мощность, выделяемая на электрическом радиоэлементе, передается с помощью управляемого источника в тепловую часть единой модели.

Для моделирования с помощью программы Micro-Cap требуется вначале нарисовать электрическую схему делителя напряжения с двумя резисторами R10 и R8(рис.5). Два зависимых источника напряжения E1 и E2 необходимо для того, чтобы отразить влияние температуры корпусов резисторов R10 и R8. Это влияние приводит к увеличению исходящих значений сопротивлений R10 и R8 согласно уравнений:

$$R_{10}^{T_{10}}=R_{10}^{25}(1+\alpha_{R_{10}}(T_{10}-25)),\ R_{8}^{T_{8}}=R_{8}^{25}(1+\alpha_{R_{8}}(T_{8}-25)),$$

где R_{10}^{25}, R_{8}^{25} - значения сопротивлений при температуре их корпусов 25°C

R_{10}^{25}, R_{8}^{25} - значения сопротивлений R10 и R8 при нагреве резисторов во время работы электрической схемы.

$\alpha_{R_{10}}$, $\alpha_{R_{8}}$ - температурные коэффициенты сопротивлений резисторов R10 и R8.

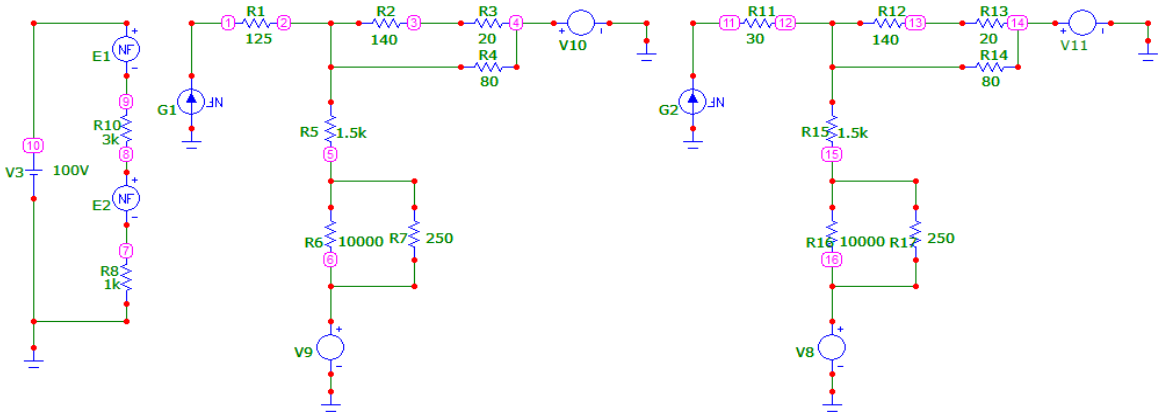


Рис. 5. Электротепловая схема делителя напряжения

Мощности тепловыделений радиоэлементов в процессе функционирования электрической схемы необходимы в качестве входных воздействий тепловой модели. С помощью источника тока управляемого током другой ветви мощность, выделяемая на электрическом радиоэлементе, передается с помощью управляемого источника в тепловую часть единой модели. На рис. 6 показано под № 1 электрический элемент в виде резистора и под № 2 тепловой источник, находящийся в тепловой части моделирования. Мощность Pr,s зависит от тока, проходящего через резистор Ri,j . Поэтому для передачи этих тепловыделений необходимо воспользоваться источниками тока зависимыми от тока Pr,s = f(Ii,j), где Pr,s – тепловыделения в радиоэлементе Ri,j.

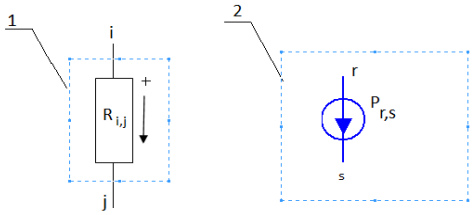


Рис. 6. Источник тока, управляемый током в изображении, принятым в программе Micro-Cap (IofI).

Объединение электрической и тепловой модели с помощью зависимого источника тока в программе Micro-Cap. В Micro-Cape источник тока называется зависимым, а в нашем случае при объединении тепловой модели с электрической зависимый источник тока на основании электротепловой аналогии является мощностью тепловыделения в резисторе Ri,j.

С помощью этого метода можно отказаться от программы теплового моделирования и воспользоваться одной программой моделирования схем и соединить электрическую с тепловой моделью

В результате электротеплового анализа определяют температуры на всех радиоэлементах. Эти температуры изменяют значения электрических параметров радиоэлементов. Поэтому необходимо установить в общей электротепловой модели связь между узлами тепловой части общей электротепловой моделью с электрическими элементами, которые изменяются от этих температур. Здесь необходимо использовать источник напряжения, управляемый напряжением (VofV). На рис. 7 показано под № 1 зависимый источник напряжения, управляемый напряжением, который позволяет передавать температуру радиоэлемента полученного в узле m в электрическую модель. Температура в узле в соответствии с аналогией передается в электрическую часть в

виде напряжения. Под № 2 показано тепловое сопротивление температура с которого передается в электрическую модель.

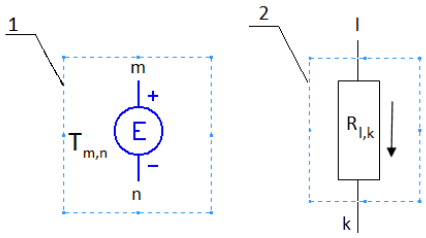


Рис. 7. Зависимый источник напряжения, управляемый напряжением (VofV).

Литература

1. Прусаков М.И., Электротепловое моделирование ЭРЭ и радиотехнических устройств./Труды Международной конференции и Российской научной школы." Системные проблемы надежности, качества, математического моделирования и инфотелекоммуникационных технологий в инновационных проектах (Инноватика 2012)". Москва 2012, с. 10 - 12.

2. Амелина М.А., Амелин С.А., Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8., М.: Горячая линия - Телеком, 2007, с. 1 - 464.

МОЩНЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ АНАЛОГОВЫЕ КОММУТАТОРЫ – ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ АНАЛОГИ РЕЛЕ 2607КП1АТ, 2607КП1БТ

Поярков В.Н., Кшенский О.Н.
ОАО «Болховский завод полупроводниковых приборов»

В данной работе описаны результаты разработки мощных двухканальных оптоэлектронных аналоговых коммутаторов в керамическом корпусе, которые являются инновационными твердотельными аналогами реле 2607КП1АТ, 2607КП1БТ.

Powerful optoelectronic analog switches - firmly higher analogues relay 2607КП1АТ, 2607КП1БТ. Poyarkov V.N., Kshenskiy O.N.

In this work describes the results of the development of powerful dual-channel opto-electronic analog switches in ceramic housing, which are the innovative solid-state counterparts relay 2607КП1АТ, 2607КП1БТ.

Новый класс полупроводниковых приборов – оптоэлектронные коммутаторы - твердотельные аналоги реле, возникший сравнительно недавно (в начале 1990-х годов), уверенно занял свою нишу на рынке аналоговых коммутаторов и переключателей. Отсутствие необходимости во внешнем источнике питания, срабатывание по мощности управляющего сигнала, допустимое число срабатываний, исчисляемое миллионами – все эти преимущества нового класса приборов позволили ему за короткий промежуток времени заменить ряд традиционных релейных переключателей в устройствах как коммерческого, так и военно-космического назначения.

В период 2009 – 2013 г. по заявке ряда предприятий – изготовителей аппаратуры для искусственных спутников Земли (ИСЗ) в ОАО «Болховский завод полупроводниковых приборов» были разработаны мощные двухканальные оптоэлектронные аналоговые коммутаторы в керамическом корпусе – твердотельные

аналоги реле 2607КП1АТ, 2607КП1БТ. Внешний вид, габаритный чертеж приборов и их принципиальная схема приведена на рис.1, 2, 3 соответственно; основные характеристики указаны в таблице 1.

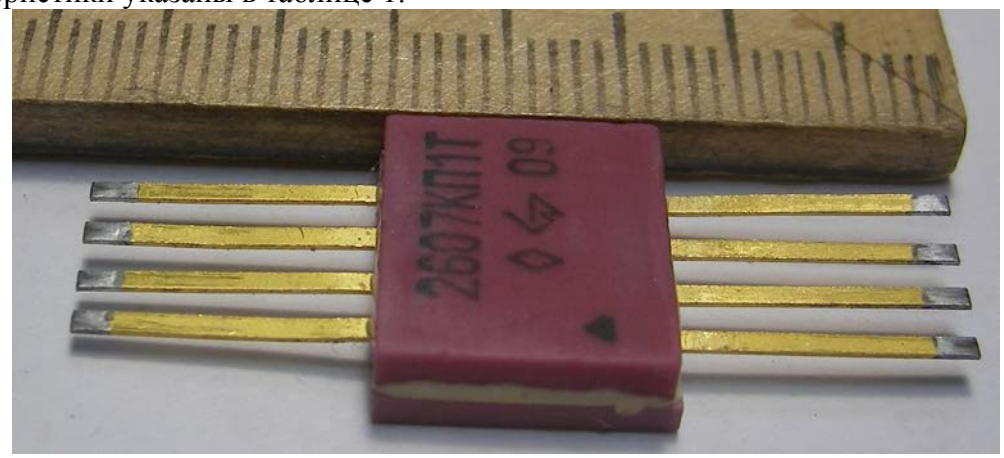


Рис.1 Внешний вид оптоэлектронных коммутаторов 2607КП1АТ, 2607КП1БТ.

Принцип работы микросхем – классический, неоднократно описан в литературе [1]. Светодиод D1 освещает цепочку фотодиодов D2÷D23, которая формирует фото э.д.с., достаточную для открывания мощного выходного транзистора Т5. На фототранзисторах Т1, Т2 и транзисторах Т3,Т4 сформирована схема ускорения разряда емкости затвора транзистора Т5, существенно улучшающая время выключения прибора. Второй канал микросхемы работает аналогичным образом.

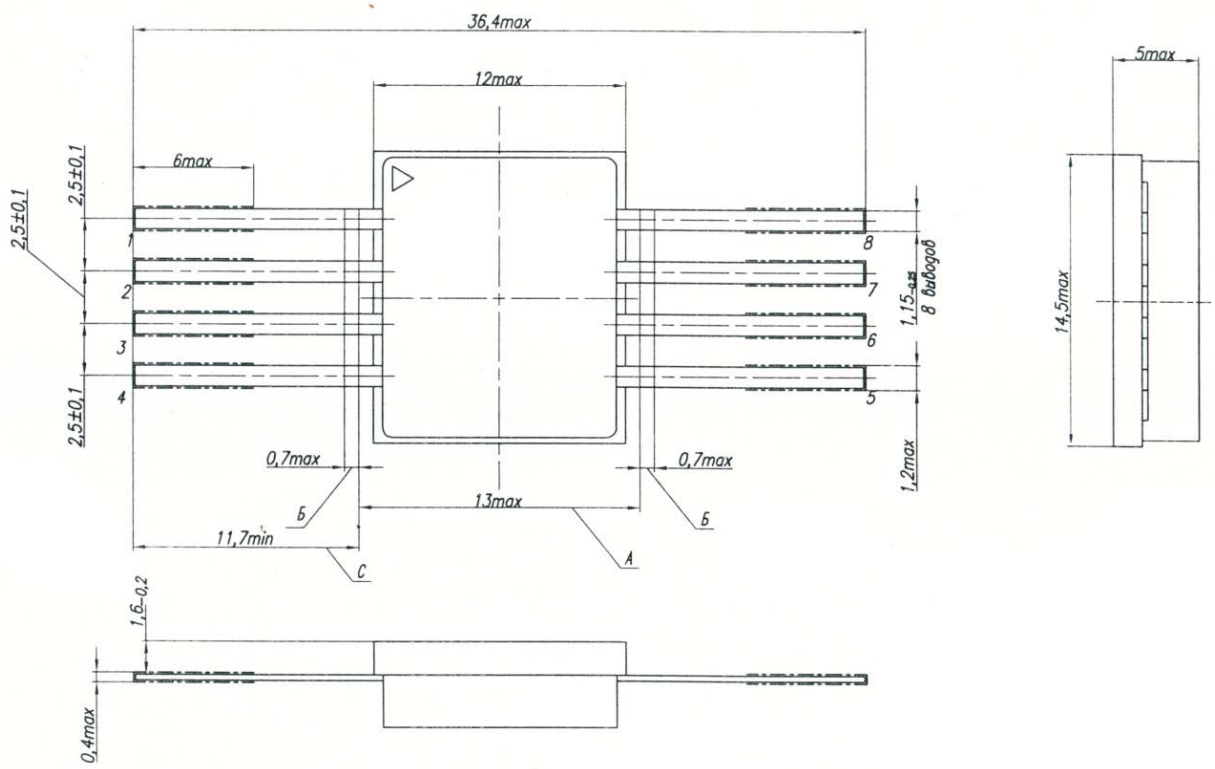


Рис.2. Габаритный чертеж оптоэлектронных коммутаторов 2607КП1АТ, 2607КП1БТ.

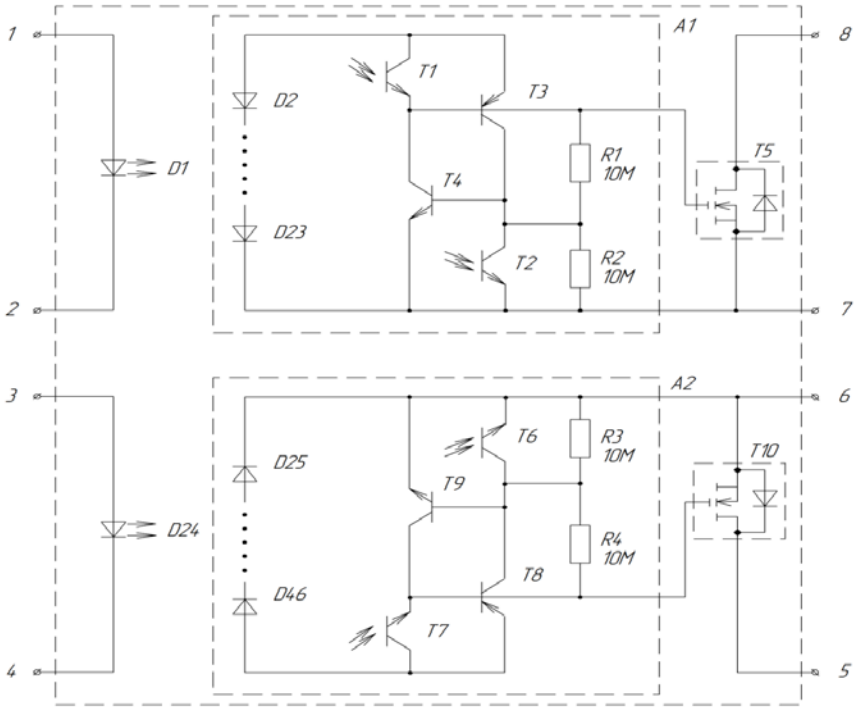


Рис.3. Принципиальная схема оптоэлектронных коммутаторов 2607КП1АТ, 2607КП1БТ.

Микросхемы можно применять и для коммутации переменного тока. В этом случае объединяются выводы 2 – 3 и 6 – 7. При включенных светодиодах D1, D24 путь протекания выходного тока следующий: при положительном потенциале на выводе 8 ток течет через открытый транзистор Т5 и встроенный в ДМОП-транзистор Т10 диод к выводу 5, имеющему отрицательный потенциал. При смене полярности на выводах 5 и 8 протекание тока происходит через открытый транзистор Т10 и встроенный диод транзистора Т5.

Отличительная особенность разработанных коммутаторов заключается в достаточно большой коммутируемой мощности при небольших габаритных размерах. Другой характерной чертой приборов является компоновка каналов, позволяющая применять их для коммутации как постоянного, так и переменного тока, а также включать каналы параллельно. Примеры возможной коммутации каналов приведены на рис.4. Также следует отметить высокое гарантированное напряжение гальванической развязки «вход-выход» – 1500В; для большинства приборов в керамических корпусах оно не превышает 500В.

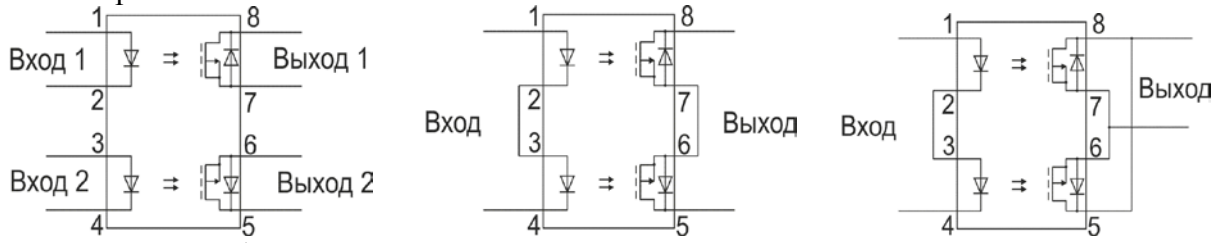


Рис.4. Схемы включения оптоэлектронных коммутаторов 2607КП1АТ, 2607КП1БТ для коммутации: а – постоянного тока (два канала), б - переменного тока, в – постоянного тока (параллельное соединение каналов).

Ближайшим зарубежным аналогом микросхемы является твердотельное реле LD00CM ф.Teledyne Relays, США [2]. Принципиальным отличием разработанных приборов от аналога является разнесение коммутируемого тока на два канала, что позволяет получать большую гибкость в применении, существенно меньшие габариты, а также в полтора раза больший максимальный коммутируемый ток при параллельном соединении каналов микросхемы.

Типовые значения параметров оптоэлектронных коммутаторов имеют достаточные запасы. На рис.5 приведена типовая входная вольтамперная характеристика.

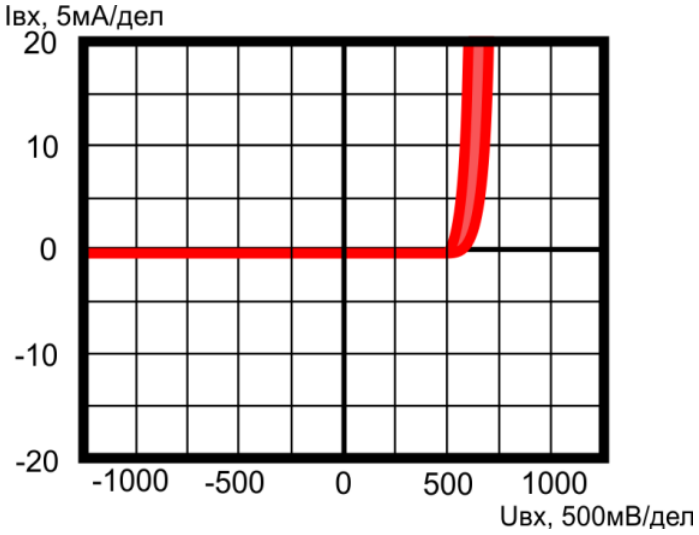


Рис.5. Типовая входная вольтамперная характеристика оптоэлектронных коммутаторов 2607КП1АТ, 2607КП1БТ (один канал).

На рис.6 и 7 представлены выходные характеристики коммутаторов в закрытом и открытом состоянии соответственно.

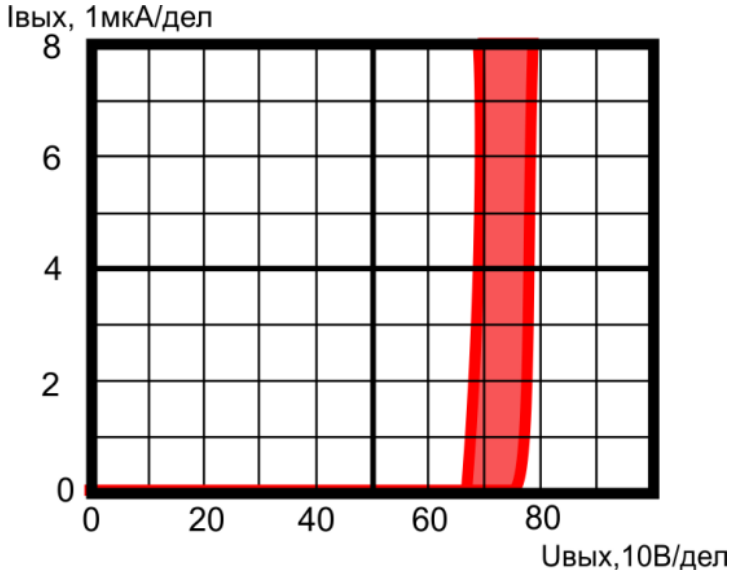


Рис.6. Типовая выходная вольтамперная характеристика оптоэлектронных коммутаторов 2607КП1АТ, 2607КП1БТ в закрытом состоянии (один канал).

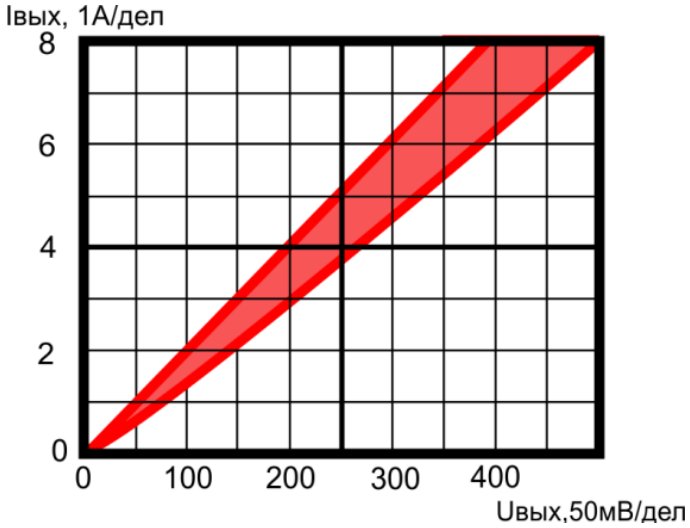


Рис.7. Типовая выходная вольтамперная характеристика оптоэлектронных коммутаторов 2607КП1АТ, 2607КП1БТ в открытом состоянии (один канал).

Разработанные приборы имеют рабочий диапазон температур минус 60 ÷ +125^{0}С. Проведены соответствующие назначению приборов испытания на воздействие внешних и специальных воздействующих факторов. Освоение коммутаторов в серийном производстве запланировано на текущий год, но они уже применяются в серийно выпускаемой аппаратуре.

Таблица 1. Основные электрические параметры оптоэлектронных коммутаторов 2607КП1АТ, 2607КП1БТ (один канал) при $T_{окр.среды}$ = +25±10˚С.

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	Норма		Режимы измерения
		не менее	не более	
Входное напряжение, В	$U_{ВХ}$	1,0	1,5	$I_{ВХ}$ =10 мА
Напряжение изоляции, В	$U_{ИЗ}$	1500	-	$I_{УТ} \leq 1$ мкА, t=5 с
Ток утечки на выходе, мкА	$I_{УТ.ВЫХ}$	-	5,0	$U_{ВХ}$ =0,8 В, $U_{КОМ}$ = 60 В
Выходное сопротивление в открытом состоянии, Ом	$R_{ОТК}$	-	0,06(АТ) 0,08(БТ)	$I_{ВХ}$ = 10 мА, t ≤ 30 мс, $I_{КОМ}$ = 7,5 А
Сопротивление изоляции, Ом	$R_{ИЗ}$	10^9	-	$U_{ИЗ}$=1500 В
Время включения, мс	$t_{ВКЛ}$	-	20,0	$I_{ВХ}$ = 10мА, $U_{КОМ}$ = 24 В, $R_Н$ = 20 Ом
Время выключения, мс	$t_{ВЫКЛ}$	-	5,0	$I_{ВХ}$ = 10 мА, $U_{КОМ}$ = 24 В, $R_Н$ = 20 Ом

Примечание. При коммутации переменного тока по схеме рис.4б значения Uвх и Rотк удваиваются, при параллельном соединении каналов по схеме рис.4в Uвх удваивается, а Rотк уменьшается в два раза.

Литература

1. Твердотельные реле производства International Rectifier – Компоненты и технологии, № 3, 2004.
2. Teledyne Relays Catalog, http://www.teledynerelays.com/

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЯТОРОВ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛАТЕНТНЫХ ДЕФЕКТОВ В АППАРАТУРЕ.

С.М.Лышов , И.А.Иванов, С.У.Увайсов.
Москва, МИЭМ ВНИУ ВШЭ

Основой разработанной методики неразрушающего контроля и диагностирования дефектов бортовой космической аппаратуры заключается в использование встроенного эмулятора, гармонических тестовых воздействий, непосредственно в корпус бортового космического аппарата. Что в свою очередь убирает необходимость в использовании, для подачи вибрации, громоздких вибрационных стендах и позволяет производить контроль и диагностику непосредственно в производственном цеху или на месте установки бортовой аппаратуры, неразрушающим способом.

Kesearch of opportunities of use of emulators of vibration influences for detection of latent defects in the equipment. S.M.Lyshov, I.A.Ivanov, S.U.Uvaysov.Moscow, MIEM, HSE

Basis of the developed technique of nondestructive control and diagnosing of defects of the onboard space equipment consists in use of the built-in emulator, harmonious test influences, directly in the case of the onboard spacecraft. That in turn cleans need for use, for giving of vibration, bulky vibration stands and allows to make control and diagnostics directly in production shop or on an installation site of the onboard equipment, nondestructive way.

В настоящее время к узлам электронных средств предъявляется высокие требования по надежности. Космические аппараты широко применяются не только в военных целях, но и в решении гражданских технических задач, это привело к увеличению общего количества ежегодных запусков. Для достижения показателей надежности, заданных разработчиками конструкций бортовых радиотехнических устройств, оборудование изготавливают с большим запасом прочности. Данные высокие требования обусловлены повышенным влиянием внешних факторов при доставке радиотехнического оборудования на орбиту и последующей эксплуатации.

Механические воздействия является основным внешним фактором, которые требуют большего запаса прочности конструкции. Прочность достигается, как правило, увеличением толщины элементов, дополнительных ребер жесткости, использование прочных материалов и использование других конструктивных решений, которые приводят к утяжелению аппаратуры в целом.

Механические повреждения носят доминирующий характер, по сравнению с нарушением функционированием и уходом электрических параметров. В результате

превышения предельных значений механических воздействий возможно появление конструктивных дефектов. Конструктивные дефекты при эксплуатации могут создавать повышенный уровень акустических колебаний и изменять амплитудно-частотные характеристики блока, что приводит к сдвигу резонансных частот.

В настоящее время в различных областях науки используются различные методы неразрушающего контроля. Но для космической аппаратуры пока основным способом выявления дефектов является разрушающий физический анализ. Предполагающий вскрытие конструкций и визуальный осмотр. Корпуса для бортовой космической аппаратуры изготовляются герметичными и их вскрытие крайне не желательно, следовательно, на сегодняшний день разработка метода неразрушающего контроля является актуальной.

Повышение надежности конструкции бортовых радиотехнических устройств космической аппаратуры может быть достигнуто за счет обнаружения предвестников и своевременного устранения причин отказов на основе анализа амплитудно частотных характеристик.

Одним из видов неразрушающего контроля и диагностирования бортовой космической аппаратуры является вибродиагностика. Метод вибродиагностики заключается в подачи гармонических колебаний, с помощью вибростенда, на исследуемый объект и снятие амплитудно частотный характеристик с датчиков установленных непосредственно в исследуемый космический аппарат. Из полученной, в ходе проведения диагностики, амплитудно-частотной характеристики производится выявление дефекта. Основным минусом данного метода является использование в качестве возбудителя гармонических колебаний громоздкого вибростенда. Поэтому поставлена задача разработка метода неразрушающего контроля и диагностирования без использования вибростенда.

Разработанный макет для проведения исследования по диагностированию дефектов конструкции бортовой аппаратуры, представляет собой печатную плату с установленными на ней ЭРИ и двумя пьезоэлементами, один из них является излучателем гармонических колебаний, а второй вибродатчиком. Усилитель сигнала по напряжению, персональный компьютер с необходимым программным обеспечением.(Рис.1.)

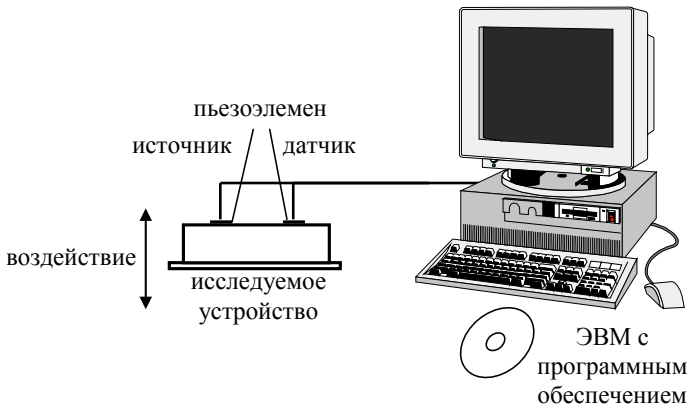


Рис. 1. Структурная схема испытательного стенда для снятия АЧХ.

В отличие от классической схемы вибростенда (Рис.2), в методике со встроенным источником колебанием, генератором звукового сигнала и вольтметром выступает звуковая карта персонального компьютера. Пьезоэлемент заменят громоздкий вибростенд и вибродатчик. Уменьшение габаритов стенда дает

возможность проводить диагностику непосредственно в производственном цехе или на месте установки бортовой аппаратуры.

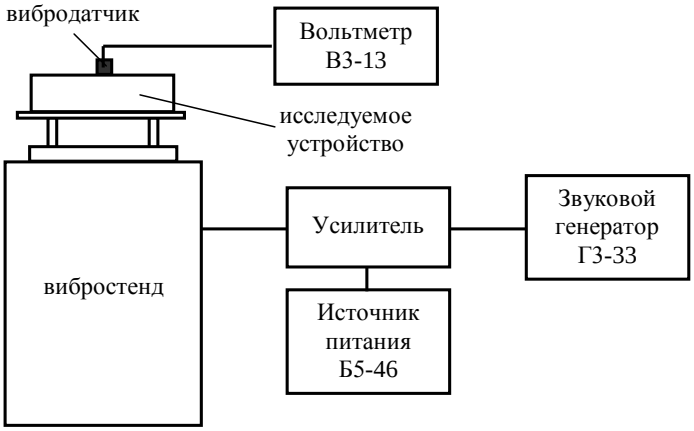


Рис. 2. Классическая схема стенда для вибродиагностики.

Для изучения влияния нарушения целостности конструкции по АЧХ была изготовлена печатной платы, с установленными электрорадиоизделиями. (Рис.3)



Рис. 3 Экспериментальная установка.

Конструкция экспериментальной установки представляет собой основание, к которому с помощью 4-х стоек крепится печатная плата. На плате установлены два пьезоэлемента ЗП-22, подстроечный резистор А-1, конденсатор БМТ-2, транзистор 2т809А.

В ходе исследования рассматривались следующие дефекты космической аппаратуры, отсутствие ЭРИ:

А) Отсутствие резистора.

Б) Отсутствие конденсатора.

Для проведения исследования был разработана методика проведения экспериментальных исследований, которая включает в себя следующие шаги:

- Исследуемая печатная плата, с установленными электрорадиоизделиями, привинчивается к шпилькам на основании.

-Вывод создающего вибрацию пьезоэлемента подсоединяем к усилителю, вывод второго пьезоэлемента выполняющего функцию вибродатчика подсоединяем к входу звуковой карты персонального компьютера, а к выходу усилитель сигнала. На рисунке 5 представлена экспериментальная установка в сборе.

- Производим подключение все выводов к персональному компьютеру
- Напряжение на усилитель выставляем равное 22 вольтам при частоте сигнала 500 Гц.
- С помощью программного комплекса VIRTINS Multi-Instrument 3.2на персональном компьютере запускаем комплекс испытаний. Комплекс испытаний включает изменения частоты сигнала от 50 до 2000 Гц с шагом 10 Гц. В отчете испытания, получаем АЧХ в таблицы.
- По значения АЧХ из таблицы строем графики и определяем резонансные частоты.
- Отключаем усилитель, отсоединяем выводы от персонального компьютера и усилителя.
- Отвинчиваем гайки со шпилек, снимаем печатную плату.
- В конструкцию платы вносим один из перечисленных дефектов из таблицы 1.
- После внесения дефекта устанавливаем плату обратно на шпильки и завинчиваем гайки.
- Повторяем п.п.3-10. Для различных дефектов.\

Результат экспериментального исследования.



Рис.4. АЧХ печатной платы с дефектом: отсутствие резистора.

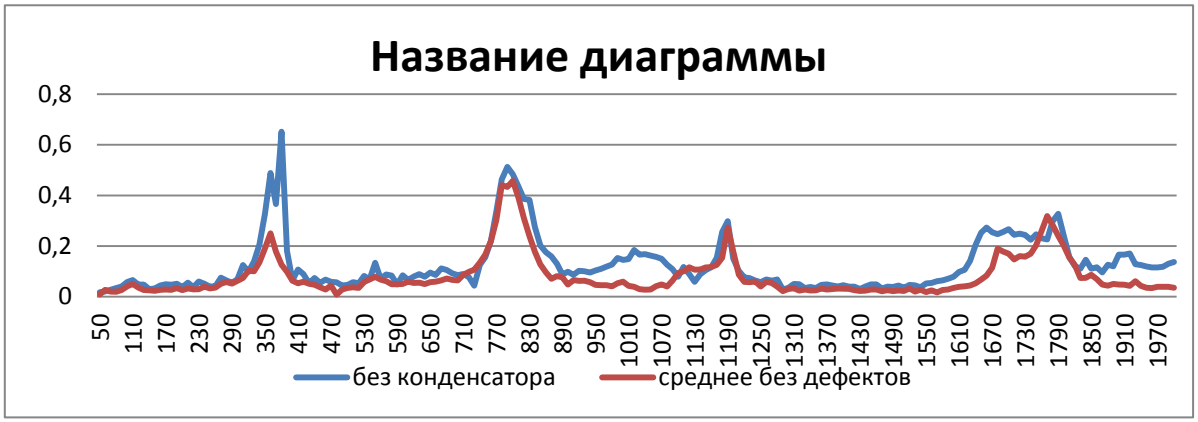


Рис.5. АЧХ печатной платы с дефектом: отсутствие конденсатора.

В ходе работы были проведены эксперименты, позволившие определить возможность контроля конструкций печатных плат по АЧХ. В связи с тем, что доступ к печатным платам зачастую ограничен, был проведён анализ конструкции бортовых устройств. По итогам проведенного анализа разработана печатная плата. Для

проведения натурных экспериментов был изготовлен макет. Натурные эксперименты показали изменение АЧХ при внесении неисправностей в конструкцию. Так же было обнаружено, что большое значение имеет амплитуда сигнала подаваемого на излучатель колебаний (пьезоэлемента).

Проведённые эксперименты показали возможность идентификации дефектов конструкции печатной платы по амплитудно-частотным характеристикам.

Литература.

- Иванов И.А., Увайсов С.У., Кошелев Н.А. Методика обеспечения диагностируемости электронных средств космических аппаратов по ранговому критерию на ранних этапах проектирования // Качество. Инновации. Образование. 2012. № 1. С. 60-62.

- Увайсов С.У., Абрамешин А.Е., Лышов С.М., Дубоделова Д.А. Обеспечение эксплуатационной надежности космической аппаратуры неразрушающими методами виброударной диагностики // В кн.: Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. / Под общ. ред.: Н.К. Юрков. . Т. 2. Пенза: Пензенский государственный университет, 2012. С. 454-456.

- Увайсов С.У., Иванов И.А., Увайсов Р.И. Показатели контролепригодности радиоэлектронной аппаратуры // Мир измерений. 2008. № 3. С. 47-51.

- Тумковский С.Р., Увайсов С.У., Иванов И.А., Увайсов Р.И. Виброакустический контроль бортовой космической аппаратуры // Мир измерений. 2007. № 12. С. 4-7.

- Вибрационная диагностика. Измерительная информация. Анализ и первичная обработка [Текст] : разговорник / А.Г.Толстов. - М. : [б. и.], 2001. - 62 с. : ил. - (Газовая пром-сть.Серия.Транспорт и подземное хранение газа:Обзор.информ. / Информ.-реклам.центр газовой пром-сти). - 160 экз. - Б. ц.

- Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник В. В. Клюев и др. -М.: Машиностроение, 1995.-487 с.

- Млицкий В.Д., Беглария В.Х., Дубицкий Л.Г. Испытание аппаратуры и средства измерений на воздействие внешних факторов. М.: Машиностроение, 2003 – 567 с

Алфавитный указатель

Aksenov, S. A.	510	Денисевич Д. С.	31
Fabík, R.	510	Дергунов Н.В.	63, 88
Kubina, T.	510	Домрачева А.Б.	96
Palaguta K.A.	285	Домрачева А.Б.	94
Абрамешин А.Е.	18, 527	Дягилев В.И.	99, 184
Абрамов А.Ю.	5, 7	Дятлов М.Н.	111, 114, 117
Азаматов П.А.	53	Жаднов В.В.	123, 119
Азаров В.А.	9	Желтушкин Л.С.	225
Азизов Р.Ф.	23	Журавлев И.Н.	228
Акбашев Б.Б.	172	Затылкин А.В.	129, 135
Алейников А.А.	106	Земко М.	505
Алексахин А.В.	12	Золин М.В.	390
Алехин С.Н.	225	Иванов А.В.	143
Аминев Д.А.	18, 23	Иванов И.А.	518, 531, 544
Андреев Е.А.	481, 489, 493, 496	Иванов О.А.	151
Андреевская Т.М.	527	Ивашов Е.Н.	436
Артюхова М.А.	26	Ильиных В.В.	179
Багмутов В. П.	29, 31	Ингеманссон А. Р.	53, 109, 223
Балюк Н.В.	172	Истратов А.Ю.	153
Белов А.В.	35	Кавалла Р.	420
Беляев Э.И.	309, 410	Калужский Д, Л.	352
Беркетов Г.А.	41	Карапузов М.А.	484
Беркетов Г.А.	50	Карпов А.В.	164, 167
Бобин А.В.	9, 153	Кечиев Л.Н.	172, 228
Бондарев А. А.	53, 109, 223	Кирюханцева В.О.	381
Босенко В.Н.	55	Ключников А.В.	179
Буйвол П.А.	410	Кожухов М.В.	320
Бушмелев П.Е.	63, 88	Козачухненко И.Н.	109
Бушмелева К.И.	63, 88, 248	Коковин В.А.	99, 184, 298
Вандышев А.С.	69	Коробков С.А.	151
Внуков А.А.	71, 232	Коровин Я.С.	190, 196
Воронцова А. Н.	217	Королева Е.И.	202
Воротников И.Н.	481, 489, 493, 496	Корпала Г.	420
Годек Й.	505	Корпачев М.Ю.	436
Гирко В.В.	79	Косенко Е.Ю.	316
Головко Д.В.	41, 50	Косенко О.В	205
Голубкин И.А.	85	Косогоров А. В.	31
Голушко Д.А.	129	Костомаров П.С.	436
Горячев Н.В.	433	Кофанов ЮН.	534
Гудков Ю.И.	119	Крайнев Д. В.	53, 109, 223

Крючков Н.М.	228	Пилков А. В.	326
Кукло Е.Ю.	293	Плюснин И.И.	63, 88
Курзуков Г.В.	298	Полесский С.Н.	26, 484
Кшенский О.Н.	539	Полянчиков Ю. Н.	53, 109, 215, 217, 220, 223
Лапшин Э.В.	478	Полянчикова М. Ю.	215, 217
Лапшинов Б.А.	12	Попов Д.А.	451
Лесных В.О.	7	Попов И.С.	329
Лисенков М.А.	232	Попов С.Е.	332
Лисицын И.Ю.	18	Поярков В.Н.	539
Лисова Е.А.	237	Прусаков М.И.	534
Лушпа И.Л.	443	Рыгин А. В.	29
Лысенко А.В.	242	Рындин Д.А.	129, 135
Лышов С.М.	531, 544	Савва Т.Ю.	337
Макарова И.В.	309, 410	Савельев И.И.	35, 336
Макаровский П.Ю.	248	Савин Д.А.	9
Маков П.В.	251	Савин Ю.В.	228, 531
Мамонтов А.В.	253, 258	Сазонов В.В.	345, 349
Манохин А.И.	264	Сапсалев А.В.	352
Мартюков А.С.	441	Сергеев А. С.	361
Мастепаненко М.А.	481, 489, 496	Середа С.Н.	164
Матюшина А.В.	302	Сивагина Ю.А.	462
Медведева А.Л.	94	Синельников А.О.	366
Микрюков А.А.	41, 50	Скакунов В.Н.	5, 7, 106
Молоканов Д.Ю.	274	Скворцов В.А.	370
Монахов М.А.	443	Скоробогатько А.А.	373
Морозова Н.Р.	278	Соколов П. А.	381
Мухаметдинов Э.М.	309	Соловьева Т.И.	35
Нгуенг Тхань Хунг	223	Таньков Г.В.	135
Невзоров Ю.В.	499	Терцик А.	420
Нефедов В.Н.	253, 258	Тихменев А.Н.	385
Нефедьев А.И.	210, 212	Тодорев А.Н.	111, 114, 117
Николаев Д.П.	447	Токарев Д. С.	220
Новиков О.В.	280	Тройков С.М.	390
Номерчук А.Я.	316	Тув А.Л.	119
Номерчук Д.Я.	316	Увайсов С.У.	18, 23, 63, 99, 184, 531, 544
Норченко П. А.	220	Укустов С.С.	395
Палагута К.А.	289, 390	Усцелемов В.Н.	400
Паршев С. Н.	29, 31	Фатхуллин Р.Р.	405
Пастухов В.В.	352	Федин Д.Н.	431
Пашев Р.Ю.	527	Федосеев С.В.	41
Петросянц К.О.	320, 451	Федосеев С.В.	50
Петрянин Д. Л.	459	Филимонов А.В.	5

Филиппова Л.Б. 408
Фокин В.М. 443
Фомина И.А. 499
Хабибуллин Р.Г. 309, 410
Харитонов И.А. 451
Хисамутдинов М.В. 190
Хлебников П.А. 35
Чеканин А.В. 418
Чеканин В.А. 418
Чертков М.С. 179
Чумаченко И.В. 106
Шалашов С.В. 179
Шаталов А.Ф. 493, 496
Шаталов Н.А. 493
Шиманов М.Л. 420
Широков Л.А. 289
Шраим Л.М.А. 71
Шубникова И.С. 431
Щербаков М.А. 345, 349
Щербатов И.А. 85
Юрков Н.К. 433, 470
Якимов А.Н. 478

ОГЛАВЛЕНИЕ

Абрамов А.Ю., Скакунов В.Н., Филимонов А.В.
ПРИМЕНЕНИЕ QR-КОДОВ В СИСТЕМЕ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ .. 5

Абрамов А.Ю., Скакунов В.Н., Лесных В.О.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ПО ДАННЫМ СО СТЕРЕОКАМЕР 7

Азаров В.А., Савин Д.А., Бобин А.В.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЦВЕТОВЫХ ОТТЕНКОВ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ 9

Алексахин А.В., Лапшинов Б.А.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕЗКИ СЛИТКОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ 12

Абрамешин А.Е., Аминев Д.А., Лисицын И.Ю., Увайсов С.У.
ИСПЫТАНИЯ БОРТОВОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ВИБРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ 18

Азизов Р.Ф., Аминев Д.А., Увайсов С.У.
ПРОГРАММНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ УЗЛА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СЕТИ 23

Артюхова М.А., Полесский С.Н.
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛАХ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ 26

Багмутов В. П., Паршев С. Н.,. Рыгин А. В
СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ 29

Багмутов В.П., Паршев С.Н., Денисевич Д. С., Косогоров А. В.
ФОРМИРОВАНИЕ РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ 31

Белов А.В., Соловьева Т.И., Хлебников П.А. Савельев И.И.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КОЛЬЦЕВЫХ ЛАЗЕРОВ 35

Беркетов Г.А., Микрюков А.А., Федосеев С.В., Головко Д.В.
МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 41

Беркетов Г.А., Микрюков А.А., Федосеев С.В., Головко Д.В.50
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОТОЧНО-ПОСТОВОГО МЕТОДА 50

Бондарев А.А., Крайнев Д.В., Ингеманссон А.Р., Полянчиков Ю.Н., Азаматов П.А.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 20ХН С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ 53

Босенко В.Н.
МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СРОКОВ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА НЕФТЕПРОВОДА 55

Бушмелев П.Е., Плюснин И.И., Бушмелева К.И., Увайсов С.У., Дергунов Н.В.
ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИИ MeshLogic ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ 63

Вандышев А.С.
ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ СИСТЕМА АСПИРАЦИИ НА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ 69

Внуков А.А., Шраим Л.М.А.
ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ТОРМОЖЕНИЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА 71

Гирко В.В.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ КОМПЛЕКТОВАНИЯ РАБОЧИХ МЕСТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ИННОВАЦИОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ 79

Голубкин И.А., Щербатов И.А.
ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ ИНСПЕКЦИИ ГАЗОПРОВОДОВ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ 85

Дергунов Н.В., Бушмелева К.И., Плюснин И.И., Бушмелев П.Е.
МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТОПОЛОГИИ MESH..... 88

Домрачева А.Б., Медведева А.Л.
АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К СРАВНЕНИЮ РАЗНОВРЕМЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ..... 94

Домрачева А.Б.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРОВ ДЕКОНВОЛЮЦИИ В ЗАДАЧАХ «МАШИННОГО ЗРЕНИЯ»..... 96

Дягилев В.И., Коковин В.А., Увайсов С.У.
ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ВЫХОДНЫМ СИНУСОИДАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ..... 99

Алейников А.А., Скакунов В.Н., Чумаченко И.В.
СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ 106

Бондарев А.А., Крайнев Д.В., Ингеманссон А.Р., Полянчиков Ю.Н., Козачухненко И.Н.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 20 С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ 109

Дятлов М.Н., Тодорев А.Н.
ВОЗМОЖНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ САПР НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 111

Дятлов М.Н., Тодорев А.Н.
СОВРЕМЕННЫЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕГКОГО КЛАССА 114

Дятлов М.Н., Тодорев А.Н.
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕГКОГО КЛАССА 117

Гудков Ю.И., Жаднов В.В., Тув А.Л.
ПРИМЕНЕНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ КЛАССА D ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИСТОЧНИКОВ НАПРЯЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ..... 119

Жаднов В.В.
МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ЖИДКОСТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ 123

Затылкин А.В., Голушко Д.А. Рындин Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ РЭС ВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ 129

Затылкин А.В., Таньков Г.В., Рындин Д.А.
ИНДУКЦИОННЫЙ ВИБРОМЕТР С ДАТЧИКОМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ТИПА 135

Иванов А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ Ku-ДИАПАЗОНА..... 143

Иванов О.А., Коробков С.А.
ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТИПОВ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ 151

Истратов А.Ю., Бобин А.В.
РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОГО ЭКСТРАПОЛЯТОРА В СИСТЕМЕ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ИНФОРМАЦИИ 153

Карпов А.В., Середа С.Н.
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ..... 164

Карпов А.В.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ КАМЕР 167

Акбашев Б.Б., Балюк Н.В., Кечиев Л.Н.
ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОТ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ 172

Ильиных В.В., Ключников А.В., Чертков М.С., Шалашов С.В.
УСТРАНЕНИЕ ОШИБОК СДВИГА ФАЗ ДИСБАЛАНСОВ 179

Дягилев В.И., Коковин В.А., Увайсов С.У.
СИЛОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ПОТОКОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ГЕОВИЗОРА..... 184

Коровин Я.С., Хисамутдинов М.В.
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОПЕРАТОРЫ И КОДИРОВАНИЕ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ..... 190

Коровин Я.С.
ОНЛАЙН МОНИТОРИНГ ФОНДА НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ МЕТОДОВ DATA MINING..... 196

Королева Е.И.
АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ..... 202

Косенко О.В.
АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИ РЕШЕНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ..... 205

Нефедьев А.И.
РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕМКОСТНОГО ДЕЛИТЕЛЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ..... 210

Нефедьев А.И.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАРАТОРА ТОКА В СИМУЛЯТОРЕ LTSPICE IV..... 212

Полянчиков Ю. Н., Полянчикова М. Ю.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЙ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВС ХОНИНГОВАНИЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ..... 215

Полянчиков Ю. Н., Полянчикова М. Ю., Воронцова А. Н.
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА БЕЗ СВЯЗКИ НА ЕГО ТВЕРДОСТЬ 217

Полянчиков Ю. Н., Норченко П. А., Токарев Д. С.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ РЕЗАНИИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ 220

Полянчиков Ю. Н., Крайнев Д. В., Ингеманссон А. Р., Бондарев А. А, Нгуенг Тхань Хунг
УЛУЧШЕНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛЕЙ С ОПЕРЕЖАЮЩИМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ..... 223

Желтушкин Л.С., Алехин С.Н.
АВТОБАЛАНСИРОВАЧНОЕ УСТРОЙСТВО ЖИДКОСТНОГО ТИПА ДЛЯ СТИРАЛЬНЫХ МАШИН С ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ОТЖИМОМ..... 225

Журавлев И.Н, Кечиев Л.Н., Крючков Н.М., Савин Ю.В.
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ РЕАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ..... 228

Лисенков М.А., Внуков А.А.
МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ 232

Лисова Е.А.
ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ УСЛУГАМИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ..... 237

Лысенко А.В.
КЛАССИФИКАЦИЯ АМОРТИЗАТОРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ФАСЕТНОЙ СТРУКТУРЫ 242

Макаровский П.Ю., Бушмелева К.И.
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НГДУ «Фёдоровскнефть» ОАО «Сургутнефтегаз» 248

Маков П.В.
ИНФОРМАЦИЯ – ОСНОВОПОЛАГАЮЩАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СОВРЕМЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭРГОНОМИКИ 251

Нефедов В.Н., Мамонтов А.В.
МИКРОВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ САЖЕВЫХ ФИЛЬТРОВ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК 253

Нефедов В.Н., Мамонтов А.В.
ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА БЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 258

Манохин А.И.
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ СУПЕРЭВМ, ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ЮБИЛЕЙНОГО 40 СПИСКА TOP500 264

Молоканов Д.Ю.
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМ 274

Морозова Н.Р.
КОНСТРУКТИВНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЫЛЕОЧИСТКИ В МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ АСПИРАЦИИ 278

Новиков О.В.
ДВУХЭТАПНАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ВЕБ-САЙТА ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 280

Palaguta K.A.
THE SELF-STEERED CAR AS A POSSIBLE WAY TO INCREASE THE SAFETY OF VEHICLES 285

Палагута К.А., Широков Л.А.
ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА АВТОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ 289

Кукло Е.Ю.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ 293

Курзуков Г.В., Коковин В.А.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ 298

Матюшина А.В.
ОЦЕНКА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ 302

Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Беляев Э.И., Мухаметдинов Э.М.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ФИРМЕННОГО СЕРВИСА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПУТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ 309

Номерчук А.Я., Косенко Е.Ю., Номерчук Д.Я.
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА И ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ 316

Петросянц К.О., Кожухов М.В.
SPICE-МОДЕЛИ КРЕМНИЕВЫХ БТ И КРЕМНЕ-ГЕРМАНИЕВЫХ ГБТ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ 320

Пилков А. В.
МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТОТНОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА С АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ БОЛЬШОЙ АПЕРТУРЫ 326

Попов И.С.
ПЕРЕСТРОЙКА РАБОЧИХ ЧАСТОТ В ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКАХ МОБИЛЬНЫХ РРС 330

Попов С.Е.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОГО РИСКА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ 332

Савва Т.Ю.
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНА-ГРАФИКА ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СКОРОПОРТЯЩЕГОСЯ СЫРЬЯ В ХОДЕ РАЗРАБОТКИ АИС 337

Сазонов В.В., Щербаков М.А.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 345

Сазонов В.В., Щербаков М.А.
МЕТОД ЭКСПРЕСС-ФИЛЬТРАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ В ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ 349

Калужский Д, Л., Пастухов В.В., Сапсалев А.В.
СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ ВЫСОКОМОМЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ 353

Сергеев А. С.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ 361

Савельев И.И., Синельников А.О.
ЗЕЕМАНОВСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ГИРОСКОП В РЕЖИМЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ВСТРЕЧНЫХ ВОЛН 366

Скворцов В.А.
МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ 370

Скоробогатько А.А.
МЕТОДИКА ОБЪЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ ПО СТАНДАРТУ МЭК 61131-3..... 373

Соколов П. А., Кирюханцева В.О.
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 381

Тихменев А.Н.
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОЕКТНОЙ ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИ СТРУКТУРНО СЛОЖНОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ 385

Золин М.В., Палагута К.А., Тройков С.М.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВПРЫСКОМ ДЛЯ ОДНОЦИЛИНДРОВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ..... 390

Укустов С.С.
СВЯЗЬ ВАЖНОСТИ ПРОЕКТА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И МЕТРИКИ РЕПОЗИТОРИЯ 395

Усцелемов В.Н.
ПОДХОД К ОЦЕНКИ РИСКОВ ПОДСИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ 400

Фатхуллин Р.Р.
ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СБОРКИ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ОАО «КАМАЗ» 405

Филиппова Л.Б.
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС РАСЧЕТА ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ НАСТРОЙКИ ИНСТРУМЕНТА 408

Хабибуллин Р.Г., Макарова И.В., Беляев Э.И., Буйвол П.А.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ФИРМЕННОГО АВТОСЕРВИСА КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ КЛИЕНТООРИЕНТИРОВАННОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ 410

Чеканин В.А., Чеканин А.В.
МОДЕЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧЕ КОНТЕЙНЕРНОЙ ОРТОГОНАЛЬНОЙ УПАКОВКИ 418

Шиманов М.Л., Терцик А., Корпала Г., Кавалла Р.
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕЙНИТНЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 420

Шубникова И.С., Федин Д.Н.
СИСТЕМА РАСПОЗНОВАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА (ТС) 431

Горячев Н.В., Юрков Н.К.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННОГО ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА 433

Ивашов Е.Н., Корпачев М.Ю., Костомаров П.С.
КОРРЕКЦИЯ ЭФФЕКТОВ ОПТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ В ЛИТОГРАФИИ 436

Мартюков А.С.
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РЕГРЕССИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 441

Монахов М.А., Фокин В.М., Лушпа И.Л.
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КЛАССА «ПРУЖИНЫ» 443

Николаев Д.П.
ОТПИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОДНОГО ВИДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА 447

Петросянц К.О., Харитонов И.А., Попов Д.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТОВ ПРОГРАММ TCAD И HSPICE ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЯЧЕЙКАХ КМОП ИС С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА САМОРАЗГРЕВА 451

Петрянин Д. Л.
СОТОВЫЙ ТЕЛЕФОН КАК МЕТОД АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ 459

Сивагина Ю.А.
СИМПЛЕКСНЫЙ РЕТРАНСЛЯТОР РАДИОСИГНАЛОВ ДЛЯ КОНВЕНЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ 462

Юрков Н.К.
БЕЗОПАСНОСТЬ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 470

Якимов А.Н., Лапшин Э.В.
ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОММУНИКАЦИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С РАДИОКАНАЛАМИ 478

Воротников И.Н., Андреев Е.А., Мастепаненко М.А.
ЕМКОСТНОЙ ДАТЧИК УРОВНЯ 481

Полесский С.Н., Карапузов М.А.
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ИМС СВЕРХБОЛЬШОЙ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ 484

Воротников И.Н., Андреев Е.А., Мастепаненко М.А.
ЕМКОСТНОЙ ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ, ИНВАРИАНТНЫЙ К ИЗМЕНЕНИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЫ 489

Андреев Е.А., Шаталов А.Ф., Воротников И.Н., Шаталов Н.А.
ТЕПЛОБМЕН ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ИГОЛЬЧАТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ 493

Андреев Е.А, Шаталов А.Ф., Воротников И.Н., Мастепаненко М.А.
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ ОБЪЕКТОВ..... 496

Невзоров Ю.В., Фомина И.А.
АНАЛИЗ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА С УЧЕТОМ СТЕПЕНИ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ СВЯЗИ 499

Годек Й., Земко М.
МКЭ МОДЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ ТИТАНОВОЙ ЗАГОТОВКИ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ DEFORM 505

Fabík R., Aksenov S. A., Kubina T.
PROSPECTS OF MATHEMATICAL MODELLING OF HOT ROLLING BASED ON FINITE ELEMENT METHODS 510

Иванов И.А., Кошелев Н.А.
СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНТРОЛЕПРИГОДНЫХ ЭС. МОДУЛЬ 1: ДИАГНОСТИРУЕМЫЕ ЭРЭ..... 518

Абрамешин А.Е., Андреевская Т.М., Пашев Р.Ю
МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МИКРОСХЕМЫ НА ОСНОВАНИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВНУТРЕННИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕСТОВОЙ СТРУКТУРЫ 527

Лышов С.М., Иванов И.А., Увайсов С.У., Савин Ю.В.
РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЛАТЕНТНЫХ ДЕФЕКТОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ. 531

Кофанов ЮН., Прусаков М.И
ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ MICRO-CAP 534

Поярков В.Н., Кшенский О.Н
МОЩНЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ АНАЛОГОВЫЕ КОММУТАТОРЫ – ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ АНАЛОГИ РЕЛЕ 2607КП1АТ, 2607КП1БТ 539

Лышов С.М., Иванов И.А., Увайсов С.У.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЯТОРОВ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛАТЕНТНЫХ ДЕФЕКТОВ В АППАРАТУРЕ. 544

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Материалы

Международной научно-практической конференции

ИННОВАЦИОННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Том 3

Materials of

the International Scientific - Practical Conference

INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES

Part 3

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. 66,7 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