
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



ISSN 2221-951X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего *плюс***

Периодическое научное издание

Серия: Технические науки.

Информатика, вычислительная техника и управление

03(31)/2016

**Пенза
ПензГТУ
2016**

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ

ЖУРНАЛ

«XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс»:
Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос.
технол. ун-та, 2016. – №03(31). – 259 с.

Решением Президиума ВАК при Минобрнауки России № 8/13
от 2 марта 2012 г. журнал включен в Перечень рецензируемых
научных журналов и изданий для опубликования основных
научных результатов диссертаций.



ISSN 2221-951X © Пензенский государственный технологический университет, 2016

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Penza State Technological University

ISSN 2221-951X

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

**"XXI century: Resumes of the Past
and Challenges of the Present plus"**

Scientific Periodical

**Series: Engineering Sciences. Information Science,
Computing Devices and Controlling**

03(31)/2016

**Penza
PenzSTU
2016**

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL
JOURNAL

«XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus». Scientific periodical. – Penza: PenzSTU Publishing House, 2016. – № 03(31). – 259 p.

The journal is included in the List of reviewed scientific journals and editions for publishing principal scientific theses results approved by the Resolution of the Presidium of the Supreme Certification Commission of the Ministry of Education and Science of Russia (№ 8/13, March 2nd, 2012).



Содержание

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОГО ВЫБОРА ПРИ РАЗНОРОДНЫХ УСЛОВИЯХ.....	11
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ОПИНИОН-МАЙНИНГА В ЦЕЛЯХ ИЗУЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ.....	18
© <i>Е.Г. Бершадская, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Л.А. Видясова, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)</i>	
СЕМАНТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОИСК НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ИЛИ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ.....	23
© <i>Л.А. Видясова, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)</i>	
© <i>Д.В. Жук, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)</i>	
АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ, ОБНАРУЖЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ПРИЕМЕ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИМПУЛЬСОВ ТЕМНОВОГО ТОКА ОДНОФОТОННЫМ ДИССЕКТОРОМ.....	28
© <i>Л.А. Албогачиева, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова (г. Грозный, Россия)</i>	
© <i>К.Е. Румянцев, Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОИСКА ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ В РЕЖИМЕ РЕГИСТРАЦИИ ФОТОНОВ.....	36
© <i>Л.А. Албогачиева, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова (г. Грозный, Россия)</i>	
© <i>К.Е. Румянцев, Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)</i>	

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ ПОЛНОГРАДАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	45
© <i>В.В. Брызгалин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРЕЦЕССИОННОГО ДВИЖЕНИЯ УДАЛЕННОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	53
© <i>Д.А. Коркунов, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)</i>	
© <i>В.А. Кочкин, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)</i>	
© <i>А.В. Сакерин, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия)</i>	
АНАЛИТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРИЗНАКОВ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЙ: АНАЛИЗ, СВОЙСТВА, ПРИМЕРЫ	63
© <i>А.А. Сёмов, ООО «КомХэлф» (г. Пенза, Россия)</i>	
МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ПРИЗНАКОВ, ИНВАРИАНТНЫХ К ГРУППЕ ДВИЖЕНИЙ И МАСШТАБИРОВАНИЮ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЯ	71
© <i>Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>А.А. Сёмов, ООО «КомХэлф» (г. Пенза, Россия)</i>	
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА ТРЕХМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С СОКРАЩЕНИЕМ РАЗМЕРНОСТИ	80
© <i>Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Д.А. Голдуева, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>М.А. Мокшанина, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)</i>	
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	
ОБЩИЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ И АГЕНТОВ В СЛУЧАЕ ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЙ АКСИОМ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ	85
© <i>М.Ю. Бабич, АО «НПП «Рубин» (г. Пенза, Россия)</i>	
ФУНКЦИЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА	89
© <i>Ю.А. Башвеев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический Университет (г. Пенза, Россия)</i>	

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТРОЙСТВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ	100
© <i>Ю.А. Башивеев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ	104
© <i>В.О. Дунин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	112
© <i>Ю.Е. Усачев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ИКТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ БИЗНЕСА В РОССИИ	118
© <i>М.С. Афанасьева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Ю.В. Кармышова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	124
© <i>М.А. Бармин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДВУХКООРДИНАТНЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ НАКЛОНОМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ СПЛОШНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ	129
© <i>А. А. Воронцов, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
© <i>Е. А. Будников, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
IP-ЯДРО УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С ИНТЕРФЕЙСОМ AXI-LITE ДЛЯ СВЯЗИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПАМЯТИ	135
© <i>А.В. Бурмистров, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр «Атлас» (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УРОВНЯ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	143
<i>© Е.С. Дёмин, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)</i>	
РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ УРОВНЕМЕРОВ.....	147
<i>© Э.В. Карпухин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>© Е.С. Дементьева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>© В.П. Батаев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
МОДЕЛИ ДАННЫХ АРХИВА КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ.....	153
<i>© Н.П. Будуннов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>© В.В. Пикулин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>© А.П. Ремонтнов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>© В.С. Юранов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>© К.Н. Лысенко, ОАО НПП «Химмаши-Старт» (г. Пенза, Россия)</i>	
СЕТЬ РАДИОМАЯКОВ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ИГР.....	161
<i>© Е.К. Таранцев, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>© С.В. Тумасов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ВОЗМОЖНОСТИ СОХРАНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОГО АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА МАТРИЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ С ПОВЫШЕНИЕМ КОЛИЧЕСТВА КАНАЛОВ.....	166
<i>© И.В. Ушенина, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
<i>© И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПРИ УДАЛЕННОМ ПОДКЛЮЧЕНИИ ПО СЕТИ ИНТЕРНЕТ К РАБОЧЕМУ СТОЛУ ВИРТУАЛЬНОЙ МАШИНЫ ЧАСТНОГО ОБЛАКА ПЕНЗГТУ.....	173
<i>© А.А. Воронцов, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОДИНОЧНЫМИ КРИТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ.....	179
© <i>А.И. Мартышкин, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
© <i>Е.А. Карасева, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСИТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И НАЗНАЧЕНИЯ ЗАДАЧ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА.....	184
© <i>Д.С. Мартенс-Атюшев, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	190
© <i>А.И. Мартышкин, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)</i>	
СПЛАЙН-ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА.....	195
© <i>Ю.Н. Косников, Пензенский государственный университет (Пенза, Россия)</i>	
© <i>Хоанг Тхай Хо, Пензенский государственный университет (Пенза, Россия)</i>	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В ОЦЕНКЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	202
© <i>М.А. Бармин, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ	
ОЦЕНКА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МАТРИЦ В МОДЕЛЯХ РИСКА...	212
© <i>А.Ю. Киндаев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ.....	219
© <i>Е.А. Колобова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ КОТЛОАГРЕГАТА...	225
© <i>Ю.В. Конопацкий, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ РАЗРЕШАЮЩИХ УРАВНЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА КОНСТРУКЦИЙ ПО ЗАДАНЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ.....	228
© <i>В.Е. Курносов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Н.Ю. Бабаева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
УЧЕБНО-НАУЧНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И ИМПЛИКАТИВНОЙ АЛГЕБРЫ ВЫБОРА.....	235
© <i>В.Е. Курносов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ HDR И ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕГРАЦИИ И СБОРА ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ.....	240
© <i>М.К. Павликов, Московский авиационный институт (г. Москва, Россия)</i>	
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В ОТДЕЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА «ПЕНЗЕНСКОГО МНОГОПРОФИЛЬНОГО КОЛЛЕДЖА».....	246
© <i>Д.И. Танасов, «Пензенский многопрофильный колледж», Отделение железнодорожного транспорта (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>Т.Н. Печерская, «Пензенский многопрофильный колледж», Отделение железнодорожного транспорта (г. Пенза, Россия)</i>	
© <i>С.В. Печерский, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПО ЗАДАНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ.....	251
© <i>В.Г. Покровский, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)</i>	

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.89
ББК 30

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОГО ВЫБОРА ПРИ РАЗНОРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

© *И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

METHODS AND ALGORITHMS OF DECISION MAKING IN THE TASKS OF A MULTIALTERNATE CHOICE UNDER HETEROGENEOUS CONDITIONS

© *I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Представлена классификация методов принятия решения в задачах многоальтернативного выбора для двух направлений – распознавания образов, как выбора эталонного изображения, наиболее подходящего исходному изображению и выбора элементной базы при проектировании систем цифровой обработки информации. Показано, что методы распознавания образов часто используют неформализуемые признаки, а методы выбора элементной базы основаны на количественных характеристиках и параметрах, что позволяет создавать объективные системы принятия решения.

Ключевые слова: принятие решений, многоальтернативный выбор, распознавание образов, выбор элементной базы, системы цифровой обработки информации

The classification of methods of decisionmaking in the tasks of a multialternate choice for two directions - pattern recognition, as choice of a standard image most approaching an initial image and a choice of element basis at system design of digital information processing is represented. It is shown, that the methods of a pattern recognition frequently use non-formalizable indications, and the methods of a choice of element basis are based on quantitative performances and parameters, that allows to create objective systems of decisionmaking.

Key words: a decision making multialternate choice, pattern recognition, choice of element basis, system of digital information processing

Проблема выбора является основой огромного количества задач принятия решений в различных сферах деятельности человека и, в частности, в системах искусственного интеллекта. Наиболее распространенной является задача многоальтернативного выбора при разнородных условиях, когда число возможных вариантов решений стремится к ∞ . При этом, исходными данными для принятия решения может быть широкий класс описаний процессов: часть исходных описаний может характеризоваться числами; другая часть – описанием признакового характера, например, цветом, размерами, формами и т.д.; может описываться суждениями – например, «сегодня хорошая погода...», «солнце светит всем...», «по его лицу пробежала тень...» и т.п.; может характеризоваться общими законами и закономерностями.

Значительную роль в задачах многоальтернативного выбора играет конкретная предметная область, в которой решается задача принятия решения. В ка-

ких-то предметных областях хорошо используются числа, количественные отношения, а в ряде предметных областей, например, в живописи, в литературе – только зрительными или словесными образами можно решить задачу выбора решения.

1. МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Распознавание образов относится к предметной области, связанной с изображениями, которые даются человеку как исходный источник информации почти в 90% случаев по сравнению с другими органами чувств.

В зависимости от источника изображения и поставленной задачи выбора можно разделить область распознавания образов на следующие совокупности.

Распознавание художественных образов, когда изображение представляется в виде полотна художника. В этом случае невозможно применить количественные характеристики. Оценка изображения выполняется в виде общего описания восприятия, которое использует набор образных сравнений, выстраиваемых в виде логики суждений. При этом используется накопленный человечеством опыт в сравнительном плане, что в конечном счете позволяет принять решение. Будет ли оно многоальтернативным? Обязательно! При этом, решение может быть субъективным, когда принимается отдельным индивидом, или объективным, когда решение формируется группой специалистов – экспертов.

Экспертная оценка широко используется в настоящее время и является мощным средством принятия решения в задачах, которые не поддаются формализации [1].

Распознавание неформализуемых образов, когда образ представляет собой качественное описание исходного изображения. Например, выделение изображения лиц в массовом скоплении людей в информационных системах видеонаблюдения. Дальнейшее описание выделенных изображений лиц уже может быть формализовано. Отличить лицо человека от другой части тела можно по разным характеристикам, например по цвету кожи [2].

К этому классу задач можно отнести задачи распознавания изображений объектов искусственного происхождения – строения, автомобиля, дороги, ЛЭП и т.д., а также естественного происхождения – озера, реки, леса, поля и т.д. на аэрофотоснимках в задачах мониторинга земной поверхности.

Распознавание формализуемых образов, когда используется количественное описание образов и формирование количественной меры близости с эталоном, хранящимся в базе данных (БД). При этом, мера близости является, как правило, некоторой интегральной количественной характеристикой. Например, среднеквадратическое отклонение, или взаимокорреляционная функция, или поэлементное структурное описание и другие. Подобные задачи характерны, например, для охранных систем, для распознавания машинописных текстов и т.д. Для данных задач на первом этапе выявляются идентификационные признаки и сравниваются с эталонными, хранящимися в БД.

При этом, широко используются методы сравнения с эталоном: корреляционное сравнение, например, в задаче идентификации отпечатков пальцев; среднеквадратическое сравнение, например, в задаче идентификации личности по фотографии; структурно-лингвистическое сравнение, когда выявляются характерные элементы изображения-примитивы – углы, пересечения, окружно-

сти, прямые, например, в задаче распознавания объектов искусственного происхождения; метод идентификации личности человека по радужной оболочке глаза, по динамике почерка, по динамике набора кодового слова на клавиатуре и т.д. Следует заметить, что наиболее эффективным методом идентификации личности является анализ ДНК человека.

Распознавание поэлементно-связанных изображений объектов. К этой группе задач относится распознавание изображений, для которых важным является пространственная связь между элементами изображения [3]. Примером может служить распознавание рукописного текста. Это наиболее сложная задача, которая наиболее близка к задачам человеческого интеллекта. Человек «запросто» распознает рукописный текст, несмотря на бесконечное разнообразие почерков. В настоящее время в системах искусственного интеллекта успешно решается данная задача на основе поэлементного анализа.

Если на начальном этапе развития систем искусственного интеллекта использовались интегральные признаки, соответствующие исходным образом и эталонным, то в настоящее время появилась возможность детального, поэлементного анализа сложных изображений, какими является рукописный текст. Это связано с замечательными успехами, достигнутыми в реализации высокопроизводительными вычислительными системами, в которых можно обрабатывать с высокой скоростью огромный массив данных с учетом большого количества вариантов связей между элементами изображений, зачастую вложенного типа.

Нейросетевые методы распознавания образов. Стоят особняком, но которые следует отметить. Разработанный еще в 50-е годы прошлого столетия Ф.Розенблаттом перцептрон как основа нейронной сети, до сих пор привлекает внимание исследователей по принципу «а вдруг?». Действие нейронной сети (НС), которая к настоящему времени разрослась до многослойной, основано на обучении НС по предъявленному известному образу. При этом формируются весовые коэффициенты, которые в последствии являются основой принятия решения. Однако опыт показывает, что время обучения НС столь велико (несколько минут), что на практике применяется крайне редко. Всегда найдется такой исходный образ, который по совокупности весовых коэффициентов окажется соответствующим другому образу из БД, что приведет к ошибочному решению. При этом невозможно оценить – почему? Существенным недостатком метода распознавания образов на основе нейронной сети является использование «черного ящика» на этапе обучения НС и в этом смысле этот метод можно назвать «слепым».

2. МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ЗАДАЧАХ МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОГО ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Подобная задача появилась в последнее время в связи успехами технологии производства интегральных схем (ИС), когда появилась возможность на одном кристалле размещать до несколько десятков миллионов транзисторов – элементов устройств и систем цифровой обработки информации (ЦОИ). В настоящее время номенклатура ИС столь значительна, что возникла задача объективного выбора элементов реализации систем ЦОИ по определенным критериям.

2.1. Группы интегральных схем, используемых при проектировании систем цифровой обработки информации

В первую очередь следует обозначить группы ИС, в которых реализуются основные принципы ЦОИ:

– **микроконтроллеры (МК)** - программно-управляемые ИС для решения задач управления внешними устройствами. МК характеризуются сравнительно небольшой вычислительной производительностью, но обладают широкими интерфейсными возможностями обмена данными с внешними устройствами;

– **сигнальные процессоры (СП)** – также программно-управляемые ИС для решения задач обработки аналоговых сигналов цифровыми методами. СП характеризуются наличием аналого-цифровых преобразователей, высокой разрядностью шины данных (до 64), наличием аппаратных ядер интегральных преобразований, например таких, как быстрое преобразование Фурье;

– **программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС)** – ИС с аппаратной реализацией заданного алгоритма ЦОИ, логическая структура которого программируется в момент включения питания ПЛИС с помощью специального конфигурационного файла. ПЛИС характеризуется широкими функциональными возможностями и высоким быстродействием, так как в процессе работы отсутствует фаза чтения команды из ПЗУ, характерная для МК и СП;

– **система на кристалле (СнК)** – комбинированная система, включающая в себя программно-управляемый МК и аппаратно-реализующую ПЛИС. Такое объединение существенно расширяет функциональные возможности системы ЦОИ;

– **персональные компьютеры (ПК)** – вычислительные устройства, ядром которых является процессор (или несколько процессоров) и которые характеризуются наличием устройств интерактивного взаимодействия с человеком. Для этого в ПК имеются элементы ввода данных – это кнопочная или сенсорная клавиатура, а также элемент восприятия информации человеком – многоточечный цветной дисплей. Все это позволяет человеку непосредственно участвовать в обмене данными либо в локальных вычислительных сетях, либо в интернете.

Все эти группы элементов устройств ЦОИ характеризуются **программируемостью**, которая позволяет разработчику создавать уникальные системы ЦОИ, используя исходные элементы как универсальную заготовку с возможностью реализации целого спектра функций. Следует отметить, что программирование в настоящее время максимально приближено к возможностям человека за счет использования языков высокого уровня – *C* для МК и СП, *VHDL* – для ПЛИС и СнК.

2.2. Выбор элементов при проектировании систем цифровой обработки информации

Задача объективного выбора элементной базы из существующей в настоящее время огромной совокупности относится к совершенно другому типу задач многоальтернативного выбора, нежели чем задача распознавания образов. Основное отличие от задач распознавания образов заключается в числовых характеристиках и параметрах выбираемых элементов. Причем, они имеют со-

вершено разную природу и, как следствие, измеряются в различных физических единицах.

Формализация проблемы выбора элементной базы проектируемой системы ЦОИ является основой объективности выбора, оставляя в стороне субъективность выбора, основанную на личном опыте и кругозоре разработчика. Для данной предметной области – **базовые элементы ЦОИ**, задача многоальтернативного выбора успешно формализуется, так как в качестве характеристик используются числовые параметры и функциональные зависимости.

При реализации методов и алгоритмов принятия решений в условиях многоальтернативного выбора необходимо определить некоторую числовую характеристику, которая являлась бы **мерой сравнения**:

- с одной стороны, требуемых характеристик, предъявляемых в техническом задании на проектирование системы ЦОИ, например, быстродействие, точность вычислений, потребляемая мощность, и т.п.;

- и с другой стороны, характеристиками, которые являются параметрами одного, или группы элементов, по отношению к которым решается задача многоальтернативного выбора.

Мерой сравнения, как некоторой числовой характеристикой, может быть:

- целевая функция [4], если используется упрощенный вариант и решением является число, характеризующее выбор;

- целевой функционал [5,6], когда используется набор целевых функций, различающихся весовыми коэффициентами и решение определяется интервалом значений или набором вариантов принятых решений;

- информационная эффективность, когда выбор осуществляется по критерию попадания экстремальных точек в определенные зоны, характеризующиеся принимаемым вариантом решения;

- информационная производительность, когда критерием выбора является объем обрабатываемой информации в единицу времени.

2.3 Методы принятия решения в задачах многоальтернативного выбора

В зависимости от характеристик сравнения можно классифицировать методы принятия решения в задачах многоальтернативного выбора.

1. Поисковый метод. Наиболее простой, характеризующийся субъективностью пользователя-разработчика системы ЦОИ. Выполняется перебор базовых элементов различных фирм-производителей ИС. Разработчик принимает решение – подойдет или нет данный элемент. При этом он сам задает исходные данные, хотя бы в упрощенном виде, например, разрядность шины данных. Конечно, можно сказать, что выбор можно сделать с запасом. Но в этом случае вступает в силу тенденция – чем многофункциональнее элементы и выше быстродействие, тем выше стоимость. Поэтому необходима оптимизация, которую в голове решает разработчик.

В настоящее время каждая фирма-производитель ИС предлагает свои поисковые программы, позволяющие найти такие базовые элементы, которые удовлетворяют запросы пользователя.

2. Табличный метод. Используется объединяющая характеристика – информационная производительность базового элемента, требуемая для реализации заданного алгоритма. При этом выполняется следующее:

- для базового элемента формируется информационная производительность I_p , заполняется база данных (БД) из обобщенных комплексных характеристик различных фирм-производителей;
- для исходных данных проектируемого устройства ЦОИ формируется требуемая информационная производительность $I_{p, \text{ЦОИ}}$;
- выполняется обращение к БД и выбираются варианты базового элемента, для которых $I_{p, i} \hat{=} \approx I_{p, \text{ЦОИ}}$. При этом необходимо использовать интервал значений информационной производительности.

Недостаток табличного подхода – невозможность учесть всё многообразие параметров базовых элементов, с одной стороны, и требуемых параметров проектируемого устройства обработки информации, с другой стороны, и их взаимодействие.

3. На основе функционала выбора. Используется некоторая интегральная характеристика - функционал выбора. Выполняется следующее:

- исходя из параметров базового элемента формируются безразмерные коэффициенты, объединяющие в группы параметры и входящие в функционал выбора в виде весовых коэффициентов;
- формируется функционал выбора, который порождает функцию выбора, аргументом которой является обобщенная комплексная характеристика (ОКХ) проектируемой системы ЦОИ, связывающая наиболее характерные параметры алгоритма – быстродействия, динамического диапазона и т.д.;
- процедура выбора вариантов базового элемента заключается в формировании функции выбора из исходного функционала, аргументом которой является ОКХ и имеющая экстремум;
- попадание экстремума в интервал значений дает информационную производительность, по которой из БД извлекаются варианты базового элемента.

4. На основе определения конкретного решения. В ряде задач невозможно количественно оценить варианты решения. В этом случае равенство числовых характеристик отождествляется с некоторыми вариантами искомого решения. При этом, совокупность возможных решений отождествляется с интервалами значений функции выбора

$$\Delta\varphi_i(\gamma) \in \{R_1; \dots; R_i\},$$

где γ – аргумент функции выбора, представляющий собой ОКХ – обобщенную комплексную характеристику; R_i - текущее решение, связанное с выбором варианта. Вариант решения представляет собой фактически **номер**, которому ставится в соответствие набор связанных между собой элементов, которые входят в некоторую структуру.

Таким образом, для данного подхода анализируются все возможные структурные решения, выстраиваются в кортеж, который описывается множеством номеров решений $\{R_1; \dots; R_i\}$, каждый из которых соответствует текущему интервалу функции выбора, то есть $\Delta\varphi_i(\gamma) \in \{R_1; \dots; R_i\}$.

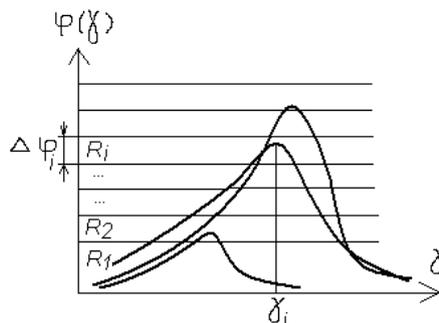


Рисунок 1 – Принятие решения по попаданию максимума функции выбора в соответствующий интервал значений

Примером использования данного подхода может служить задача выбора структурной схемы технического средства охраны (ТСО) заданного периметра, окружающего заданный объект. Для данной предметной области выбора структуры ТСО формируется конечное множество вариантов, которые выстраиваются в кортеж по мере увеличения сложности. Исследуются технические параметры ТСО, выявляются закономерности и формируются безразмерные параметры, которые объединяются в обобщенную комплексную характеристику ОКХ γ , которая является аргументом функции выбора $\varphi(\gamma)$. Для конкретных заданных параметров проектируемой ТСО формируется ОКХ γ_i , которая дает интервал R_i , представляющий собой номер структуры проектируемой ТСО.

Особенностью данного метода является отсутствие БД с совокупностью параметров конкретных элементов ТСО, в связи с чем, данный метод принятия решения не подходит для решения задачи выбора элементной базы, которая обсуждалась выше.

5. Распределенный или иерархический метод, основанный на древовидном поиске решения

Начиная с некоторого параметра, по каждому параметру принимается решение по дереву выбора. Начиная с широкого диапазона, который для следующего этапа является исходным. Например:

- по разрядности шины данных;
- по тактовой частоте и т.д.

Выполняется объединение решений. Здесь используется связанность параметров.

Список литературы

1. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления. – СПб.: Питер, 2004. – 256 с.
2. Двойной И.Р. Выбор системы цветового кодирования для обнаружения изображения лица человека на основе его цвета. – Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 05(09), 2012. – С.50-53.
3. Сальников И.И. Поэлементный анализ растровых изображений. Монография. - Пенза: Приволжский дом знаний, 2015. – 180 с.
4. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 248 с.

5. Сальников И.И. Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 05(09), 2012. – С.69-74.
6. Литвинская О.С. Формализация принятия решений на основе целевого функционала. – Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 05(09), 2012. – С.74-79.

УДК 004.089+ 06.3, 06.4.10, 07.5.10
ББК 30

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА
ОПИНИОН-МАЙНИНГА В ЦЕЛЯХ ИЗУЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ВЛАСТИ**

© *Е.Г. Бершадская, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *Л.А. Видясова, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)*

**AN AUTOMATED OPINION-MINING TOOL APPLICATION FOR THE
PURPOSE OF THE AUTHORITIES' ACTIVITIES ASSESSMENT**

© *E.G. Bershadszkaya, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *L.A. Vidiasova, ITMO University (St. Petersburg, Russia)*

Статья посвящена актуальной проблеме разработки средств лингвистического анализа текстов. Реализация системы опинион-майнинга, предложенная авторами статьи, апробирована на массиве текстов о деятельности органов государственной власти в России. Для реализации этих задач в Университете ИТМО создан уникальный онто-редактор.

Ключевые слова: опинион-майнинг, контент-анализ, семантика, органы государственной власти

The article is devoted to an urgent issue of the linguistic analysis tools development. Implementation of opinion-mining system, proposed by the authors, has been tested on an array of texts about the state authorities' activities in Russia. An unique onto-editor was created at the ITMO University to realize these objectives.

Key words: opinion-mining, content analysis, semantics, authorities

E-mail: bereg.50@mail.ru, bershadszkaya.lyudmila@gmail.com

Семантический анализ текстов представляет собой актуальное научное направления для решения ряда прикладных задач. В настоящее время несколько исследовательских коллективов в России развивают данное направление и опираются преимущественно на тезаурусный подход, имеющий ряд ограничений [1]. Разнообразные типы систем понимания в современных условиях все больше относятся к понятийному аппарату онтологии [2], т.е. некой «словарной базы концептуального моделирования, концептуальный словарь, обладающий вычислительной функциональностью» [3]. Безусловно, применение данного понятийно-категориального аппарата тесно связано с использованием статистических методов оценивания тональности [4].

Авторы статьи придерживаются комплексного многоуровневого подхода к организации автоматической обработки текстов с целью достижения наибольшей

точности и полноты анализа. Апробация данного подхода была осуществлена в ходе создания автоматизированного инструмента опинион-майнинга (англ. opinion mining) для оценки деятельности органов государственной власти.

В широком смысле инструменты опинион-майнинга представляют собой системы интеллектуального автоматического извлечения субъективных оценок, мнений, аттитюдов из текстовой информации [5]. Возможности применения подобных инструментов настолько широки, что охватывают существенный диапазон, начиная от маркетинговых и имиджевых исследований и заканчивая узкоспециализированными задачами в сфере прикладной лингвистики. Исследованием и разработкой инструментов опинион-майнинга за рубежом занимаются Б.Панг, Л. Ли, Х. Ким, К. Ганесан, П. Сондхи, Ч. Джай, Э. Кабрия, Б. Шуллер, Ю. Ксиа, К. Хаваси [6].

Исследования способов использования семантического анализа текстов при решении ряда прикладных задач активно проводятся рядом ведущих научных коллективов в России. К числу таких исследований относятся работы групп «УИС Россия» и «АОТ» в области автоматической обработки текстов (группы переняли опыт исследований Н.Н. Леонтьевой), группы Ю.Д. Апресяна в области лексической семантики, исследования и разработки группы В.Ш. Рубашкина в области инженерии знаний, исследования научных коллективов крупных российских компаний (Яндекс, Promt, АBBYY) и других коллективов.

В зарубежной практике (проекты OpenCus, SUMO, в значительной степени — FrameNet) исследователи используют реально функционирующие онтологии, показывающие перспективность комплексного многоуровневого подхода к решению практически любых прикладных задач.

Системы автоматизированного лингвистического анализа позволяют разрабатывать новые методы исследований в социальных науках. Опинион-майнинг в этой связи позволяет собрать отклики больших аудиторий по самым разным вопросам. При этом времени на проведение данной процедуры требуется гораздо меньше, чем на организацию опроса общественного мнения в режиме реального времени [7].

Актуальность авторских разработок в области опинион-майнинга была продиктована насущной потребностью органов государственной власти (ОГВ) и бизнеса в оперативном и оптимальном реагировании на реакцию общественности относительно планируемых или реализованных действий. На сегодняшний день интернет-пространство представляет собой постоянно пополняющуюся коллекцию текстов. Исследовательская задача состояла в разработке практических средств контент-анализа, позволяющих оперативно находить в Сети высказанные пользователями оценки тех или иных событий, отслеживать динамику изменения общественного мнения о конкретных персонах или организациях, выявлять зависимости между этими изменениями.

Для реализации поставленных задач был разработан комплекс семантических средств для распознавания обозначений деятельности органов государственной власти на основе реально функционирующего онто-редактора (лингвистического процессора AIPE- <http://asm.aiire.org/smirteo/>) [8,9]. Данное исследование является уникальным и не имеющим аналогов в России.

Разработанный комплекс семантических средств создан на базе свободного программного обеспечения с использованием лингвистического процессора AIPE, системы мониторинга SMIRTEO, свободно распространяемых биб-

лиотек GNU/Linux для работы с новостными лентами и поисковыми системами, СУБД PostgreSQL, языков программирования Python и C.

На рисунке 1 показан общий сценарий работы системы, подразумевающий составление корпусов текстов на основе текстов СМИ и других открытых источников, содержащих оценочные суждения о деятельности органов государственной власти. На основании занесенного перечня источников система мониторинга осуществляет сбор коллекции текстов, в которых содержатся компоненты оценочных суждений об органах государственной власти.

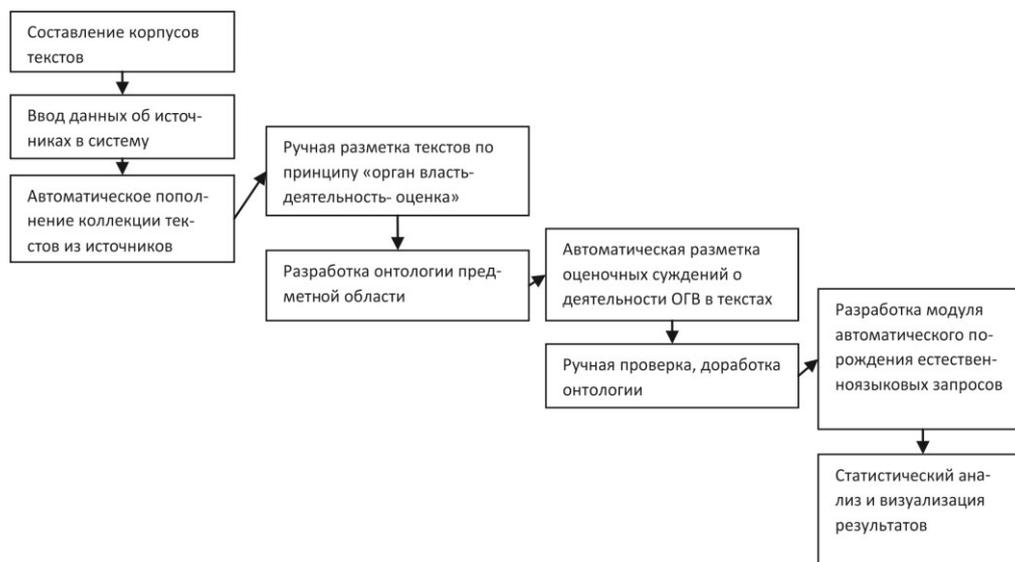


Рисунок 1 – Алгоритм работы инструмента опинион-майнинга на базе лингвопроцессора АИРЕ

В ходе анализа массивов текстов были выявлены определенные сложности, как в части разделения действующих органов власти, так и в определении оценок их деятельности. Главный инструмент, используемый для разрешения подобной неоднозначности в проекте – это онтология, содержащая в себе концепты (модели понятий), стоящие за значениями лексических единиц, и обеспечивающая возможность вычисления их семантических валентностей на основании тех отношений, которые установлены между концептами. Концепт в онтологии АИРЕ – это набор атрибутов, где каждый атрибут представляет собой пару «отношение-объект».

В рамках выполнения работы были выделены различные синтаксические конструкции системы наименований органов власти, а также синтаксические конструкции, обозначающие действия и деятельность ОГВ. Исследовательским коллективом были разработаны принципы построения отношений между концептами, соответствующими названиям органов власти и их видам деятельности. В дальнейшем онтология АИРЕ была дополнена в соответствии с разработанными принципами. В ходе исследования были разработаны параллельные классификации действующих субъектов в соответствии с различными классами глаголов и процессуальных существительных, представленных в имеющейся текстовой коллекции, обеспечивающие вычисление семантических валентностей исследуемых единиц.

Кроме того, были рассмотрены и решены некоторые проблемы анализа идиоматических единиц в названиях органов власти.

Таким образом, была обеспечена корректная обработка лингвопроцессором АИРЕ русскоязычных языковых единиц, обозначающих различные виды деятельности и действия органов государственной власти Российской Федерации. На рисунке 2 представлен результат работы системы автоматической разметки прямых оценок в текстах о деятельности органов власти в системе АИРЕ.

Разработанный автоматизированный инструмент опинион-майнинга включает в себя следующие подсистемы:

- система компьютерной лингвистической экспертизы электронных текстов на основе существующих средств морфологического, синтаксического и семантического анализа текстов;

- универсальная компьютерная онтология, содержащая информацию, необходимую для компьютерного семантического анализа текстов с оценочными суждениями о деятельности федеральных органов государственной власти, а также для автоматического порождения естественных языковых запросов с целью поиска таких текстов в Мировой Сети;

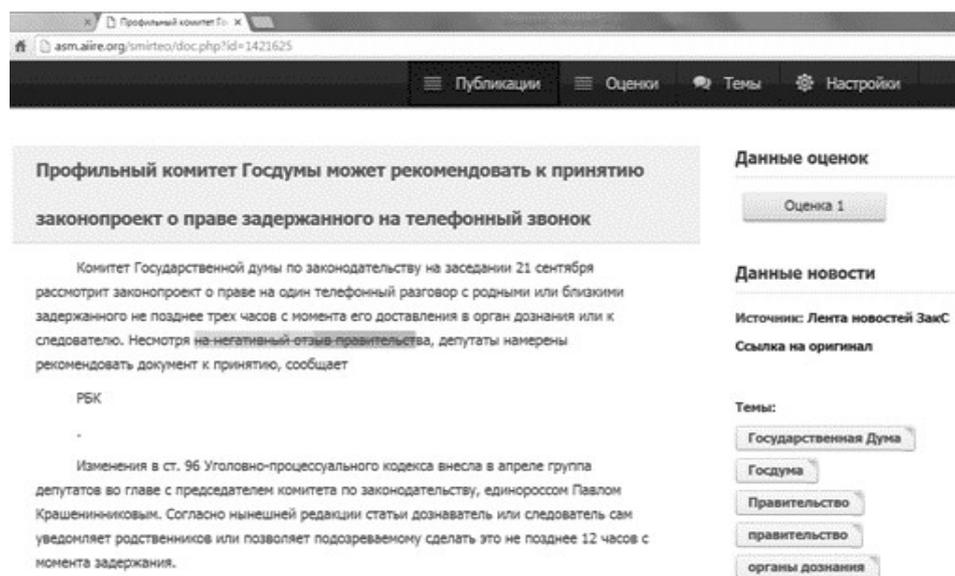


Рисунок 2 – Разметка оценочного суждения в тексте подтемы «Госдума».

Источник: система АИРЕ, 2016

- система мониторинга, осуществляющая автоматизированный поиск сетевых источников, содержащих публикации с оценочными суждениями о федеральных органах государственной власти, и непрерывный автоматический сбор публикаций из этих источников, с учётом показателей охвата этими публикациями сетевой аудитории;

- система визуализации результатов компьютерной лингвистической экспертизы: динамика изменения количества положительных и отрицательных оценок государственного аппарата в целом, различных ветвей власти, конкретных органов власти; общая динамика оценок.

Практическая значимость выполненной работы состоит в возможности использования результатов исследований и разработки для удовлетворения насущных потребностей органов власти и бизнеса в оперативном изучении общественного мнения. Автоматизация экспертного анализа динамики общественного мнения может существенно повысить охват и репрезентативность социологических исследований, и создать новые инструменты для эмпирических исследований.

Данная работа выполнена в рамках НИР «Разработка инструмента опинион-майнинга и его апробирование на задачах обследования общественного мнения о деятельности органов власти».

Список литературы

1. Добров А.В., Доброва А.Е., Сомс Н.Л., Чугунов А.В. Семантический анализ новостных сообщений по теме «электронные услуги»: опыт применения методов онтологической семантики. *Государство и граждане в электронной среде: теория и технологии исследований: Труды XVIII объединенной конференции "Интернет и современное общество" (IMS-2015)*. 2015. С. 120-125.
2. Леонтьева Н.Н. О статусе знаний в системах автоматического понимания текста. *Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии: сборник научных статей*. СПб.: Университет ИТМО, 2015. С.104-115.
3. Рубаикин В.Р. Онтологическая семантика. Знания. Онтологии. Онтологически ориентированные методы информационного анализа текста. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012.- 248 с.
4. Проноза Е.В., Ягунова Е.В. Аспектный анализ отзывов о ресторанах для рекомендательных систем e-туризма. *Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии: сборник научных статей*. СПб.: Университет ИТМО, 2015. С.130-141.
5. Давыдов А.А. Системная социология: *Opinion Mining*. Официальный портал Института социологии РАН. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.isras.ru/?page_id=1024
6. Pang B., Lee L. *Opinion mining and sentiment analysis. Foundations and trends in information retrieval* 2, (1-2),2008. pp.1-135.
7. Алексеева С.В., Кольцов С.Н., Кольцова О.Ю. *Linis-crowd.org: лексический ресурс для анализа тональности социально-политических текстов на русском языке*. *Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии: сборник научных статей. Труды XVIII объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2015), Санкт-Петербург, 23-25 июня 2015 г.*- СПб.: Университет ИТМО, 2015. С.25-33.
8. Dobrov A. V. *Semantic and Ontological Relations in AIIRE Natural Language Processor. Computational Models for Business and Engineering Domains*. Rzeszow; Sofia, 2014. pp.147-157.
9. Литвинская О.С., Сальников И.И. Структура принятия решения по выбору цифрового средства реализации алгоритма в информационной технической системе. // - М.: *Фундаментальные исследования*, 2010, №12. – С.112-118.

УДК 06.3, 06.4.10, 07.5.10
ББК 22

**СЕМАНТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОИСК
НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ
ИЛИ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ**

© *Л.А. Видясова, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)*
© *Д.В. Жук, Университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия)*

**SEMANTIC PROCESSING AND INTELLIGENT SEARCH
UNSTRUCTURED AND SEMI-STRUCTURED DATA**

© *L.A. Vidasova, ITMO University (St. Petersburg, Russia)*
© *D.V. Zhuk, ITMO University (St. Petersburg, Russia)*

В статье рассматриваются различные подходы к интеллектуальному анализу общественного мнения и эмоциональных оценок, содержащихся в социальных медиа. Приводятся промежуточные результаты обработки текстов об органах государственной власти с использованием специального лингво-процессора и адаптированной под политическую лексику онтологии.

Ключевые слова: автоматическая обработка естественного языка, онтологическая семантика, лексическая семантика, лексическая неоднозначность, опинион-майнинг, лингвистический анализ, онлайн-коммуникация, социальные медиа

The article considers different approaches to intellectual analysis of public opinion and emotional assessments contained in social media. The authors describe the intermediate results of text processing of public authorities with a special linguistic processor and adapted to the political vocabulary of the ontology.

Key words: automatic processing of natural language, ontological semantics, lexical semantics, lexical ambiguity, opinion-mining, linguistic analysis, online communication, social media

E-mail: bershadszkaya.lyudmila@gmail.com, jukdenis@gmail.com

В современном мире многие люди охотно делятся мыслями и мнениями о различных аспектах жизни через социальные медиа. Инструменты, которые могут извлечь смыслы и оценки из широкого спектра мнений, содержащихся в социальных сетях, приобретают все более важное значение. Для того, чтобы наилучшим образом использовать эту информацию, актуальной задачей становится вычленение смыслов из потоков информации, отделение того, что важно и интересно, от того, что является информационным шумом. Есть очевидные преимущества для компаний, органов власти и даже для частных лиц в понимании того, что общественность думает о производимых продуктах, оказываемых услугах и о деятельности субъекта в целом.

Сегодня создается множество инструментов, позволяющих иметь возможность собирать, получать и сохранять всю информацию, относящуюся к определенным событиям и ее динамике во времени [1]. Как уже показывает практика, распространение информации в социальных медиа может явиться катализатором реальных действий и событий, которые в конечном счете приводят к административным, политическим и общественным изменениям.

Пользователи социальных медиа все более активно генерируют контент. Этот контент не статичен, он быстро меняется, отражая социальные и эмоциональные колебания авторов. Социальные сети насыщены множеством инструментов для выражения своего мнения, от простых "лайков" до полноценных текстов или же видео пользователей, в которых они тоже выражают свое отношение - путем использования всех этих инструментов проявляется разнообразие мнений обще-

ственности, которые уже можно соответствующим образом интерпретировать и использовать [2]. Действия пользователей в социальных медиа часто вызываются конкретными событиями и связанными с ними организациями и темами.

Интеллектуальный анализ общественного мнения и эмоциональных оценок. Есть много проблем, присущих в области применения типичных методов интеллектуального анализа общественного мнения и настроений пользователей социальных медиа. Одна из таких трудностей заключается в частом использовании иронии и сарказма, которые являются особенно сложными для автоматического обнаружения информационными системами, что непременно отражается на достоверности их интерпретации.

В последнее время методы выявления мнений интернет-сообщества сосредоточены на социальных медиа, в сочетании с тенденцией к их применению в качестве упреждающего, а не реактивного механизма взаимодействия.

Существующие технологии опинион-майнинга, в большинстве своем основываются на статистических методах классификации с использованием словарей тональностей [3]. Но такие методы имеют существенный недостаток - классифицируя тексты за счет выявления соответствующих эмоциональных словоформ, они не выявляют отдельные значения, а в некотором смысле и обобщают оценку. Использование таких методов практически неприменимо для решения аналитических задач.

Особенности онтологии AIRE. Выявление мнений и оценок в онлайн-контенте облегчает анализ возникающих тенденций и общественных реакций на политику. Возможности осуществления такого анализа появились в связи с распространением Semantic Web, развитием методов машинного обучения и обработки естественного языка. Подходы к выявлению эмоциональной оценки сообщений можно условно разделить на 2 крупные группы методов, основанные на лексике [4] и методы машинного обучения [5,9]. Эти два подхода в настоящее время активно развиваются параллельно друг другу.

Обработка естественного языка (NLP) – это неявное представление смысла, на основе векторного представления текстов и смысла, что позволяет определять сходство между текстами и давать оценку тональности текстов (положительное, отрицательное или нейтральное мнение). Данные обрабатываются с помощью NLP процессора, основанного на методах синтаксического анализа и машинного обучения, которые выявляют, какая часть предложения соответствует выражения мнения и к какой конкретной теме это мнение относится. Модели NLP дают точный, но при этом сложный в интерпретации и использовании результат, т.к. в рамках обнаружения мнения (opinion detection) основное внимание уделяется автоматической идентификации и извлечению мнений из текста и мультимедиа данных. Данный механизм активно используется для поддержки в принятии решений, и автоматически отслеживает общую тональность отношения общественности к определенным темам.

Подходы Semantic Web, в свою очередь, дают явное представление области на основе семантических аннотаций, отображающих текст в онтологии предметной области с помощью ключевых слов (тегов). Наилучшим образом зарекомендовали себя гибридные системы, сочетающие в себе элементы обоих подходов.

В Университете ИТМО был разработан уникальный автоматизированный инструмент лингвистического анализа - лингвопроцессор AIRE, основанный на построении онтологий [6]. Традиционно анализ настроений (sentiment analysis) обеспечивает некоторый уровень обнаружения основных эмоций (под-

тверждающие слова, ненормативная лексика и др.), но не признает более тонкие формы выражения эмоций, такие как юмор, сарказм, ирония, провокация и др.

Разработанный лингвопроцессор АИРЕ представляет собой инструмент обработки текстовых данных, который порождает все возможные версии синтаксического и семантического анализа этих данных, представляемые в виде синтаксических деревьев и семантических графов. Применение онтологического подхода при разработке инструмента позволяет снять проблему неоднозначности языковых единиц [7]. Созданная онтология содержит информацию не только об отдельных аспектах языковой семантики, но и знания о языковой картине мира. Онтология позволяет решить актуальную на сегодняшний день задачу обнаружения идиоматических выражений. Следует подчеркнуть, что в качестве экспериментальной предметной области для тестирования онтологии была выбрана оценка деятельности органов государственной власти (ОГВ).

Для выделения оценок была разработана модель иерархии ОГВ, включающая в себя классификацию и структурную иерархию ОГВ. ОГВ классифицируются по ряду оснований (регион, уровень государственной власти, ветвь власти и др.). Структурная же иерархия ОГВ в онтологии строится на основе признака непосредственно вхождения в состав какой-либо организации.

В онтологии АИРЕ разграничены действия, состояния и виды деятельности. Они обозначаются предельными динамическими, непредельными статическими и непредельными динамическими глаголами соответственно. В онтологии предметные области выделены как особые концепты, не совпадающие с видами деятельности и действий. Для каждого ОГВ в онтологии прописаны области его деятельности. Для выделения в текстах оценок деятельности ОГВ в онтологии выстроена классификация оценочных значений прилагательных, основанная на классификации самих оценок, причем комплексные оценки и оценки отдельных свойств также разграничены.

Апробация работы системы для исследования имиджа органов государственной власти. Одним из применений разработанного инструмента является исследование имиджа органов власти. Например, модели формирования общественного мнения, основанные на реальном мире онлайн-коммуникации, позволяют моделировать и прогнозировать эволюцию моделей коммуникации по конкретному вопросу политики в регионе или в масштабах страны для сопоставления регионов. Результатами данных исследований может стать выявление новых подходов в работе ОГВ или же оценка эффективности деятельности этих структур потребителями их услуг - гражданами.

Демократизация человека в сети интернет привела к взрыву числа мнений, высказанных через социальные сети, форумы, блоги и др. социальные медиа. В то же время, граждане становятся все более активно интересоваться и даже принимать активное участие в деятельности как исполнительной, так и законодательной веток власти. Да и информационные и коммуникационные технологии, сами по себе, способствуют обмену идеями и мнениями через границы [8].

Работа системы предполагает последовательную реализацию следующего механизма:

- заполнение информации об источниках текстовых сообщений;
- актуализация и пополнение базы текстов из списка выбранных источников;
- отнесение найденных текстов к соответствующим темам;

- разметка прямых оценочных суждений в смысловой связке «субъект-действие-оценка»;
- размещение отобранных с оценками текстов, включая их визуализированную разметку.

Для анализа были отобраны 69 источников, публикующих сообщения о деятельности федеральных органов государственной власти.

Согласно приведенному механизму, для 62 наименований ФОГВ системой АИРЕ собран массив сообщений, в которых они упоминаются. Сообщения были отнесены к соответствующим темам. Пример результата обработки сообщения представлен на рисунке 1.

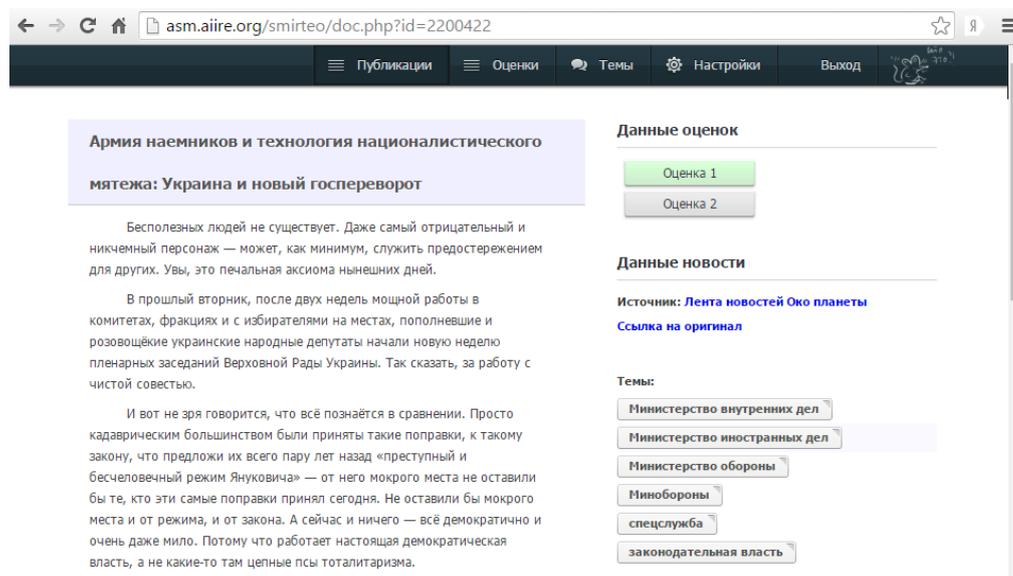


Рисунок 1 – Результат обработки сообщения, содержащего информацию о нескольких ФОГВ. Источник: система АИРЕ, 2016

В работе использовались тексты из источников следующих категорий:
- новостные ресурсы, включая комментарии к новостным сообщениям – 36%,

- страницы популярных блоггеров в Facebook - 8%,
- официальные аккаунты в Twitter - 13%,
- персональные блоги в LiveJournal - 25%,
- официальные новостные и активные группы В Контакте - 18%.

Исследовательским коллективом был составлен список из 62 наименований федеральных органов власти, который включал 55 названий министерств, федеральных служб, агентств и т.д., а также обобщенные формулировки, привычные для новостных текстов (например, органы правосудия, силовые структуры и т.д.). Для каждого наименования из составленного списка были разработаны темы, согласно возможным формам упоминания об органе власти в тексте. Например, для органа власти «Министерство образования и науки Российской Федерации» были сопоставлены три темы: Министерство образования, Минобр, Минобрнауки. В общей сложности была предложена 131 тема.

Полученные результаты могут использоваться представителями ФОГВ для оперативного мониторинга общественного мнения о своих структурах, а также для выявления оценок со стороны граждан о своей деятельности в целом. Автоматизация исследования общественного мнения в социальных медиа расширяет охват и репрезентативность социологических исследований.

Данная работа выполнена в рамках НИР 415825 «Разработка инструмента опинион-майнинга и его апробирование на задачах обследования общественного мнения о деятельности органов власти».

Список литературы

1. Angulakshmi G., Manicka Chezian R. *An Analysis on Opinion Mining: Techniques and Tools. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 3, 2014, pp.4312-4314.*
2. Liu B. *Sentiment Analysis. Mining Opinions, Sentiments, and Emotions. Cambridge University Press. 2015*
3. Mishra N., Jha C.K. *Classification of Opinion Mining Techniques. International Journal of Computer Applications, Vol. 56-No.13, 2012, pp.1-6.*
4. Taboada M., Brooke J., Tofiloski M., Voll K., Stede M. *Lexicon-based methods for sentiment analysis. Computational Linguistics, 1(September 2010), 2011, pp.1-41.*
5. Boiy E., Moens M-F. *A machine learning approach to sentiment analysis in multilingual web texts. Information Retrieval, 12(5), 2009, pp.526-558.*
6. Dobrov A. V. *Semantic and Ontological Relations in AIIRE Natural Language Processor. Computational Models for Business and Engineering Domains. Rzeszow; Sofia, 2014. pp.147-157.*
7. Добров А.В., Доброва А.Е., Сомс Н.Л., Чузунов А.В. *Семантический анализ новостных сообщений по теме «электронные услуги»: опыт применения методов онтологической семантики. Государство и граждане в электронной среде: теория и технологии исследований: Труды XVIII объединенной конференции "Интернет и современное общество" (IMS-2015). 2015. С. 120-125.*
8. Christakis N., Fowle, J. *Connected: The surprising power of our social networks and how they shape our lives – how your friends' friends' friends affect everything you feel, think, and do. New York: Little Brown and Company. 2009.*
9. Бершадская Е.Г., Буркина И.П., Акимов А.А. *Информационная система поддержки учебной и научной деятельности кафедры. // Современные информационные технологии. 2012, №15. С.98-101.*

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ, ОБНАРУЖЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

УДК 621.396.96
ББК 30

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ПРИЕМЕ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ИМПУЛЬСОВ ТЕМНОВОГО ТОКА ОДНОФОТОННЫМ ДИСЕКТОРОМ

© *Л.А. Албогачиева, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова
(г. Грозный, Россия)*

© *К.Е. Румянцев, Южный федеральный университет
(г. Ростов-на-Дону, Россия)*

SIMULATION OF PERFORMANCE INTERFERENCE ENVIRONMENT RX BACKGROUND RADIATION AND THE MOMENTUM OF THE DARK CURRENT OF SINGLE-PHOTON DISSECTOR

© *L.A. Albogchieva, Grozny State Oil Technical University
of Acad. M.D. Millionshtchikov (Grozny, Russia)*

© *K.E. Rumyantsev, Southern Federal University
(Rostov-on-Don, Russia)*

Обнаружение и выделение момента появления оптического импульса является необходимым условием установления связи между движущимися корреспондентами.

С помощью разработанной имитационной модели доказана работоспособность и проверена эффективность алгоритма, измерены статистические характеристики системы пространственно-временного поиска источников импульсного излучения с обнаружением и выделением момента появления оптического импульса при использовании сканирующего однофотонного фотоэмиссионного прибора (ОФЭП) с ограниченной полосой пропускания при одноканальной регистрации однофотонных импульсов. В модели исключены допущения и ограничения (в отношении формы однофотонного импульса, постоянства коэффициента умножения ОФЭП и временного момента приёма фотоэлектрона внутри оптического импульса), принятые при установлении количественных соотношений для описания параметров комплекса поиска. Процесс на выходе ОФЭП представляет последовательность временных отсчётов, соответствующих моментам появления фотоэлектронов фонового излучения, а также импульсам темнового тока. Причём число фоновых импульсов и временные моменты их появления являются случайными величинами, подчинёнными закону Пуассона.

Ключевые слова: пространственно-временной поиск, однофотонный импульс, одноканальная регистрация, сканирующий однофотонный фотоэмиссионный прибор, имитационная модель, статистические характеристики.

The detection and allocation of the moment of the optic pulse arrival is necessary for occurrence of communication between moving agents. The algorithm of existential search of pulse signals in a mode of single-channel registration of single photon pulses (SPP) is known. The suggested search algorithm is based upon the fact that the pulse repetition interval on the receiver end of the search equipment is known.

With the help of the developed simulation model the efficacy of the algorithm has been established and the static performance of existential search system of pulse radiation sources with detection and allocation of the occurrence of optic pulse have been measured at use of the scanning photoemissive device with the set pass-band in a mode of registration of single photon pulses.

The process output is a consistent time counts corresponding to the time of occurrence of the photoelectrons of the background radiation, as well as the momentum of the dark current. Moreover, the number of background pulses and temporary moments of their appearance are random variables, Poisson subordinates.

Key words: existential search, single photon pulse, single-channel registration, scanning photoemissive device, simulation model, static parameters.

Обнаружение и выделение момента появления оптического импульса является необходимым условием установления связи между движущимися корреспондентами [1]. В [2] описан алгоритм пространственно-временного поиска импульсных сигналов в режиме регистрации однофотонных импульсов (ОФИ). Предложенный алгоритм поиска основан на том, что на приёмном конце поискового комплекса известен период следования оптических сигналов T_s (рисунок 1).

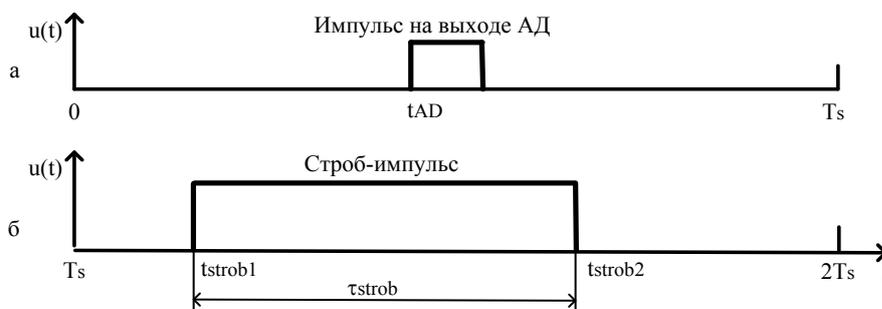


Рисунок 1 – Формирование импульса АД (а) и импульса стробирования (б)

Фотоприёмный канал предусматривает последовательное соединение сканирующего однофотонного фотоэмиссионного прибора (ОФЭП), импульсного электронного усилителя и амплитудного дискриминатора (АД). В течение времени

$t \in [0, T_s]$ фиксируется момент t_{AD} первого превышения уровня амплитудной

дискриминации U_{AD} (рисунок 1, а), анализ причины которого производится в интервале

$[T_s, 2T_s]$ (рисунок 1, б). В ждущем режиме канал не реагирует на поток фотоэлектронов (ФЭ, первичных электронов) и импульсов темнового тока (ИТТ)

до момента $t_{strob1} = t_{AD} - \tau_{delay} + T_s - 0,5 \cdot \tau_{strob}$.

Повторный опрос ОФЭП производится в интервале $[t_{strob1}, t_{strob2}]$. Здесь $t_{strob2} = t_{AD} - \tau_{delay1} + T_s + 0,5 \cdot \tau_{strob}$ соответствует моменту окончания действия импульса стробирования во время повторного обследования.

Величина τ_{delay1} представляет время задержки между моментом срабатывания АД t_{AD} и моментом генерации одиночного фотоэлектрона t_{phe1} . Величина τ_{strob} соответствует длительности импульса стробирования, в течение которой могут регистрироваться фотоны во время повторного анализа.

Если произошло повторное превышение порогового уровня U_{AD} , то принимается решение о приёме полезного излучения в анализируемом пространственном элементе разложения во время действия импульса стробирования. В противном случае выносится решение об отсутствии излучения источника. Система переходит к обзору следующего пространственного элемента разложения в контролируемом пространстве.

Решение об отсутствии сигнала выносится и тогда, когда отсутствует превышение уровня амплитудной дискриминации за время $t \in [0, T_s]$.

В [3] установлены количественные соотношения для описания временных и вероятностных параметров комплекса поиска источников импульсного излучения при использовании сканирующего ОФЭП с ограниченной полосой пропускания в режиме регистрации однофотонных импульсов. Получены выражения, устанавливающие связь вероятностей ложной тревоги и правильного обнаружения с длительностью, периодом и нестабильностью следования оптических импульсов, параметрами ОФЭП (число диодов, полоса пропускания), пороговым уровнем амплитудной дискриминации, частотой генерации ОФИ фонового излучения и ИТТ.

Однако при выводе соотношений для описания параметров поискового комплекса использована кусочно-ломаная (трапецеидальная) аппроксимация формы отклика ОФЭП на приём фотона (однофотонного импульса). Реальная же форма ОФИ на нагрузке ОФЭП описывается гамма-функцией [4].

Кроме того, предшествующий анализ проведён с ориентацией на наихудший случай временного расположения ОФИ внутри оптического импульса. Эти же условия определяют выбор длительности и момента формирования импульса стробирования при анализе причины срабатывания АД. Статистические параметры временных величин не учитывались.

Цель исследований состоит в проверке работоспособности алгоритма измерения статистических характеристик системы пространственно-временного поиска источников импульсного излучения с обнаружением и выделением момента появления оптического импульса при использовании сканирующего однофотонного фотоэмиссионного прибора с ограниченной полосой пропускания в режиме одноканальной регистрации однофотонных импульсов методом имитационного моделирования с исключением допущений и ограничений (в отношении формы однофотонного импульса, постоянства коэффициента умножения ОФЭП и временного момента приёма фотона внутри оптического импульса), принятых при установлении количественных соотношений для описания параметров комплекса поиска.

Параметры оптического импульса. Источник оптического излучения генерирует идеальный прямоугольный импульс с длительностью τ_s и периодом следования T_s . Для унификации программы временные параметры при моделировании, как правило, нормируются относительно длительности прямоугольного оптического импульса τ_s . Так, например, коэффициент k_s определяет отношение периода следования T_s к длительности τ_s оптических импульсов: $k_s = T_s/\tau_s$. Нестабильность периода следования оптических импульсов ΔT_s по отношению к периоду

ду следования оптических импульсов T_s задаётся коэффициентом k_T : $\Delta T_s = k_s T_s$. Заметим, что при анализе систем поиска предпочтительнее вводить в рассмотрение коэффициент k_{TS} нестабильности периода следования оптических импульсов ΔT_s относительно длительности оптического импульса τ_s : $k_{TS} = \Delta T_s / \tau_s = k_T k_s$.

Параметры ОФЭП. В качестве ОФЭП в модели определён однофотонный диссектор, который имеет $N_d=14$ динодов. Причём средние значения коэффициентов вторичной эмиссии динодов $m_{d,i}$, $i = \overline{1, N_d}$ различны. У первого и второго динодов они одинаковы $m_{d1} = m_{d2} = 5$. У всех динодов, начиная с третьего, коэффициенты эмиссии равны $m_{d,i} = 3$, $i = \overline{3, N_d}$.

Коэффициент умножения ОФЭП G_{SPD} рассчитывается по формуле $G_{SPD} = \prod_{i=1}^{N_d} m_{d,i}$. У диссекторов коэффициент умножения лежит в диапазоне $10^6 \dots 10^8$ [5]. В этом диапазоне лежит расчётное значение коэффициента умножения $G_{SPD}=1,33 \times 10^7$.

Время пролета электронами между двумя соседними динодами ОФЭП в модели определяется значением τ_d . Эта постоянная времени связана с полосой пропускания ОФЭП Π_{SPD} по уровню 0,707 [6] соотношением $\Pi_{SPD} = b_{SPD} / \tau_d$.

Коэффициент пропорциональности b_{SPD} определяется только числом динодов в умножительной секции диссектора $b_{SPD} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{N_d \sqrt{2} - 1}$.

В модели введён параметр $\alpha_{SPD} = \Pi_{SPD} \tau_s$, представляющий произведение полосы пропускания ОФЭП Π_{SPD} на длительность прямоугольного оптического импульса τ_s (нормированную полосы пропускания ОФЭП относительно длительности импульса).

Задаётся квантовая эффективность фотокатода ОФЭП η_{SPD} и частота (скорость, интенсивность) появления регистрируемых импульсов темнового тока после амплитудной дискриминации $\xi_{ДСФ}$. Считается, что регистрируемые аппаратурой ИТТ обязаны своим происхождением электронам с фотокатода диссектора.

Задаётся активная составляющая сопротивления нагрузки ОФЭП R_n .

Форма ОФИ. Амплитуда ОФИ на нагрузочном сопротивлении R_l ОФЭП, имеющего N_d одинаковых динодов и коэффициент умножения G_{SPD} , рассчитывается по формуле

$$U_{SPD.m} = \frac{e_{e1} \cdot G_{SPD} \cdot R_l}{N_d! \cdot \tau_d} \cdot N_d^{N_d} \cdot \exp(-N_d),$$

где $e_{e1} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

Форма ОФИ на нагрузочном сопротивлении R_l ОФЭП описывается гамма-функцией [7].

$$u_{SPP}(t) = U_{SPP.m} \cdot \left(\frac{t}{N_d \cdot \tau_d} \right)^{N_d} \cdot \exp \left(N_d - \frac{t}{\tau_d} \right).$$

В формуле момент $t=0$ соответствует моменту появления ФЭ.

В [8] предложена кусочно-ломаная аппроксимация формы ОФИ

$$u_{SPP}(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 7 \cdot \tau_d, \quad t > 23 \cdot \tau_d; \\ U_{SPP.m} \cdot \frac{t - 7 \cdot \tau_d}{5,8 \cdot \tau_d}, & 7 \cdot \tau_d < t \leq 12,8 \cdot \tau_d; \\ U_{SPP.m}, & 12,8 \cdot \tau_d < t \leq 15,2 \cdot \tau_d; \\ U_{SPP.m} \cdot \frac{23 \cdot \tau_d - t}{7,8 \cdot \tau_d}, & 15,2 \cdot \tau_d < t \leq 23 \cdot \tau_d. \end{cases}$$

Здесь в момент $t_{pHE} = 0$ фотокатодом сгенерирован фотоэлектрон.

В программе предусмотрен вывод реальной и аппроксимирующей форм ОФИ на выходе ОФЭП с 14 диодами.

Используя аппроксимацию формы ОФИ, получены аналитические выражения для расчёта длительности ОФИ по уровню $0,5 \tau_{SPP0,5} = 9,2 \cdot \tau_d$, длительности основания трапецеидальной аппроксимации формы ОФИ $\tau_{SPP0} = 16 \cdot \tau_d$ и длительности вершины трапецеидальной аппроксимации формы ОФИ $\tau_{SPP0} = 2,4 \cdot \tau_d$. Определяемые длительности ОФИ не участвуют непосредственно в моделировании процесса. Однако их расчёт проведен для объяснения результатов моделирования.

Параметры амплитудного дискриминатора. Для ограничения подачи импульсов темнового тока с анода ОФЭП на вход последующей схемы обработки применяется амплитудная дискриминация с уровнем U_{PHD} .

Использование кусочно-ломаной (трапецеидальной) аппроксимации формы ОФИ [9] позволяет получить приближённое выражение для нахождения времени задержки τ_{delay1} между моментами прихода одиночного ФЭ t_{pHE} и срабатывания амплитудного дискриминатора t_{PHD} по уровню U_{PHD} :

$$\tau_{delay1} = 7 \cdot \tau_d + 5,8 \cdot \tau_d \cdot U_{PHD} / U_{SPP.m}.$$

Учёт фонового излучения. Задаётся частота (скорость, интенсивность) генерации фоновых фотонов ζ_{bg} и вычисляется частота генерации фоновых фотоэлектронов $\xi_{bg} = \eta_{SPD} \cdot \zeta_{bg}$.

Учёт шумового воздействия. Как однофотонные импульсы фонового излучения, так и импульсы темнового тока ОФЭП являются шумовым (мешающим) воздействием. Поэтому в модель вводится понятие частоты генерации шумовых импульсов, значение которой рассчитывается по формуле

$$\xi_{noise} = \xi_{bg} + \xi_{DCP}.$$

Определяется среднее число шумовых импульсов, генерируемых за период следования оптических импульсов T_s , $\overline{n_{noise.T}} = \xi_{noise} \cdot T_s$.

Для распределения Пуассона дисперсия числа шумовых импульсов равна среднему значению $\sigma_{noise.T}^2 = \overline{n_{noise.T}} = \xi_{noise} \cdot T_s$.

При моделировании статистических свойств потока шумовых импульсов законом Пуассона вероятность приёма равно n шумовых импульсов (фотоэлектронов и ИТТ) за период следования оптических импульсов в фоновом элементе равна $Pr\{n|\overline{n_{noise.T}}\} = \frac{\overline{n_{noise.T}}^n}{n!} \exp(-\overline{n_{noise.T}})$. Вероятность нулевого события по закону Пуассона за период следования оптических импульсов в фоновом элементе составит

$$Pr\{n = 0|\overline{n_{noise.T}}\} = Pr0_{noise.T} = \exp(-\overline{n_{noise.T}}).$$

Вероятность приёма фотоэлектронов за период следования оптических импульсов в фоновом элементе составит

$$Pr\{n \geq 1|\overline{n_{noise.T}}\} = Pr_{noise.T} = 1 - Pr0_{noise.T} = 1 - \exp(-\overline{n_{noise.T}}).$$

В программе предусмотрен вывод графика вероятности приёма $n_{noise.T}$ шумовых фотоэлектронов за период следования оптических импульсов при заданном среднем числе шумовых импульсов $\overline{n_{noise.T}}$.

Параметры аппаратуры в ждущем режиме. В системе поиска реализуется ждущий режим [10], предусматривающий отключение непосредственно только

диссектора после первого срабатывания АД до временного момента t_{strob1} .

При моделировании вычисляется длительность импульса стробирования

$$\tau_{strob} = 2 \cdot \tau_s + 2 \cdot \Delta T_s + 11,6 \cdot \frac{b_{SPD} \cdot U_{PHD}}{\Pi_{SPD} \cdot U_{SPP.m}}.$$

Рассчитывается математическое ожидание и дисперсия числа шумовых импульсов за длительность импульса стробирования τ_{strob} :

$$\overline{n_{noise.strob}} = \sigma_{noise.strob}^2 = \xi_{noise} \tau_{strob}.$$

В модели число шумовых импульсов (фоновых фотоэлектронов и ИТТ) n за длительность импульса стробирования описывается законом Пуассона

$$Pr\{n|\overline{n_{noise.strob}}\} = \frac{\overline{n_{noise.strob}}^n}{n!} \exp(-\overline{n_{noise.strob}}).$$

При этом вероятность нулевого события за время стробирования в фоновом элементе составит $Pr\{n = 0|\overline{n_{noise.strob}}\} = Pr0_{noise.strob} = \exp(-\overline{n_{noise.strob}})$, а вероятность приёма хотя бы одного фотоэлектрона или ИТТ –

$$Pr\{n \geq 1|\overline{n_{noise.strob}}\} = Pr_{noise.strob} = 1 - \exp(-\overline{n_{noise.strob}}).$$

Расчётные вероятностные характеристики системы поиска. К вероятностным характеристикам аппаратуры пространственно-временного поиска импульсных сигналов в режиме регистрации однофотонных импульсов в фоновых элементах относится вероятность ложных тревог

$$P_{fa} = [1 - \exp(-\overline{n_{noise.T}})] \cdot [1 - \exp(-\overline{n_{noise.strob}})].$$

Расчётные временные характеристики системы поиска. К временным характеристикам аппаратуры поиска импульсных сигналов в режиме регистрации однофотонных импульсов относится среднее время наблюдения фонового пространственного элемента разложения.

В программе, реализующей предложенный алгоритм пространственно-временного поиска источника оптического излучения при приёме фонового излучения, время наблюдения элемента разложения принимается равным:

- периоду T_s при отсутствии превышения уровня дискриминации на интервале $[0, T_s]$;
- двум периодам $2T_s$ при регистрации ОФИ или ИТТ на интервале $t \in [0, T_s - 0,5 \cdot \tau_{strob}]$, но при отсутствии подтверждения факта регистрации ОФИ полезного излучения при повторном анализе;
- трём периодам $3T_s$ при отсутствии регистрации ОФИ или ИТТ на интервале $t \in [0, T_s - 0,5 \cdot \tau_{strob}]$, регистрации хотя бы одного ОФИ или ИТТ на интервале $t \in [T_s - 0,5 \cdot \tau_{strob}, T_s]$, но отсутствие регистрации во время повторного анализа.

В этом случае теоретическое значение среднего времени наблюдения фонового пространственного элемента составляет

$$M\{t_{cell}\} = \bar{t}_{cell} = T_s \cdot \exp(-\bar{n}_{noise.T}) + \rightarrow \\ + 2 \cdot T_s \cdot \left[1 - \exp\left(-\bar{n}_{noise.T} + \frac{n_{noise.strob}}{2}\right) \right] \cdot \exp(-\bar{n}_{noise.T}) + \rightarrow \\ + 3 \cdot T_s \cdot \exp\left(-\bar{n}_{noise.T} + \frac{n_{noise.strob}}{2}\right) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{n_{noise.strob}}{2}\right) \right] \\ \cdot \exp(-\bar{n}_{noise.T}).$$

Таким образом, в модели предусмотрен расчёт и вывод на печать исходные данные и параметры комплекса поиска в условиях приёма только фонового излучения.

Генерация шумовых импульсов. При регистрации оптического излучения возникает необходимость разработки экономной по быстродействию статистической модели, которая с достаточной точностью воспроизводит процесс генерации шумовых импульсов.

Процесс на выходе катода фотодетектора представляет последовательность временных отсчётов (событий), соответствующих моментам появления шумовых импульсов. Причём количество шумовых импульсов N и моменты их приёма t_k являются случайными величинами. В этих условиях моделирование потока фотоэлектронов заключается в построении реализации, состоящей из случайно распределённых в интервале измерения $[0, \tau_{change}]$ событий $t_k < \tau_{change}, k = \overline{1, N}$.

Генерация событий (шумовых импульсов) производится в два этапа: генерация количества принимаемых шумовых импульсов за время измерения $t \in [0, \tau_{change}]$ и генерация моментов их приёма.

В модели генерация случайных чисел n , подчиняющихся закону распределения Пуассона, осуществляется с помощью функции `poissrnd(x)` из каталога MatLab. Здесь x представляет математическое ожидание случайной величины, которое на первом этапе соответствует $\bar{n}_{noise.T}$, а в процессе повторного опроса – $\bar{n}_{noise.strob}$.

Для проверки генератора случайных чисел N , подчиняющихся закону Пуассона с математическим ожиданием 2,010, проведено 1 000 000 независимых статистических испытаний. Результаты испытаний: среднее число 2,011

(погрешность 0,07 %). Погрешности расчёта дисперсии, СКО и вероятности нулевого события составляли соответственно 0,02; 0,01 и 0,01 %.

На втором этапе в интервале $t \in [0, \tau_{change}]$ определяются моменты приёма шумовых импульсов. В модели случайные моменты t_k появления фоновых фотоэлектронов и ИТТ находят из соотношения $t_k = Z_k \cdot T_s$. Здесь Z_k – равномерно распределённая на интервале [0, 1] случайная величина. Для её генерации использована функция `rand(1)` из каталога MatLab.

Заметим, что генерируемое значение t_2 может быть как больше, так и меньше значения t_1 . Следовательно, моменты появления шумовых импульсов $t_{noise1}, t_{noise2}, \dots, t_{noiseN}$ должны представлять упорядоченную последовательность величин t_1, t_2, \dots, t_N . Для этого при моделировании первоначально создаётся массив данных из n случайных чисел с элементами $xx(k) = Z_k, k = 1, n$. Затем с помощью функции `sort(xx(1:n))` из каталога MatLab производится их сортировка по нарастанию значений.

Таким образом, процесс на выходе фотокатода однофотонного диссектора представляет последовательность временных отсчётов, соответствующих моментам появления фотоэлектронов фонового излучения, а также импульсам темнового тока. Причём число фоновых ОФИ и ИТТ n_{noise} и временные моменты их появления $t_{noise,j}, j = \overline{1, n_{noise}}$ являются случайными величинами, подчинёнными закону Пуассона.

Список литературы

1. Бычков С.И., Румянцев К.Е. Поиск и обнаружение оптических каналов: Монография / Под ред. К.Е. Румянцева. – М.: Радио и связь, 2000. – 282 с.
2. Румянцев К.Е., Албогачиева Л.А., Баматгиреева К.Б. Алгоритм пространственно–временного поиска импульсных сигналов в режиме одноканальной регистрации однофотонных импульсов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2012. – Т. 8, № 4. – С. 3 – 11.
3. Румянцев К.Е., Баматгиреева К.Б. Вероятностные характеристики алгоритма пространственно-временного поиска импульсного излучения с одноканальной обработкой информации // XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия «Технические науки. Информационные технологии». – 2014. – №3 (20). – 208 с. – С. 70 – 77.
4. Ковалев В.В., Субботина Ф.М, Шубников Е.Н. Времена пролета электронов в ФЭУ // Приборы и техника эксперимента. – 1972. – №1. – С.158–159.
5. Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника: учебник для студ. вузов. – М. : Высшая школа, 2001. – 573 с.
6. Румянцев К.Е. Одноэлектронные регистраторы оптических сигналов. – Таганрог: ТРТИ, 1991. – 52 с.
7. Ковалев В.В., Субботина Ф.М, Шубников Е.Н. Времена пролета электронов в ФЭУ // Приборы и техника эксперимента. – 1972. – № 1. – С. 158–159.
8. Румянцев К.Е. Достоверность результатов одноэлектронной регистрации оптических потоков // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1986. – Т. 29. – № 12. – С. 62–65.
9. Албогачиева Л.А., Баматгиреева К.Б., Румянцев К.Е. Хасамбиев И.В. Осо-

бенности работы аппаратуры пространственно-временного поиска импульсного излучения с одноканальной обработкой информации в ждущем режиме // Телекоммуникации. 2014.

УДК 621.396.96
ББК 30

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОИСКА ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ
В РЕЖИМЕ РЕГИСТРАЦИИ ФОТОНОВ**

© *Л.А. Албогачиева, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова*
(г. Грозный, Россия)

© *К.Е. Румянцев, Южный федеральный университет*
(г. Ростов-на-Дону, Россия)

**MODELLING OF SEARCH OF PULSE SIGNALS
IN A PHOTONS REGISTRATION MODE**

© *L.A. Albogachieva, Grozny State Oil Technical University of Acad. M.D. Millionshtchikov (Grozny, Russia)*

© *K.E. Rummyantsev, Southern Federal University*
(Rostov-on-Don, Russia)

Обнаружение момента появления оптического импульса является необходимым условием установления связи между движущимися корреспондентами. Известен алгоритм пространственно-временного поиска импульсных сигналов в режиме регистрации фотонов (одnofотонных импульсов, ОФИ). Предложенный алгоритм поиска основан на том, что на приёмном конце поискового комплекса известен период следования оптических сигналов.

С помощью разработанной имитационной модели доказана работоспособность и проверена эффективность алгоритма, измерены статистические характеристики системы поиска источников импульсного излучения с обнаружением момента появления сигнала при использовании однофотонного диссектора с ограниченной полосой пропускания.

Ключевые слова: пространственно-временной поиск, однофотонный импульс, однофотонный диссектор, модель, статистические характеристики.

Detection of the optical pulse reception moment is a necessary condition for communication between moving correspondents. The search algorithm of pulse signals in a photons registration mode (single-photon pulses) is known. It is considered that in a reception complex the optical signals period is known.

By means of the developed simulation model working capacity is proved and algorithm efficiency is checked up, statistical characteristics of search system of radiation sources with detection of the occurrence moment of a signal are measured at use of an single-photon dissector with the limited pass-band.

Key words: search, single-photon pulse, single-photon dissector, model, static parameters.

Моделирование процесса регистрации шумовых импульсов в ходе предварительного поиска. В [1] описана модель пространственно-временного поиска источников импульсного излучения с обнаружением момента появления оптического импульса при использовании однофотонного диссектора с ограниченной полосой пропускания при одноканальной регистрации однофотонных импульсов. В модели исключены допущения и ограничения (в отношении формы однофотонного импульса и временного момента приёма фотоэлектрона внутри оптического импульса), принятые при установлении количественных соотношений для описания параметров комплекса поиска [2].

Имитационное моделирование процесса регистрации шумовых импульсов во время предварительного поиска $t \in [0, T_s]$ заключается в нахождении числа

шумовых импульсов $n_{noise.T}$ с временными моментами прихода $t_{noise.j}, j = 1, n_{noise}$. [3]. Здесь T_s – период следования оптических сигналов. Под шумовыми импульсами понимаются как однофотонные импульсы фонового излучения, так и импульсы темнового тока (ИТТ) диссектора.

В модели однофотонный диссектор имеет N_d динодов, коэффициент умножения G_{SPD} . Время пролета электронами между двумя соседними динодами диссектора в модели определяется значением τ_d .

Для исследования процесса регистрации шумовых импульсов в течение времени $t \in [0, T_s]$ важно знать ряд величин (рисунок 1).

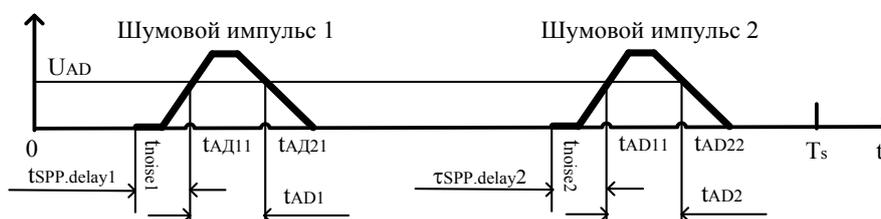


Рисунок 1 – Регистрация шумовых импульсов

Во-первых, находятся моменты срабатывания АД $t_{AD1k}, k \leq n_{noise}$ по пороговому уровню U_{AD} . Особое внимание уделяется измерению момента срабатывания АД t_{AD11} и времени задержки между моментами прихода шумового импульса и срабатывания АД $\tau_{SPP.delay1}$.

Во-вторых, определяются моменты окончания действия импульса на выходе амплитудного дискриминатора $t_{AD2k}, k \leq n_{noise}$.

В-третьих, измеряется время задержки $\tau_{SPP.delay.k} = t_{AD1k} - t_{noise.k}, k \leq n_{noise}$ между моментами прихода шумового импульса и срабатывания амплитудного дискриминатора по уровню U_{AD} .

И наконец, оценивается длительность формируемого амплитудным дискриминатором импульса $\tau_{AD.k} = t_{AD2k} - t_{AD1k}, k \leq n_{noise}$.

Используя аппроксимацию формы однофотонных импульсов (ОФИ) [4], получены приближённые выражения для нахождения времени задержки $\tau_{SPP.delay}$ между моментами прихода одиночного шумового импульса t_{noise} (фонового фотоэлектрона (ФЭ) t_{pHE} или ИТТ t_{DCP}) и срабатывания амплитудного дискриминатора t_{AD1} по пороговому уровню U_{AD} от ОФИ. Последнее позволяет разработать последовательность определения момента первого срабатывания амплитудного дискриминатора t_{AD11} по пороговому уровню U_{AD} , задав точность ε_u определения значения отсчёта u . Значение u считается найденным, если $\left| 1 - \frac{u}{U_{AD}} \right| \leq \varepsilon_u$.

При имитационном моделировании процесса регистрации шумовых импульсов в течение времени $t \in [0, T_s]$ задаются три величины:

– момент приёма первого шумового импульса t_{noise1} , используя подпрограмму генерации шумовых импульсов при $\bar{n} = \overline{n_{noise.T}}$;

– момент достижения первым шумовым импульсом пикового значения $t_{noise.m} = t_{noise1} + N_d \cdot \tau_d$;

– расчётное время задержки $\tau_{noise.delay1} = 7 \cdot \tau_d + 5,8 \cdot \tau_d \cdot U_{AD}/U_{SPP.m}$ между моментами срабатывания АД t_{AD11} и генерации шумового импульса t_{noise1} при регистрации только одного ФЭ или ИТТ.

Три ячейки отводятся под величины $x_{lower}, x_{mean}, x_{top}$.

Шаг 1. Первоначально проверяется условие генерации хотя бы одного шумового импульса в интервале $t \in [0, T_s]$. Если здесь нет импульсов, то выносится решение об отсутствии излучения источника. Испытание считается завершённым.

Если же принят хотя бы один импульс, то нижней границе для расчёта момента достижения процессом уровня амплитудной дискриминации U_{AD} присваивается значение $x_{lower} = t_{noise1}$, а верхней границе – $x_{top} = t_{noise.m}$.

Определяется момент измерения напряжения с выхода однофотонного диссектора

$$x_{mean} = 0,5 \cdot (x_{lower} + x_{top}).$$

Шаг 2. Вычисляется значение отсчёта процесса u с выхода диссектора в момент x_{mean} . Для этого задаётся $u=0$ и $x = x_{mean} - t_{noise1}$. Вычисляется уровень первого ОФИ от сгенерированного ФЭ или ИТТ в момент t_{noise1} и измеренного в момент x_{mean}

$$y = U_{SPP.m} \cdot \left(\frac{x}{N_d \cdot \tau_d} \right)^{N_d} \cdot \exp \left(N_d - \frac{x}{\tau_d} \right).$$

Фиксируется значение отсчёта в момент x_{mean} первого ОФИ от сгенерированного шумового импульса в момент t_{noise1} : $u=u+y$.

Шаг 3. Проверяется условие влияния отклика на второй ФЭ или ИТТ в момент взятия отсчёта напряжения: $t_{noise2} < x_{mean}$. Если условие выполняется, то вычисляются значения $x = x_{mean} - t_{noise2}$, y и u . Здесь значение u представляет отсчёт напряжения в момент x_{mean} от двух ФЭ.

В общем случае, на j -м шаге проверяется условие влияния отклика на j -й шумовой импульс в момент взятия отсчёта напряжения. Если условие выполняется, то вычисляются значения $x = x_{mean} - t_{noise.j}$, y и u . Здесь значение u представляет отсчёт напряжения в момент x_{mean} с 1-го по j -й ФЭ.

Шаг 4. В случае отсутствия влияния на значение отсчёта j -го ФЭ или ИТТ

(условие $t_{noise2} < x_{mean}$ не выполняется) переходят к анализу полученного значения отсчёта u . Полученное значение u сравнивается с пороговым уровнем амплитудной дискриминации U_{AD} .

Если выполняется условие $t_{noise2} < x_{mean}$, то процесс вычисления момента отсчёта напряжения u с выхода диссектора считается завершённым.

Шаг 5. Если выполняется условие $t_{noise.j} \geq x_{mean}$, то проверяется условие $u < U_{AD}$. Если условие выполняется, то величине x_{lower} присваивается значение x_{mean} ($x_{lower} = x_{mean}$). В противном случае значение x_{mean} присваивается величине x_{top} ($x_{top} = x_{mean}$). По формуле $x_{mean} = 0,5 \cdot (x_{lower} + x_{top})$ уточняется момент взятия отсчёта напряжения с выхода диссектора. Осуществляется переход к шагу 2. Фиксируется момент срабатывания АД: $t_{AD11} = x_{mean}$.

Шаг 6. Вычисляется время задержки между моментами прихода импульса и срабатывания АД по уровню U_{AD} : $t_{SPP.delay1} = t_{AD11} - t_{noise1}$.

Испытание считается завершённым.

Схема программы, реализующей описанный алгоритм вычисления момента срабатывания АД t_{AD11} и времени задержки между моментами прихода шумового импульса и срабатывания АД по уровню U_{AD} в течение времени $t \in [0, T_s]$, представлена на рисунке 2.

Общие требования к организации имитационного моделирования комплекса поиска в условиях приёма фонового излучения. Для организации испытаний комплекса поиска в условиях приёма только фонового излучения при имитационном моделировании введено обозначение i для текущего номера и N_{test} для допустимого количества испытаний.

В процессе имитационного моделирования должны быть измерены статистические характеристики ряда случайных величин (СВ):

- момента срабатывания амплитудного дискриминатора;
- времени задержки между моментами прихода шумового импульса и срабатывания амплитудного дискриминатора;
- времени наблюдения фонового элемента разложения.

– **Тестовый вариант имитационного моделирования пространственно-временного поиска импульсных сигналов.** Для отладки имитационной модели поиска импульсных сигналов разработан тестовый вариант. Он предусматривал в процессе 100 статистических испытаний с выводом на печать численной и графической информации, позволяющей проверить качество работы модели. Особый интерес в тестовом варианте имитационного моделирования представляет вывод на печать значений случайных величин от номера статистического испытания.

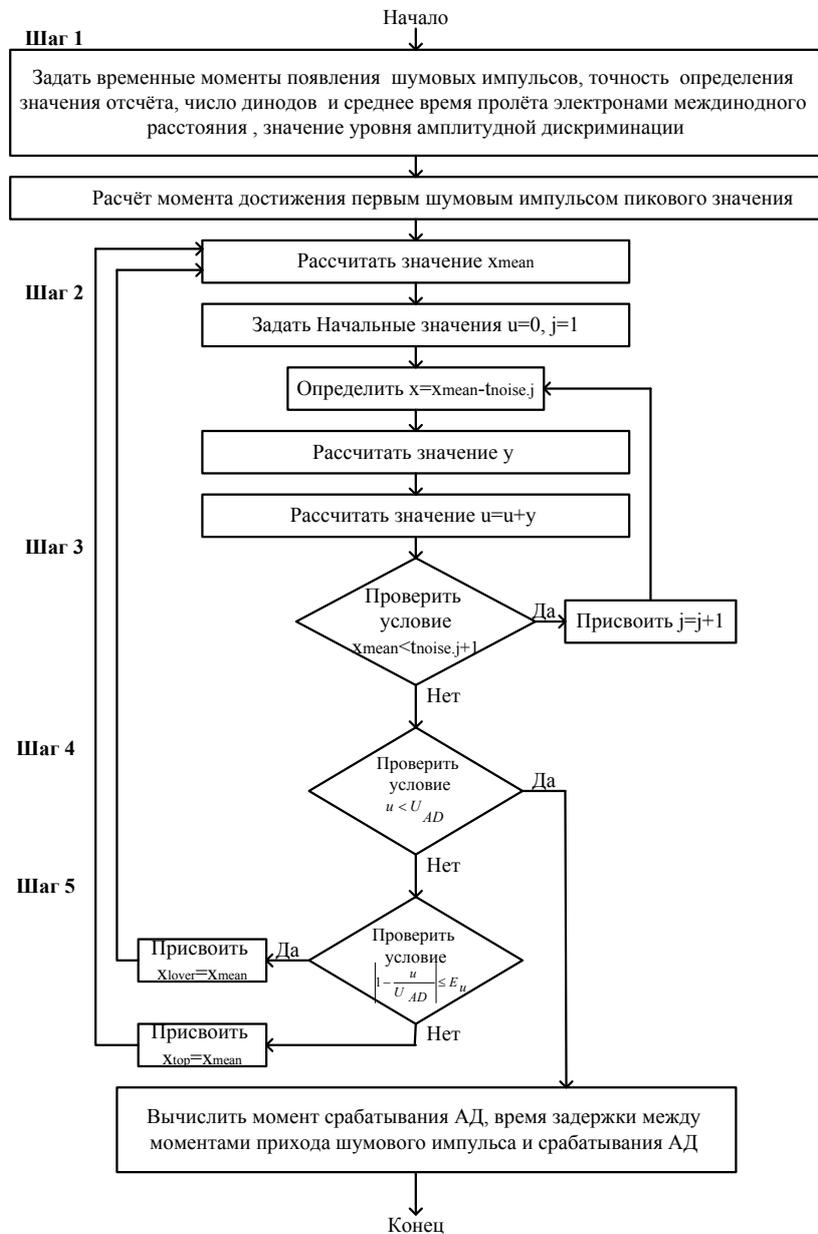


Рисунок 2 – Схема алгоритма вычисления момента срабатывания АД и времени задержки между моментами приёма шумового импульса и срабатывания АД

На рисунке 3 сплошной линией соединены значения моментов срабатывания АД, нормированных к периоду следования оптических импульсов. Здесь же штрихпунктирной линией определено среднее значение моментов срабатывания АД, вычисленное по результатам статистических испытаний. Сравнение показывает, что нулевые значения соответствуют отсутствию приёма шумовых импульсов за период следования оптических импульсов.



Рисунок 3 – Изменения момента срабатывания амплитудного дискриминатора

Графическое представление изменений в процессе статистических испытаний времени задержки между моментами прихода шумового импульса и срабатывания АД дано на рисунке 4 сплошной линией. Сравнение с зависимостью на рисунке 2 показывает, что нулевые значения времени задержки соответствуют отсутствию приёма ФЭ и ИТТ за период следования оптических импульсов. После исключения из рассмотрения этих точек видно, что имеют место случаи наложения ОФИ, что уменьшает время задержки между моментами приёма импульса и срабатывания АД. Однако такие случаи маловероятны.

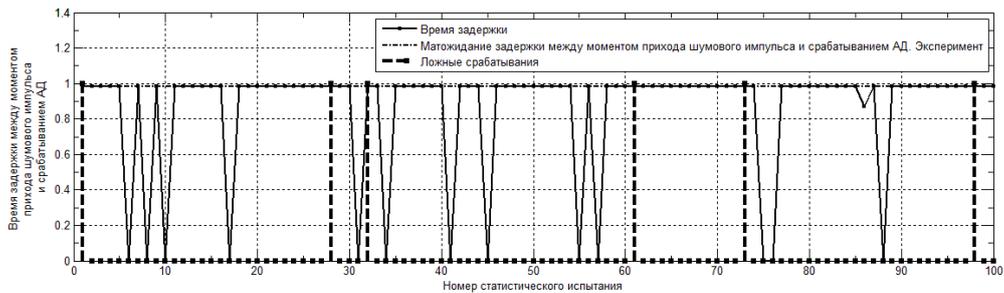


Рисунок 4 – Изменения времени задержки между моментами прихода шумового импульса и срабатывания амплитудного дискриминатора

Результаты статистических испытаний аппаратуры пространственно-временного поиска импульсных сигналов. Используя разработанную имитационную модель пространственно-временного поиска импульсных сигналов в режиме одноканальной регистрации однофотонных импульсов, приведено

$N_{test}=1\ 000\ 000$ статистических испытаний комплекса поиска в условиях приёма только фонового излучения.

Задаются параметры прямоугольного оптического импульса:

- длительность оптического импульса 10 нс;
- период следования оптических импульсов 1000 нс;
- нестабильность периода следования оптических импульсов 0 нс.

Рассчитываются нормированные параметры оптического импульса:

- нормированный период следования оптических импульсов, отнесённый к длительности оптического импульса, 100;
- коэффициент нестабильности периода следования, отнесённый к длительности оптического импульса 0 %;
- отношение нестабильности периода следования к периоду следования оптических импульсов 0 %.

Задаются параметры моделируемого однофотонного диссектора и его нагрузки:

- квантовая эффективность фотокатода 0,20;
- число динодов в электронной умножительной секции 14;
- коэффициент вторичной эмиссии 1-го динода 5;
- коэффициент вторичной эмиссии 2-го динода 5;
- коэффициент вторичной эмиссии 3-го динода 3;
- коэффициенты вторичной эмиссии 4-го и последующих динодов 3;
- постоянная времени пролёта электронами между динодами 1 нс;
- частота появления импульсов темнового тока 10 кГц;
- *сопротивление нагрузки однофотонного диссектора 100 Ом.*

Рассчитываются производные параметры однофотонного диссектора:

- коэффициент умножения (среднее значение) $1,33 \times 10^7$;
- коэффициент пропорциональности 0,03586;
- полоса пропускания 35,86 МГц;
- произведение полосы пропускания однофотонного диссектора на длительность оптического импульса 0,3586.

Производится расчёт параметров однофотонного импульса:

- амплитуда ОФИ на сопротивлении нагрузки однофотонного диссектора 22,53 мВ;
- длительность ОФИ 9,20 нс по уровню 0,5;
- нормированная длительность ОФИ по уровню 0,5 к длительности – оптического импульса 0,92;
- длительность основания аппроксимации ОФИ 16 нс;
- нормированная длительность основания аппроксимации ОФИ к длительности оптического импульса 1,60;
- длительность вершины аппроксимации ОФИ 2,40 нс;
- нормированная длительность вершины аппроксимации ОФИ к длительности оптического импульса 0,24.

Рассчитываются производные параметры амплитудного дискриминатора:

- нормированный уровень дискриминации к амплитуде ОФИ 0,5;
- пороговый уровень амплитудной дискриминации 11,27 мВ;
- время задержки между моментами прихода шумовых импульсов и срабатывания АД 9,9 нс.

По заданной частоте генерации фоновых фотонов 10 МГц рассчитывается частота генерации фоновых фотоэлектронов 2 МГц.

Шумовое воздействие учитывается следующими параметрами:

- частота генерации шумовых импульсов 2,01 МГц;
- среднее число шумовых импульсов за период следования оптических импульсов 2,01;
- дисперсия числа шумовых импульсов за период следования оптических импульсов 2,01;
- вероятность нулевого события за период следования оптических импульсов в фоновом элементе 0,134;
- вероятность приёма шумовых импульсов за период следования оптических импульсов в фоновом элементе 0,866.

Уточняются временные, энергетические и вероятностные параметры аппаратуры в ждущем режиме:

- длительность импульса стробирования 25,80 нс;

- нормированная длительность импульса стробирования к длительности оптического импульса 2,58;
- среднее число и дисперсия числа фоновых ФЭ и/или ИТТ за время стробирования 0,0519;
- вероятность нулевого события за время стробирования 0,949;
- вероятность приёма шумовых импульсов за время стробирования 0,051.

Производится расчёт теоретических значений временных и вероятностных параметров аппаратуры пространственно-временного поиска:

- вероятность ложных тревог 0,044;
- среднее значение времени анализа фонового элемента разложения, нормированное к периоду следования оптических импульсов 1,835.

Погрешность расчёта значения момента достижения процессом уровня амплитудной дискриминации методом итераций задана в 1 %.

Результаты статистических испытаний предусматривают контроль энергетических и вероятностных параметров аппаратуры на первом этапе поиска импульсных сигналов и сравнение с теоретическими значениями:

- среднее число шумовых импульсов за период следования оптических импульсов 2,011 (Расхождение с теоретическим значением 0,07 %);
- дисперсия числа шумовых импульсов за период следования оптических импульсов 2,010 (Расхождение с теоретическим значением 0,02 %);
- СКО числа шумовых импульсов за период следования оптических импульсов 1,418 (Расхождение с теоретическим значением 0,01 %);
- среднее количество шумовых импульсов, принятых за длительность оптических импульсов в начале поиска 0,0231;
- среднее количество шумовых импульсов, принятых за длительность оптических импульсов в конце поиска 0,0229;
- вероятность нулевого события за период следования импульсов в фоновом элементе 0,1338 (Расхождение с теоретическим значением 0,17 %).

В процессе статистических испытаний моменты достижения процессом порогового уровня определены:

- среднее значение момента срабатывания АД, нормированное к периоду следования импульсов, 0,353;
- дисперсия момента срабатывания АД, нормированная к периоду следования оптических импульсов, 0,0689.

Гистограмма распределения моментов срабатывания АД, нормированных к периоду следования импульсов, представлена на рисунке 5.

В процессе статистических испытаний времени задержки между моментами приёма ФЭ и срабатывания АД определены:

- нормированное среднее значение времени задержки между моментами приёма шумовых импульсов и срабатывания АД к длительности оптического импульса 0,9841 (Расхождение с теоретическим значением 0,60 %);
- нормированная дисперсия задержки между моментами приёма шумовых импульсов и срабатывания АД $2,75 \times 10^{-5}$.

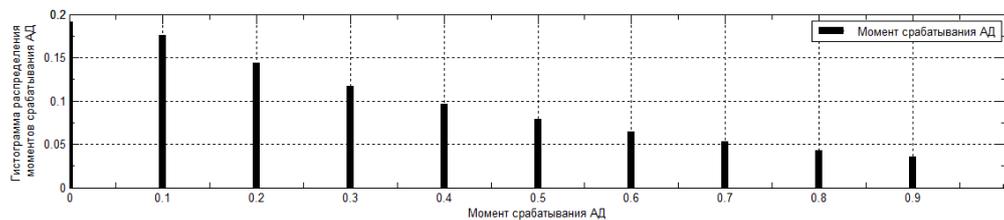


Рисунок 5 – Гистограмма распределения моментов срабатывания АД

В процессе статистических испытаний времени анализа фонового пространственного элемента разрешения определены:

- среднее время анализа элемента, нормированное к периоду следования импульсов, 1,3081 (Расхождение с теоретическим значением 28,70 %);
- дисперсия времени анализа элемента, нормированная к периоду следования оптических импульсов, 0,0744.

Гистограмма распределения времени анализа пространственного фонового элемента разрешения, нормированного к периоду следования оптических импульсов, представлена на рисунок 6.

В процессе статистических испытаний определена вероятность ложных тревог 0,0436. Расхождение с теоретическим значением составляет всего лишь 0,31 %).

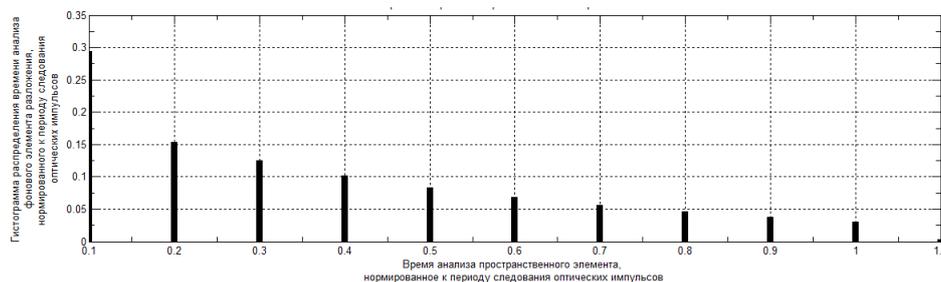


Рисунок 6 – Гистограмма распределения времени анализа фонового элемента

Выводы. С помощью разработанной имитационной модели доказана работоспособность и эффективность алгоритма, измерены статистические характеристики системы пространственно-временного поиска источников импульсного излучения с обнаружением и выделением момента появления оптического импульса при использовании сканирующего однофотонного диссектора с ограниченной полосой пропускания в режиме одноканальной регистрации однофотонных импульсов. В имитационной модели исключены допущения и ограничения (в отношении формы однофотонного импульса, постоянства коэффициента умножения однофотонного диссектора и временного момента приёма фотоэлектрона внутри оптического импульса), принятые при установлении количественных соотношений для описания параметров комплекса поиска.

Список литературы

1. Албогачиева Л.А., Румянцев К.Е. Имитационное моделирование характеристик помеховой обстановки при приеме фонового излучения и импульсов темнового тока однофотонным диссектором. // *Статья в настоящем журнале.*

2. Румянцев К.Е., Албогачиева Л.А., Баматгиреева К.Б. Алгоритм пространственно-временного поиска импульсных сигналов в режиме одноканальной регистрации однофотонных импульсов // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. – 2012. – Т. 8, № 4. – С. 3 – 11.
3. Бычков С.И., Румянцев К.Е. Поиск и обнаружение оптических каналов: Монография / Под ред. К.Е. Румянцева. – М.: Радио и связь, 2000, – 282 с.
4. Румянцев К.Е. Достоверность результатов одноэлектронной регистрации оптических потоков // *Изв. вузов. Радиоэлектроника*. – 1986. – Т. 29. – № 12. – С. 62–65.

УДК 28.23.15

ББК 30

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ ПОЛНОГРАДАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **В.В. Брызгалин**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **И.И. Сальников**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

THE SOLUTION TO THE PROBLEM OF SEGMENTATION OF POLYCHROMATIC IMAGES

© **V.V. Bryzgalin**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **I.I. Salnikov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассматривается решение задачи сегментации полноградационных изображений. Разработан метод адаптивной сегментации методом водораздела и реализован в виде программы для ПК. В качестве объектов исследования выступают пятна гауссового белого шума с различной амплитудой, смещением в пространстве и дисперсией.

Ключевые слова: сегментация, полноградационное изображение, локальная область, гауссовый шум, обнаружение границ областей

Article considers the problem of segmentation polychromatic images. The method of adaptive segmentation is developed and implemented as a program for the PC. As objects of the research are spots Gaussian white noise with different amplitude, displacement in space and dispersion.

Key words: segmentation, polychromatic image, local region, Gaussian noise, detection edges of areas

Сегментация как метод цифровой обработки изображений представляет собой разделение растрового изображения на пространственно-связанные группы элементов в виде локальных областей (ЛО) или сегментов [1,2]. Наиболее простой вариант сегментации возможен, если исходное изображение бинарное. Он изложен в [3]. Такой способ локализации областей имеет следующие недостатки.

1) В бинарном изображении невозможно определить координаты максимумов сегментов.

2) Бинарное изображение не всегда точно передает очертания объектов реального изображения.

Поэтому наиболее корректная сегментация получается, если исходное изображение полноградационное.

В работе ставятся следующие цели.

1) Создание алгоритма сегментации, реализующего:

- определение принадлежности пикселей к сегментам;
- определение границ между объектами, между объектом и фоном;
- определение координат максимумов локальных областей;
- адаптивный подбор порогового уровня яркости для выделения локальной области в зависимости от максимальной яркости объекта.

2) Анализ параметров локальных областей сегментированного изображения на предмет корректности работы алгоритма.

При проведении исследования приняты следующие допущения.

1) В качестве изображений полезных объектов выступают случайные пятна, яркость которых изменяется по гауссовому закону.

2) Яркость пикселей в области пересечения пятен определяется максимальным значением яркости пересекающихся пятен для данных координат.

3) Для увеличения сходства с реальными изображениями на изображения объектов накладываются высокочастотные шумы.

Анализ исходного изображения. Для проведения эксперимента использовано изображение в виде совокупности гауссовых пятен с разной амплитудой, смещением в пространстве и дисперсией (рисунок 1).

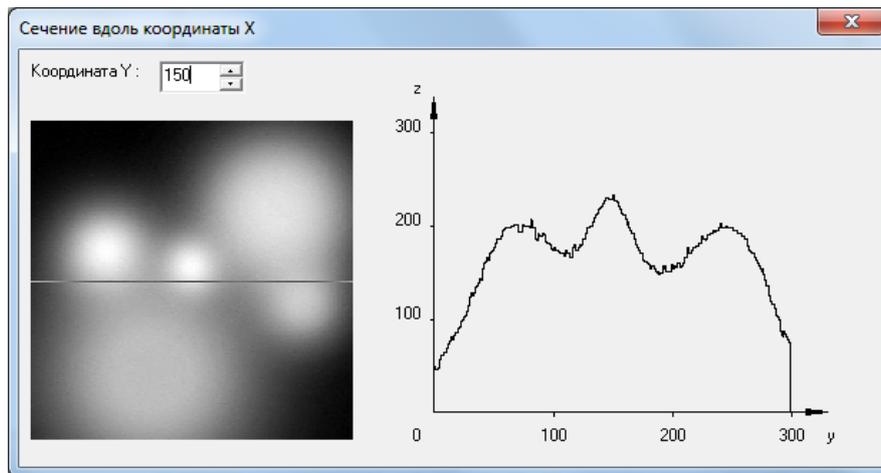


Рисунок 1 – Тестовое изображение (слева) и сечение яркости по строке изображения (справа)

Разрешение тестового изображения 300 x 300 пикселей. Функция Гаусса двух переменных описывается выражением:

$$f(x, y) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{((x-\mu_x)^2 + (y-\mu_y)^2)}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (1)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение,
 μ_x, μ_y – смещение от центра пятна от начала координат по осям x и y .

Сегментация методом водораздела. Метод получил свое название по аналогии с разделением на картах бассейнов рек. Первоначально определяется граница между изображениями объектов, а затем формируются их контуры.

Для тестирования метода разработано программное средство на языке C++. Рассмотрим этапы алгоритма сегментации.

1) Сглаживание исходного изображения.

Одной из целей разработки метода является определение координат максимумов локальных областей. Проанализировав сечение яркости по строке тестового изображения (рисунок 1), сделаем вывод: на тестовом изображении присутствует множество ложных максимумов, которые могут быть ошибочно приняты за объекты. Поэтому рекомендуется перед обработкой сглаживать изображение методом медианной фильтрации с шириной окна 3x3, 5x5 или 7x7 пикселей.

Медианная фильтрация – метод нелинейной обработки сигналов, разработанный Тьюки. Медианный фильтр наиболее эффективно подавляет разрозненные импульсные помехи [4]. Медианный фильтр представляет собой скользящее двумерное окно размером $N \times N$, охватывающее нечётное число элементов изображения. Центральный элемент $S_k(i, j)$ заменяется медианой всех элементов изображения в окне. Медианой дискретной последовательности a_1, a_2, \dots, a_{NxN} для нечетного N является тот её элемент, для которого существуют $(N-1)/2$ элементов, меньших или равных ему по величине, и $(N-1)/2$ элементов, больших или равных ему по величине (2).

$$\begin{cases} a_{NxN} = \{a_1, a_2, \dots, a_{NxN}\}, \\ N \in \{3, 5, 7, \dots\}, \\ a_1 < a_2 < \dots < a_{NxN}, \\ S_k(i, j) = a_{(NxN+1)/2}, \end{cases} \quad (2)$$

где N – ширина (высота) окна фильтра.

Медианную фильтрацию изображений в целях подавления шумов следует считать эвристическим методом, поэтому для конкретного изображения следует подбирать размеры сглаживающего окна $N \times N$. Для тестового изображения применена фильтрация с окном 7x7 пикселей (рисунок 2).

2) Выделение областей фона

Как правило, яркость фона меньше яркости объектов, поэтому в качестве параметра сегментации задается минимальная яркость полезного сигнала. На данном этапе создается матрица $nomer_segm(width, height)$ по размерам изображения для хранения номера сегмента каждого пикселя и инициализируется ненулевыми значениями. Для пикселей с координатами (i, j) и яркостью меньше минимальной яркости полезного сигнала $nomer_segm(i, j) = 0$.

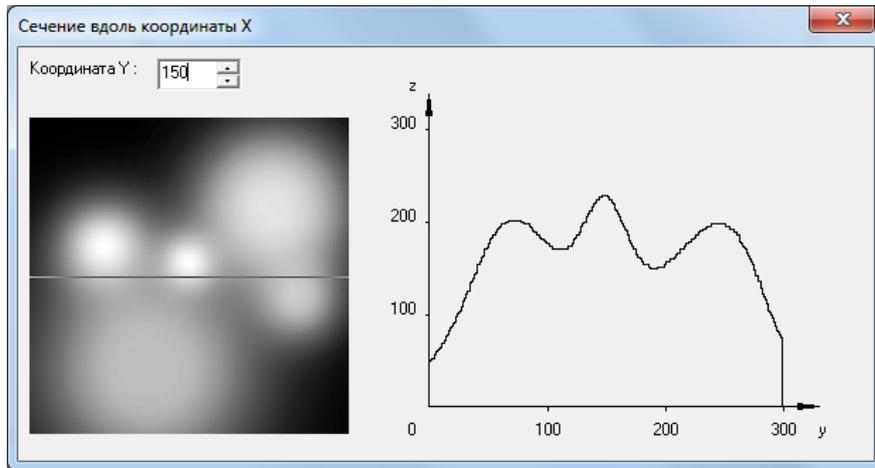


Рисунок 2 – Тестовое изображение после сглаживания (слева) и сечение яркости по строке сглаженного изображения (справа)

3) Поиск границ водораздела областей

Под границами водораздела областей понимают минимумы, соседствующие с 2 или более объектами. Принадлежность пикселя к границе определяется согласно (3).

$$\begin{cases} \max(S_k(i-k, j-m), S_k(i-2 \cdot k, j-2 \cdot m) \dots S_k(i-k \cdot n, j-m \cdot n)) > S_k(i, j), \\ \max(S_k(i+k, j+m), S_k(i+2 \cdot k, j+2 \cdot m) \dots S_k(i+k \cdot n, j+m \cdot n)) > S_k(i, j), \\ \{k, m\} \in \{(-1,0), (0,1), (-1,-1), (-1,1)\}, \\ \text{nomer_segm}(i, j) = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где k, m – горизонтальный и вертикальный индексы, определяющие направление анализа изображения,

n – количество соседних пикселей для определения границы.

Число n подбирается экспериментально так, чтобы выполнялось условие изоляции локальных областей. Две ЛО считаются изолированными друг от друга, если ни один пиксель первой ЛО не соседствует ни с одним пикселем второй ЛО. Применяется 8-связный формат соседства (пиксель с координатами (i, j) соседствует со всеми пикселями в квадрате от $(i-1, j-1)$ до $(i+1, j+1)$ [3,4]).

Процесс нахождения границ водораздела иллюстрирует рисунок 3.

Рассмотрим для примера горизонтальное направление. Пиксель с координатами (i, j) принадлежит границе водораздела областей, если его яркость меньше хотя бы одного из n соседних пикселей слева и хотя бы одного из n соседних пикселей справа. Для причисления пикселя к границе водораздела достаточно выполнения условия (3) для одного из 4 направлений.

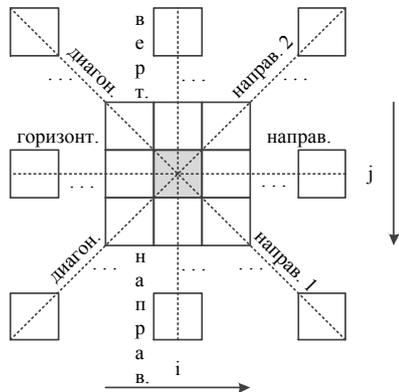


Рисунок 3 – Окно определения границ водораздела

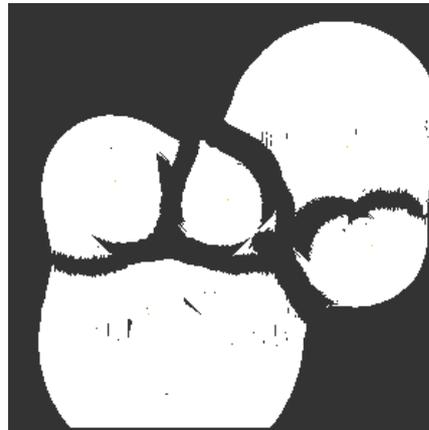


Рисунок 4 – Тестовое изображение после определения границ водораздела областей

На рисунке 4 представлено тестовое изображение после выполнения данного этапа сегментации. Были применены следующие значения параметров: количество соседних пикселей (n) – 15, минимальная яркость полезного сигнала – 100, размер окна медианной фильтрации – 7x7 пикселей. Яркость пикселя изображения может варьироваться от 0 до 255.

4) Сегментация бинарного изображения

За основу бинарного изображения берётся матрица $nomer_segm(i, j)$. Если $nomer_segm(i, j) \neq 0$, то в данной ЛО располагается объект. Остаётся только определить его границы. Для этого формируется массив записей с данными о всех ЛО. Для каждой области определяются координаты и яркость максимума, количество пикселей. На тестовом изображении (рисунок 4) обнаружено 7 ЛО, 2 из которых образованы шумовыми выбросами. Для устранения ошибок сегментации применяется размерная селекция областей.

5) Размерная селекция локальных областей

Изначально устанавливается порог размерной селекции – минимальное количество пикселей, которое должно быть в ЛО. Проверяется массив записей с данными о всех ЛО. Если количество пикселей ЛО меньше порога, то данная область исключается из дальнейшего рассмотрения.

6) Определение границ локальных областей

В рамках данного исследования принимается, что к определённой ЛО может относиться прилегающая граница водораздела, но не может область за границей водораздела. Предположим, что граница между объектами или между объектом и фоном находится в точках с максимальным и минимальным градиентом (рисунок 5).

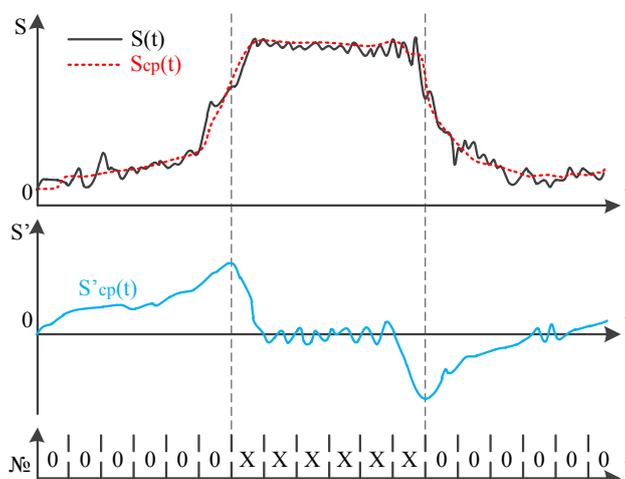


Рисунок 5 – Определение границ участка изображения

Градиент – векторная величина, характеризующая скорость изменения функции [5]. В качестве сигнала $S(t)$ используется яркость участка строки / столбца изображения (рисунок 5). Для функции $S(t)$ выполняется сглаживание медианной фильтрацией, в результате формируется сглаженная кривая $S_{CP}(t)$. На основе $S_{CP}(t)$ строится график производной функции $S'_{CP}(t)$, характеризующий градиент функции $S_{CP}(t)$ в одном из направлений. Градиент для каждой ЛО вычисляется из точки максимума в 4 направлениях (горизонтальном, вертикальном и двух диагональных). Производная $S'_{CP}(t)$ достигает максимума или минимума в точках с максимальной крутизной графика функции. Пиксели в промежутке между максимумом и минимумом $S'_{CP}(t)$ отмечаются принадлежащими к одному из сегментов (на рисунке 5 номер сегмента - X). Для каждой ЛО уровень яркости границы рассчитывается согласно (4). Дополнительную информацию о сегментации изображений с использованием градиента можно найти в [6].

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{GP} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_{GPi}, \\ S_{GPi} = \frac{S_{GP\ MIN\ i} + S_{GP\ MAX\ i}}{2}, \quad (4) \\ S_{GP\ MAX\ i} = \max(S'(t)), \\ S_{GP\ MIN\ i} = \min(S'(t)), \end{array} \right.$$

где S_{GP} – уровень яркости границы ЛО (минимальная яркость ЛО), i – направление поиска максимума градиента, n – количество направлений (в данном случае $n = 4$), S_{GPi} – уровень яркости границы ЛО i -го направления, $S_{GP\ MAX\ i}$ – уровень яркости максимума градиента i -го направления, $S_{GP\ MIN\ i}$ – уровень яркости минимума градиента i -го направления.

Полученное в результате сегментации изображение представлено на рисунке 6. Символом «+» выделены максимумы локальных областей.

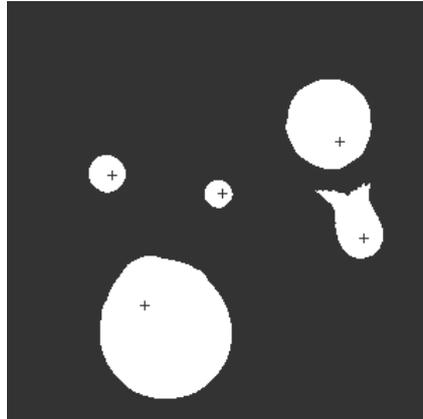


Рисунок 6 – Результаты сегментации методом водораздела

Оценка эффективности алгоритма сегментации. Чтобы оценить эффективность того или иного метода обработки изображений, анализируются статистические параметры полноградационного изображения: математическое ожидание, дисперсия, среднееквадратичное отклонение (СКО) и отношение сигнал/шум. Математическое ожидание (среднее значение яркости) вычисляется по формуле 5.

$$M\{S_K(i, j)\} = S_{CP} = \frac{1}{N_X \cdot N_Y} \cdot \sum_i \sum_j S_K(i, j), \quad (5)$$

где N_X – ширина изображения, N_Y – высота изображения.

На основе среднего значения яркости подсчитывается дисперсия:

$$\delta^2\{S_K(i, j)\} = \frac{1}{N_X \cdot N_Y} \cdot \sum_i \sum_j [S_K(i, j) - S_{CP}(i, j)]^2. \quad (6)$$

СКО вычисляется по формуле:

$$\delta\{S_K(i, j)\} = \sqrt{\frac{1}{N_X \cdot N_Y} \cdot \sum_i \sum_j [S_K(i, j) - S_{CP}(i, j)]^2}. \quad (7)$$

Оценка вышеперечисленных параметров возможна как для канала цветного, так и для полноградационного чёрно-белого изображения.

Отношение сигнал/шум может служить для оценки различимости объектов на изображениях. Отношение сигнал/шум показывает, во сколько раз яркость объектов превышает яркость фона.

$$N(M) = \frac{S_{ГР.СРЕД.} - M(S_K)}{\delta(S_K)}, \quad (8)$$

где $N(M)$ – отношение сигнал/шум полноградационного изображения, $S_{ГР.СРЕД.}$ – средняя яркость границы локальных областей изображения, $M(S_K)$ – математическое ожидание яркости изображения, $\delta(S_K)$ – среднееквадратичное отклонение яркости изображения.

$$S_{ГР.СРЕД.} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_{ГРi}, \quad (9)$$

где n – количество сегментов полноградационного изображения, $S_{ГРi}$ – минимальная яркость пикселей i -го сегмента.

Средний уровень яркости $M(S_K)$ считается нулевым, и от него отсчитывается $S_{ГР.СРЕД.}$. Необходимые для оценки эффективности работы алгоритма сегментации параметры исходного и преобразованного изображений (рисунки 2, 6), сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры сегментации методом водораздела

Название параметра	Значение параметра
$M(S_K)$ математическое ожидание	122,718
$\delta^2(S_K)$ дисперсия	4398,104
$\delta(S_K)$ среднеквадратичное отклонение	66,318
$S_{ГР.СРЕД.}$ средняя яркость границ ЛО	210,4
$N(M)$ отношение сигнал/шум	1,322

В результате проведенного исследования разработан и реализован в виде программы для ПК алгоритм сегментации полноградационных изображений. Все цели, поставленные перед исследованием, выполнены. Адаптивность алгоритма выражена в том, что границы ЛО на участке изображения зависят от характеристик объектов на данном участке, таких как координаты максимума яркости и экстремумы градиента яркости. Данный алгоритм сегментации найдет широкое применение при дешифрировании снимков местности с беспилотных летательных аппаратов с целью формирования электронной карты. Также сегментатор пригодится для выделения произвольных объектов растрового изображения при реализации алгоритма в виде подключаемого модуля к графическому редактору. К примеру, Adobe Photoshop поддерживает плагины на языке C++.

Существует аналогичное решение, реализующее метод водораздела. Пакет инструментов Image Processing Toolbox распространяется в составе программы MATLAB и реализует множество алгоритмов компьютерного зрения [7]. Исходный код MATLAB закрыт, так как программа платная. Поэтому целесообразно получение алгоритма сегментации с открытым исходным кодом. Полученное отношение сигнал/шум $N(M) = 1,322$ невелико, оно обусловлено параметрами тестового изображения – совокупности гауссовых белых пятен.

Список литературы

1. Хорн Б.К.П. *Зрение роботов*. – М.: Мир, 1989. – 487 с.
2. Сальников И.И. *Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений*. – М.: Физматлит, 2009. – 248 с.
3. Брызгалин В.В. *Исследование методов сегментации бинарных изображений. // Вопросы радиоэлектроники. Серия СОИУ. Выпуск 2*. – М.: ЦНИИ «Электроника», 2015. – С. 131-140.
4. Прэнт У. *Цифровая обработка изображений: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с., ил.
5. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. *Современная геометрия: Методы и приложения. Т. 1*. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. - 760 с.

6. Сальников И. И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 252 с.
7. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] / Журавель И.М. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/>. – Загл. с экрана.

УДК 621.375
ББК 30

**МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРЕЦЕССИОННОГО ДВИЖЕНИЯ
УДАЛЕННОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

- © *Д.А.Коркунов, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана*
(г. Москва, Россия)
- © *В.А.Кочкин, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана*
(г. Москва, Россия)
- © *А.В.Сакерин, НИИ Радиоэлектронной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана*
(г. Москва, Россия)

**THE METHOD OF THE REMOTE ROTATING OBJECT DYNAMIC
PRECESSION MOTION PARAMETERS ESTIMATION**

- © *D.A. Korkunov, Radio-electronic equipment research institute of Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)*
- © *V.A. Kochkin, Radio-electronic equipment research institute of Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)*
- © *A.V. Sakerin, Radio-electronic equipment research institute of Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)*

Рассмотрено решение задачи определения параметров вращения объектов, в частности, прецессионного движения объектов методами оптической и лазерной локации для диффузно отражающих объектов. Приведены методика и результаты расчета отражательных характеристик конической диффузной поверхности при прецессионном движении объекта, результаты моделирования. Рассмотрен алгоритм расчета параметров прецессионного движения объекта.

Ключевые слова: прецессия, диффузное отражение, бистатическая оптическая локация, модуляция излучения, угол нутации.

The solution of the problem of determining diffusely reflective objects rotation parameters, in particular, the objects precession motion by using optical and laser location systems is considered. The method and results of calculation of reflection characteristics of diffuse conical surface at the precession motion of the object, the simulation results are showed. An algorithm for calculating the parameters of the precession motion of the object is considered.

Key words: precession, diffuse reflection, bistatic optical location, modulation of the radiation, the nutation angle.

В оптической и лазерной локации одной из задач получения некоординатной информации об удаленных объектах является задача определения параметров их кооперированного и некооперированного движения вокруг центра масс. К таким задачам относятся определение параметров вращения объектов, прецессионного движения объектов, и др. В условиях априорной неопределенности отражательных характеристик целесообразно представление объектов как диффузно отражающих тел [1-3]. Величина диффузно отраженного от объекта локационного сигнала

(или излучения источника подсвета, например, Солнца) в направлении приемного канала является сложной функцией физических характеристик объекта (его формы, размеров, коэффициента отражения) и относительной ориентации и взаимного расположения объекта, передающего и приемного каналов локатора.

В общем случае для определения параметров движения динамического объекта может быть использована бистатическая схема информационно-измерительной локационной системы (ИИЛС), при которой подсветка объекта и прием отраженного сигнала осуществляется с различных направлений. Схема построения бистатической ИИЛС применительно к локации динамического объекта приведена на рисунке 1.

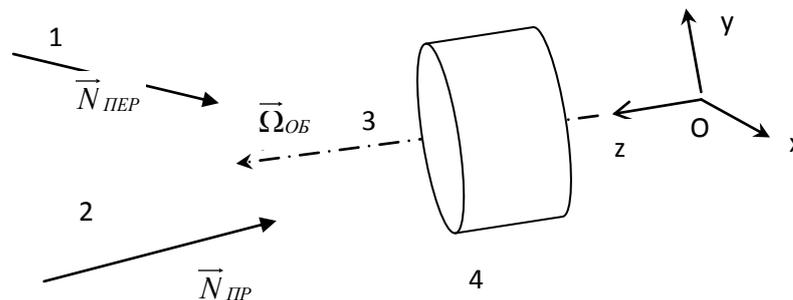


Рисунок 1 – Схема построения ИИЛС: 1, 2 – линии визирования передающего и приемного каналов ИИЛС; 3 – продольная ось динамического объекта 4

Задание схемы построения ИИЛС и определяемой ею взаимной ориентации ИИЛС и объекта позволяет при диффузном отражении от объекта получить зависимости, связывающие величину сигнала, отраженного от объекта в направлении приемного канала ИИЛС, с геометрией локатора и формой объекта, представленного в [4]. Естественно, что аналитические зависимости могут быть получены для объектов простой геометрической формы (шар, цилиндр, и т.д.). Для диффузно отражающего цилиндрического объекта высотой H и радиусом R освещенность в приемном канале ИИЛС [1]:

$$E_{PR} = \frac{E_L}{\pi L^2} HR \rho (1 - \alpha_\Sigma) \cos \xi_1 \cos \xi_2 \left[(\pi - \delta + 0,5 \sin 2\delta) \cos \delta + \sin^3 \delta \right], \quad (1)$$

где E_L и E_{PR} – освещенность в плоскости объекта, создаваемая передающим каналом и во входном зрачке приемного канала, ξ_1, ξ_2 – углы между плоскостью OXY и направлениями \vec{N}_{PER} «объект - передающий канал» и \vec{N}_{PR} «объект – приемный канал» ИИЛС, δ – угол между проекциями направлений \vec{N}_{PER} и \vec{N}_{PR} на плоскость OXY , ρ – коэффициент отражения объекта, α_Σ – суммарные потери в ЛИИС при прохождении среды распространения излучения, L – расстояние от объекта до приемного канала ИИЛС.

Для конического объекта высотой H и радиусом основания R общее выражение для освещенности в плоскости входного зрачка приемного канала ИИЛС имеет существенно более сложный вид и зависит от углов ориентации каналов ИИЛС относительно объекта [4-7]. Это объясняется тем, что в приемный канал ИИЛС попадает только часть диффузно отраженного излучения,

определяемая пересечением проекций конической поверхности на направления $\vec{N}_{ПЕР}$ и $\vec{N}_{ПП}$. Переходя к заданию конической поверхности через угол полураствора конуса $\psi = \arctg(R/H)$, имеем:

$$E_{ПП} = \frac{E_{Л}}{\pi L^2} HR \rho (1 - \alpha_{\Sigma}) \cdot [\cos \xi_2 \cdot \sin \delta \cdot \operatorname{tg} \psi \cdot \sin \xi_1 \cdot (\cos(\alpha_{\max}) - \cos(\alpha_{\min})) - 1) + \\ + \operatorname{tg} \psi \cdot (\cos \xi_2 \cdot \cos \delta \cdot \sin \xi_1 + \cos \xi_1 \cdot \sin \xi_2) \cdot (\sin(\alpha_{\min}) - \sin(\alpha_{\max})) + \\ + \cos \xi_1 \cdot \cos \xi_2 \cdot \cos \delta \cdot (0,5\alpha_{\min} + \frac{1}{3}\sin(2\alpha_{\min})) + 0,5(2\pi - \alpha_{\max}) - \frac{1}{3}\sin(2\alpha_{\max})) + \\ + \frac{1}{4}\cos \xi_1 \cdot \cos \xi_2 \cdot \sin \delta \cdot (\cos(2\alpha_{\max}) - 1 - \cos(2\alpha_{\min})) + \operatorname{tg}^2 \psi \cdot \sin \xi_1 \cdot \sin \xi_2], \quad (2)$$

$$\text{где } \alpha_{\min} = \min(\pi - \arccos(\operatorname{tg} \psi \cdot \operatorname{tg} \xi_2) + \delta, \pi - \arccos(\operatorname{tg} \psi \cdot \operatorname{tg} \xi_1)) \\ \alpha_{\max} = \max(\pi + \arccos(\operatorname{tg} \psi \cdot \operatorname{tg} \xi_2) + \delta, \pi + \arccos(\operatorname{tg} \psi \cdot \operatorname{tg} \xi_1)) \quad (3)$$

угловые граничные значения сегмента конической поверхности, подсвечивающей входной зрачок ИИЛС.

Для определения освещенности в плоскости приемного канала ИИЛС при вращательном движении объекта необходимо осуществить переход в подвижную систему координат $OX'YZ'$, связанную с вращающимся объектом. Считая, что ее ось OZ' совпадает с текущим положением продольной оси объекта, зависимость освещенности $E_{ПП}(t)$ определяется формулами вида (1,2), в которых значения углов также являются функциями времени, т.е.:

$$E_{ПП}(t) = \Phi \{ \vec{X}, \xi_1(t), \xi_2(t), \delta(t) \}, \quad (4)$$

где вектор параметров \vec{X} содержит параметры, не зависящие от взаимной ориентации объекта и ИИЛС (дальность, потери и т.д.).

При прецессионном движении объекта с угловой частотой $f_{ПП}$ вокруг оси OZ , начальной фазой прецессионного движения φ_0 и углом нутации ν матрица перехода между СК $OXYZ$ и $OX'YZ'$ может быть выражена через произведение матриц элементарных поворотов вокруг соответствующих осей координат

$$\mathbf{M}_{\Sigma} = \mathbf{M}_X(\nu) \mathbf{M}_Z(2\pi f_{ПП} t + \varphi_0) \quad (5)$$

$$\text{где } \mathbf{M}_X(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}, \quad \mathbf{M}_Z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

матрицы элементарных поворотов вокруг осей OX и OZ соответственно.

Для определения зависимости $E_{ПП}(t)$ необходимо определить функциональную связь между параметрами прецессионного движения и углами ξ_1 , ξ_2 , δ . Учитывая, что положение каналов ИИЛС постоянно, в СК $OX'YZ'$ вектора направлений «объект-источник» и «объект-наблюдатель» можно представить как:

$$\vec{N}_{ПЕР}(t) = \mathbf{M}_{\Sigma}(t)\vec{N}_{ПЕР}, \quad \vec{N}_{ПР}(t) = \mathbf{M}_{\Sigma}(t)\vec{N}_{ПР}. \quad (7)$$

В СК $OXY'Z'$ в координатной форме:

$$\vec{N}_{ПЕР}(t) = \begin{pmatrix} \cos \xi'_1 \cos \chi_1 \\ \cos \xi'_1 \sin \chi_1 \\ \sin \xi'_1 \end{pmatrix} = \mathbf{M}_{\Sigma}(t)\vec{N}_{ПЕР} = \mathbf{M}_{\Sigma}(t) \begin{pmatrix} \cos \xi \cdot \cos \alpha_1 \\ \cos \xi \cdot \sin \alpha_1 \\ \sin \xi \end{pmatrix}, \quad (8)$$

$$\vec{N}_{ПР}(t) = \begin{pmatrix} \cos \xi'_2 \cos \chi_2 \\ \cos \xi'_2 \sin \chi_2 \\ \sin \xi'_2 \end{pmatrix} = \mathbf{M}_{\Sigma}(t)\vec{N}_{ПР} = \mathbf{M}_{\Sigma}(t) \begin{pmatrix} \cos \xi \cdot \cos \alpha_2 \\ \cos \xi \cdot \sin \alpha_2 \\ \sin \xi \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где углы χ_1 и χ_2 определяют текущую ориентацию проекций векторов $\vec{N}_{ПЕР}$ и $\vec{N}_{ПР}$ в плоскости OXY' , $\chi_1 + \chi_2 = \delta'$, углы α_1 и α_2 определяют ориентацию проекций векторов $\vec{N}_{ПЕР}$ и $\vec{N}_{ПР}$ в плоскости OXY , $\alpha_1 + \alpha_2 = \delta$.

Величина угла δ может быть определено из взаимной ориентации векторов $\vec{N}_{ПЕР}$, $\vec{N}_{ПР}$ и $\vec{\Omega}_{ОБ}$:

$$\cos \delta = -\operatorname{tg} \xi'_1 \cdot \operatorname{tg} \xi'_2 + \frac{\cos \gamma}{\cos \xi'_1 \cdot \cos \xi'_2}, \quad (10)$$

где γ – угол «источник-объект-наблюдатель» между направлениями осей визирования приемного и передающего каналов ИИЛС: $\gamma = \arccos(\vec{N}_{ПЕР} \vec{N}_{ПР})$.

Текущие значения углов между направлениями «объект-источник», «объект-наблюдатель» и плоскостью OXY' $\xi'_1(t)$, $\xi'_2(t)$ определяются из решения системы матричных уравнений (5, 7). Величина угла $\delta'(t)$ между проекциями векторов $\vec{N}_{ПЕР}$ и $\vec{N}_{ПР}$ на плоскость OXY' определяется из выражения, по структуре аналогичного (10):

$$\cos \delta' = -\operatorname{tg} \xi'_1 \cdot \operatorname{tg} \xi'_2 + \frac{\cos \gamma}{\cos \xi'_1 \cdot \cos \xi'_2}.$$

Зависимость $E_{ПР}(t) = \Phi\{\vec{X}, \xi'_1(t), \xi'_2(t), \delta'(t)\}|_{\gamma, \nu}$ может быть получена подстановкой в базовые выражения (1) или (2, 3) определенных значений угловых переменных $\xi'_1(t)$, $\xi'_2(t)$, $\delta'(t)$. На рис. 2 приведены зависимости $E_{ПР}(t)$ при прецессирующем движении объекта.

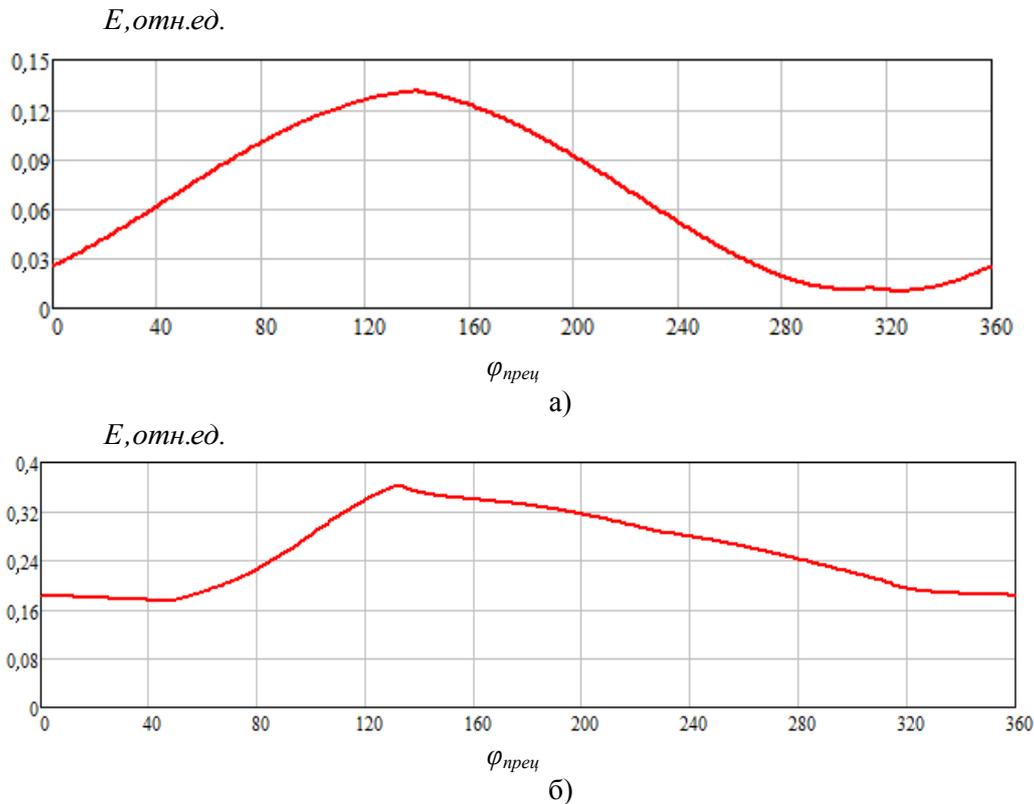


Рисунок 2 – Зависимости нормированной освещенности от угла поворота $\varphi_{\text{прец}}$ прецессирующего объекта:

а) – $\xi_1 = 78^\circ$, $\xi_2 = 87^\circ$, $\psi = 5^\circ$, $\gamma = 9^\circ$, $\delta = 45^\circ$, $\nu = 5^\circ$;

б) – $\xi_1 = 83^\circ$, $\xi_2 = 83^\circ$, $\psi = 5^\circ$, $\gamma = 14^\circ$, $\delta = 180^\circ$, $\nu = 15^\circ$.

Зависимости $\langle E_{\text{отн}} \rangle (\varphi)$ обладают существенной несимметричностью, имеют значительные интервалы, характеризующиеся близкой к линейной зависимостью от угла поворота объекта.

В качестве информативных признаков, используемых для анализа прецессионного движения, предложено использовать:

Максимальное и минимальное значения освещенности:

$$E_{\max} = \max_{\varphi \in [0, 360]} E(\varphi) \Big|_{\xi_1, \xi_2, \gamma, \nu} ; E_{\min} = \min_{\varphi \in [0, 360]} E(\varphi) \Big|_{\xi_1, \xi_2, \gamma, \nu} . \quad (11)$$

Среднее по периоду прецессионного движения значение освещенности

$$\langle E \rangle = \langle E(\varphi) \Big|_{\xi_1, \xi_2, \gamma, \nu} \rangle \Big|_{\varphi \in [0, 360]} \quad (12)$$

Коэффициент модуляции освещенности

$$K_E = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} . \quad (13)$$

Результаты расчетов зависимостей $E_{\text{ПП}}(t)$ и информативных признаков (12) и (13) в широком диапазоне изменения параметров ориентации объекта

и ИИЛС, параметров объекта и прецессионного движения представлены в графическом виде на рисунках 3-8. Дальность до объекта, геометрические размеры объекта и параметры фотоприемных и передающих устройств ИИЛС, определяющие энергетические характеристики, не влияют на функциональную зависимость освещенности от геометрии локационной схемы и параметров прецессирующего движения объекта, определяя только амплитудные характеристики регистрируемого сигнала. Поэтому расчетные данные представлены в относительных единицах (значения освещенности по формуле (2) нормированы на ве-

личину $\frac{E_{Л}}{\pi L^2} HR\rho(1 - \alpha_{\Sigma})$) для углов $\theta_{ПЕР} = 90^\circ - \xi_1$; $\theta_{ПР} = 90^\circ - \xi_2$,

которые имеют смысл углов визирования передатчика и приемника ИИЛС от объекта.

Для анализа влияния геометрии локационной схемы рассмотрены три варианта взаимной ориентации передатчика, приемника и объекта.

1. Передатчик и приемник расположены по разные стороны от траектории движения объекта, излучатель, приемник и объект расположены в одной плоскости ($\delta = 180^\circ$)

2. Передатчик и приемник расположены по одну сторону от траектории движения объекта, излучатель, приемник и объект расположены в одной плоскости $\delta = 0^\circ$;

3. Передатчик, приемник и объект расположены в различных плоскостях. Угол между плоскостями, образованными траекторией движения объекта и линиями визирования передатчика и приемника составляет 90° ($\delta = 90^\circ$).

На рисунках 3 и 4 рассмотрены зависимости коэффициента модуляции освещенности K_E от вариантов взаимной ориентации объекта, передатчика и приемника при различных углах визирования объекта.

Из сравнения данных зависимостей следует, что при увеличении угла подсвета объекта абсолютная величина K_E существенно возрастает, при этом влияние относительной ориентации объекта и каналов ИИЛС незначительно. При малых углах визирования объекта и малых углах нутации относительная ориентация объекта и ИИЛС оказывает существенное влияние на величину K_E (ср. поведение K_E при $\vartheta < 20^\circ$ рисунок 3,а), при этом схема расположения 1 становится предпочтительной.

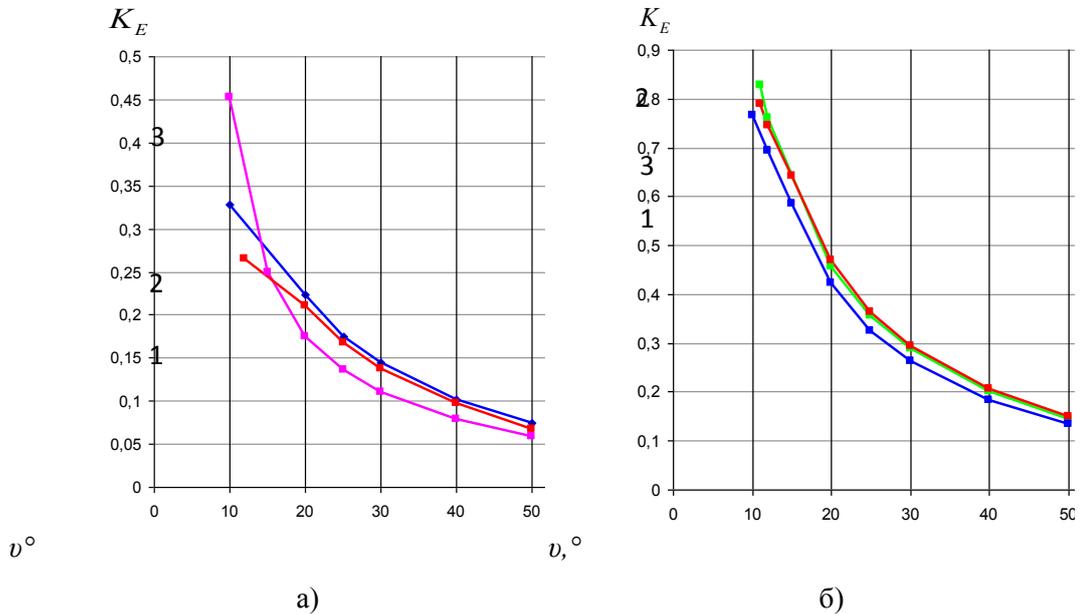


Рисунок 3 – Зависимость K_E от угла нутации ν

- а) - $\theta_{пр}=1^\circ$, $\theta_{пер}=5^\circ$ $\gamma = 4^\circ(1)$, $5,1^\circ(2)$, $6^\circ(3)$ ($\delta=0^\circ$, 90° и 180° соответственно).
 б) - $\theta_{пр}=1^\circ$, $\theta_{пер}=11^\circ$ $\gamma = 10^\circ(1)$, $11,04^\circ(2)$, $12^\circ(3)$ ($\delta=0^\circ$, 90° и 180°)

Из результатов расчетов следует, что необходимо увеличивать оба угла визирования, что может существенно увеличить значение K_E .

На рисунке 4 приведены зависимости величины $K_E(\mathcal{G})$ при одной той же геометрии локации для различных углов ψ . Величина ψ влияет на значение величины K_E только при малых углах нутации, сравнимых с ψ . При этом при больших значениях угла ψ наблюдается уменьшение величины K_E (ср. кривые 2 и 3 при $\nu < 15^\circ$).

На рисунке 5 проанализировано влияние геометрии подсвета объекта при равных углах визирования передатчика и приемника. При этом значение $\delta = 0^\circ$ соответствует моностатической ИИЛС. Из сравнения полученных результатов видно, что зависимость $K_E(\delta)$ носит нелинейный характер, причем наибольшим значениям K_E соответствует 3-ий вариант схемы построения наблюдений объекта ($\delta=90^\circ$). Это позволяет увеличить более, чем в 2 раза значения коэффициента модуляции по сравнению с вариантом 1.

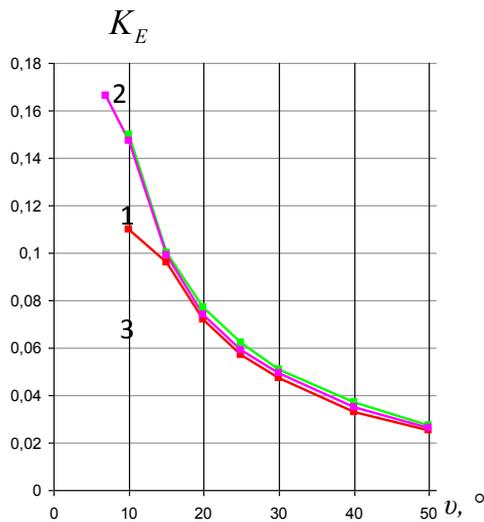


Рисунок 4 – Зависимость K_E от угла нутации ν . $\theta_{np}=1^\circ$, $\theta_{пер}=1^\circ$, $\gamma = 1,4^\circ$ ($\delta=90^\circ$) при $\psi=5^\circ(1)$, $7^\circ(2)$, $10^\circ(3)$

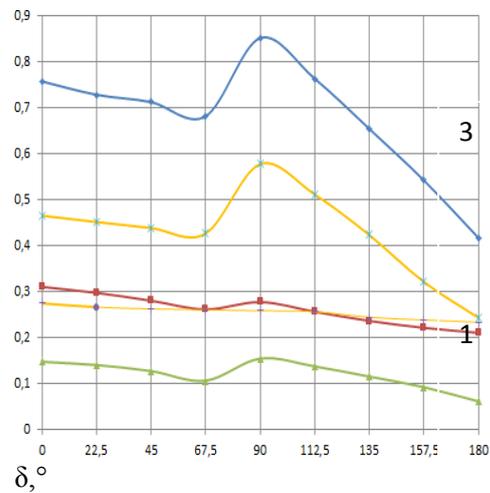


Рисунок 5 – Зависимости информационных параметров $K_E(1,3)$ и $\langle E_{OTN} \rangle(2,4)$ от угла δ . $\theta_{np}=\theta_{пер}=7^\circ(1,2)$, $\theta_{np}=\theta_{пер}=11^\circ(3,4)$. $\psi=5^\circ$.

Моностатическая схема построения ИИЛС проигрывает оптимальному варианту незначительно (~15... 20%). При этом среднее значение освещенности практически неизменно и мало зависит как от δ , так и от угла визирования (кривые 2 и 4, рисунок 5). Значение СКО зависимости $E_{IP}(t)$ (кривая 5, рисунок 5) практически повторяет ход кривой $K_E(\delta)$.

Обработка результатов расчетов (анализ зависимостей, примеры которых представлены в графическом виде на рис. 3 и 4) в широком диапазоне изменения величин $\theta_{пер}$, θ_{np} , γ показала, что в диапазоне углов нутации от 10° до 50° наблюдается обратно пропорциональная зависимость величины коэффициента модуляции K_E от угла нутации ν :

$$\hat{K}_E = K_0 \cdot \nu^A, \quad (14)$$

при этом коэффициент A принимает значения в интервале $[-1, 27 \dots]$.

Например, при $\theta_{np}=1^\circ$, $\theta_{пер}=5^\circ$, $\delta=180^\circ$ $A=-1,238$; $K_0 = 7,434$, остаточное СКО $\sigma = 0,0103$.

Для всего проанализированного диапазона изменения углов визирования объекта ($1^\circ \dots 21^\circ$) величина остаточного СКО не превысила 0,04.

Проведен анализ величины среднего за период нутационного движения значения отраженного сигнала $\langle E_{OTN} \rangle$.

На рисунке 6 приведены зависимости $\langle E_{OTN} \rangle$ от угла нутации ν при различных углах визирования объекта. Из полученных данных следует, что в широком диапазоне изменения углов визирования объекта зависимость средней

интенсивности отраженного сигнала от этих параметров отсутствует, в то же время наблюдается зависимость, близкая к линейной от угла нутации.

На рисунке 7 приведены зависимости $\langle E_{OTH} \rangle$ от угла нутации ν при различных углах конической поверхности. Наблюдается слабый рост $\langle E_{OTH} \rangle$ с увеличением угла ψ . Зависимость от угла нутации близка к линейной, при этом характер данной зависимости (коэффициент пропорциональности) одинаков. Следует отметить слабые отклонения от линейной зависимости в области малых значений угла нутации (при $\nu < 15^\circ$).

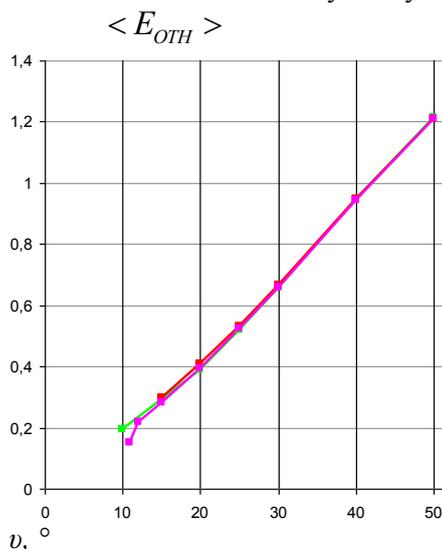


Рисунок 6 – Зависимость $\langle E_{OTH} \rangle$ от угла нутации ν .
 $\theta_{np}=1^\circ, \theta_{пер}=5^\circ$ (1) и $\theta_{np}=1^\circ, \theta_{пер}=11^\circ$ (2), $\theta_{np}=7^\circ, \theta_{пер}=11^\circ$ (3)
 $(\delta=90^\circ), \psi=10^\circ$.

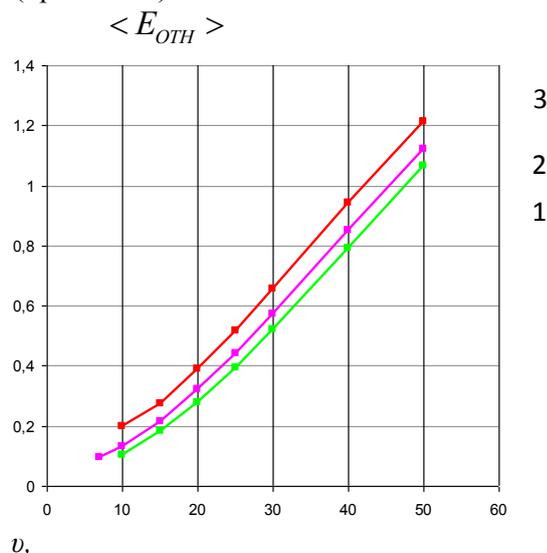


Рисунок 7 – Зависимость $\langle E_{OTH} \rangle$ от угла нутации ν . $\theta_{np}=1^\circ, \theta_{пер}=1^\circ, \delta=90^\circ$
 $\psi=5^\circ$ (1), 7° (2), 10° (3).

Полученные оценки совместно с априорно известной для каждого текущего положения объекта, излучателя и приемника геометрией локационной задачи (углы визирования $\theta_{пер}$ и θ_{np} , текущее угловое рассогласование приемника и излучателя γ) позволяют решить обратную задачу - по полученной реализации оценить величину угла нутации ν и периода прецессионного движения T .

Алгоритм получения данных оценок следующий:

- 1 Формирование последовательности изображений объекта $\{F_I(\vec{r}, t_J)\}$ и текущих оценок дальности до объекта $\{L_J, t_{Jf}\}, J=1 \dots K$;
- 2 Определение последовательности интенсивности зарегистрированных сигналов объекта $\{J_I(\vec{r}_{OB}, t_J)\}$ в последовательности изображений $\{F_I(\vec{r}, t_J)\}$;
- 3 Нормирование интенсивности зарегистрированных сигналов по дальности $\{J_I^H(\vec{r}_{OB}, t_J)\} = \{J_I(\vec{r}_{OB}, t_J) L_J\}$;

4 Формирование последовательностей экстремальных амплитуд сигнала $J(\vec{r}_{OB}, t_J)$ для каждого I -го периода прецессионного движения: минимумов $W_I = \begin{pmatrix} J_I^{min} \\ t_I^{min} \end{pmatrix}$ и максимумов $V_I = \begin{pmatrix} J_I^{max} \\ t_I^{max} \end{pmatrix}$, где J_I^{min} , J_I^{max} , t_I^{min} , t_I^{max} - амплитуды I -ых минимума и максимума и их временные привязки соответственно.

5 Определение периода прецессионного движения T как усредненного по наблюдаемому интервалу прецессионного движения (N периодов) временно-го интервала между максимумами (минимумами) в последовательности сигналов $V_I (W_I)$:
$$T = \frac{I}{N-1} \sum_{I=1}^{N-1} (t_{I+1}^{max} - t_I^{max});$$

6 Определение коэффициента модуляции сигнала $J(\vec{r}_{OB}, t_J)$ в пределах I -го периода прецессионного движения $K_{EI} = \frac{V_I - W_I}{V_I + W_I}$;

7 Формирование по параметрам геометрии локационной схемы $\theta_{пер}$, $\theta_{пр}$, γ оценок величин K_0 и A .

8 Определение оценки величины угла нутации $\psi = \sqrt[4]{\frac{\hat{K}_E}{K_0}}$;

9 Уточнение угла нутации путем проведения расчета зависимости $E_{ПП}(t) = \Phi \left\{ \vec{X}, \xi_1'(t), \xi_2'(t), \delta'(t) \right\} \Big|_{\gamma, \psi}$ и ее сравнения с зарегистрированными последовательностями нормированных интенсивностей отраженных сигналов $\{J_I^H(\vec{r}_{OB}, t_J)\}$.

По результатам проведенного моделирования могут быть сделаны следующие выводы:

1. При прецессионном движении объекта параметры отраженного сигнала (средняя освещенность и коэффициент модуляции) обладают существенной многопараметрической зависимостью от геометрии бистатической локационной схемы, задаваемой углами $\beta_{ПЕР}$, $\beta_{ПР}$ и углом γ между векторами линий визирования передатчика $\vec{N}_{ПЕР}$ и приемника $\vec{N}_{ПР}$, от геометрии объекта (например, угла раствора конической поверхности), угловой частоты прецессии и угла нутации.

2. Оптимизация построения схемы наблюдений позволяет существенно повысить энергетические и модуляционные характеристики отраженного сигнала.

3. Предложенный алгоритм определения параметров прецессионного движения динамических объектов обеспечивает возможность определения наличия вращения объектов и параметров их вращательного (прецессионного) движения при дистанционных измерениях.

Список литературы

1. Павлов А. В. Оптико-электронные приборы М.: Энергия, 1974, 360 с.

2. Лазерная локация //И.Н.Матвеев, В.В.Протопопов, И.Н.Троицкий, Н.Д.Устинов; Под ред. Н.Д.Устинова.-М.:Машиностроение, 1984. 272 с.
3. Основы импульсной лазерной локации В.И.Козинцев, М.Л.Белов, В.М.Орлов и др.; под ред. В.Н.Рождествина.-М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 571 с.
4. Кочкин В.А., Кутаев Ю.Ф. Определение параметров вращения динамического-го объекта. Радиооптические технологии в приборостроении // Материалы НТК п. Небуг, 2012, С. 295-298.Литвинская О.С., Сальников И.И. Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы. – Пенза: Изд-во Пензенский центр научно-технической информации. – 125 с.
5. Сальников И.И. Движущие силы развития средств удовлетворения информационных потребностей человека. // XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, – 2014. – № 3 (19). – С. 11-15.
6. Литвинская О.С., Сальников И.И. Структура принятия решения по выбору цифрового средства реализации алгоритма в информационной технической системе. // – М: Фундаментальные исследования, 2010, №12. – С.112-118.

УДК 004.93

ББК 30

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПРИЗНАКОВ
3D-ИЗОБРАЖЕНИЙ: АНАЛИЗ, СВОЙСТВА, ПРИМЕРЫ**

© А.А. Сёмов, ООО «КомХэлф» (г. Пенза, Россия)

**3D-IMAGES FEATURES ANALYTICS STRUCTURE: ANALYSIS,
PROPERTIES, EXAMPLES**

© А.А. Syemov, LLC «KomHelf» (Penza, Russia)

В статье описан новый подход к анализу и распознаванию 3D-изображений, основанный на методах стохастической геометрии и функционального анализа (метод гипертрейс-преобразования). Дается описание функционалов, входящих в аналитическую структуру признака. Представлены примеры построения аналитической структуры признака.

Ключевые слова: 3D-изображение, гипертрейс-преобразование, гипертрейс-матрица, гипертриплетный признак, функционалы аналитической структуры признака.

In this article a new approach to the 3D-images analysis and recognition based on methods of stochastic geometry and functional analysis are proposed (hypertrace-transform method). Functionals description included in the feature analytical structure is provided. Examples of features analytical structure are presented.

Key words: 3D-image, hypertrace-transform, hypertrace-matrix, hypertriplet feature, functionals of features analytical structure.

E-mail: matematik_aleksey@mail.ru

В настоящее время особую актуальность приобретают компьютерные технологии, направленные на обработку данных в виде изображений. Автоматизированные системы анализа и распознавания пространственных движущихся объектов применяются практически в каждой сфере жизнедеятельности человека. Речь идёт о таких областях, как охранные системы и видеонаблюдение, медицинская и техническая диагностика, робототехника, аэрокосмические исследования [1].

При этом следует отметить, что использование трехмерных (далее 3D) изображений является более предпочтительным, чем применение двумерных (далее 2D) изображений, так как первые позволяют реализовать ряд прикладных задач недоступных для решения с использованием двумерных данных. Поэтому развитие современных методов анализа и распознавания 3D-изображений является перспективным для научной сферы и актуальным для практической деятельности.

В статье предлагается развитие идей нового геометрического метода анализа и распознавания 3D-изображений – гипертрейс-преобразования [2, 3]. Его суть состоит в том, что 3D-изображение пространственного объекта сканируется сеткой параллельных плоскостей под разными углами обзора. Результат пересечения каждой сканирующей плоскости $B(\eta(\omega, \varphi), r)$ с трехмерной моделью F характеризуется числом: $G = \text{HyperT}(F \cap B(\eta(\omega, \varphi), r))$, где r, ω, φ – сферические координаты. В результате сканирования множество чисел G формирует гипертрейс-матрицу $3TM$, у которой ось 0ω направлена вертикально, ось 0φ – горизонтально, ось $0r$ – вглубь [3].

Признак 3D-изображения получается после обработки строк и столбцов матрицы $3TM$ функционалами HyperP , $\text{Hyper}\Omega$ и $\text{Hyper}\Theta$ [4]:

$$\text{Res}(F) = \text{Hyper}\Theta \circ \text{Hyper}\Omega \circ \text{HyperP} \circ \text{HyperT}(F_{sect}) \quad (1)$$

Признаки получившихся в сечении фигур извлекаются при помощи 2D трейс-преобразования, введенного профессором Н.Г. Федотовым [5]. Его суть состоит в том, что 2D-изображение сканируется сеткой параллельных прямых под разными углами наклона в плоскости сечения. Результат пересечения каждой сканирующей плоскости $l(\theta, \rho)$ с двумерной моделью F_{sect} характеризуется числом: $g = \text{T}(F_{sect} \cap l(\theta, \rho))$, где ρ, θ – полярные координаты прямой в плоскости сечения F_{sect} . В результате сканирования множество чисел g формирует трейс-матрицу TM , у которой ось 0ρ направлена вертикально, а ось 0θ – горизонтально [6, 7].

Признак 2D-изображения получается после обработки строк и столбцов матрицы TM функционалами P и Θ [7]:

$$\Pi(F_{sect}) = \text{HyperT}(F_{sect}) = \Theta \circ P \circ \text{T}(F_{sect} \cap l(\theta, \rho)) \quad (2)$$

Функционалы HyperT и T отвечают за сканирование 3D и 2D-изображений соответственно. Так, гипертрейс-функционал HyperT является основным функционалом, входящим в аналитическую структуру гипертриплетного признака, на который приходится основная вычислительная сложность (до 90% от всего объема операций). Аналогичная ситуация имеет место для трейс-функционала T [8].

Данные функционалы при определенных условиях обеспечивают выполнение свойства инвариантности признаков $\text{Res}(F)$ к переносу, так как их свойства не зависят от положения и формы 3D и 2D-изображения, а зависят только от техники сканирования. Так, длина отрезка, высекаемого сканирующей прямой в 2D-фигуре сечения (вычисление трейс функционала), не зависит от пространственной ориентации и положения сечения, так как используется сканирующая сетка параллельных прямых под разными углами наклона в плоскости сечения.

Также периметр самой 2D-фигуры сечения (вычисление гипертрейс функционала) не зависит от пространственной ориентации и положения 3D-

объекта, так как используется сканирующая сетка параллельных плоскостей под разными углами наклона в пространстве.

Функционал *HyperP*, как и функционал *P*, отвечает за выполнение свойства инвариантности признаков к переносу, необходимое условие которого достигается за счёт использования сканирующих сеток параллельных плоскостей и прямых. Вычисление характеристики среза сечений 3D-объекта под одним углом обзора осуществляется путём обрабатывания глубинной строки гипертрейс-матрицы *ЗТМ*. Подбирая определённые виды функционала, можно добиться свойства инвариантности конструируемых признаков к движению и аффинным преобразованиям исходного изображения. Некоторые типы функционала *HyperP* обладают высокой устойчивостью к линейным искажениям и координатному шуму, тогда как другие виды, наоборот, не обладают. Стоит заметить, что на данном этапе возможно получение также свойства чувствительности получаемых признаков к переносу 3D-изображения.

Функционалы *Hyper Θ* и *Hyper Ω* , как и функционал Θ , оказывают влияние на выполнение свойства инвариантности к повороту и к масштабированию. Необходимое условие инвариантности признаков к повороту 3D-изображения, достигается за счёт специфики техники сканирования – равномерное сканирование пространственного объекта со всех сторон. Достаточное условие инвариантности (как и чувствительности) признаков к повороту изображения достигается за счёт правильного выбора типов функционалов при обработке вертикальных и горизонтальных строк гипертрейс-матрицы *ЗТМ*.

Инвариантность признаков к масштабированию изображения может быть достигнута разными способами. В частности, благодаря применению специальных видов функционала *Hyper Θ* в виде отношения двух функций возможно получение большого числа признаков полностью инвариантных к масштабированию 3D-изображения. Чувствительность признаков к масштабированию изображения учитывается путём определения коэффициента масштабирования [3, 8].

Функционалы, входящие в состав гипертриплетного признака, могут быть разными и выбираются из различных областей математики: теории вероятностей и математической статистики, теории рядов и фракталов, стохастической геометрии и другие. Варьируя свойства каждого из указанных выше функционалов, входящих в аналитическую структуру признака, можно получать большое количество признаков с заранее заданными свойствами исходного объекта. Выбор конкретного типа функционалов зависит от преследуемой цели. Так, зная конкретные особенности анализируемых 3D-изображений, возможно конструирование гипертриплетных признаков, которые с высокой вероятностью будут информативными.

Основная роль функционалов при конструировании признаков состоит в описании того или иного свойства пространственного объекта. Например, максимальный периметр сечения среди всех срезов сечений под разными углами обзора. В математическом смысле, данное действие может означать нахождение значения одного или совокупности элементов, обладающих указанным свойством, а также может означать определение порядкового номера элемента в гипертрейс-матрице.

Специфичная структура гипертриплетных и триплетных признаков позволяет строить признаки как чувствительные, так и инвариантные к группе движений и масштабированию, что повышает интеллектуальность и гибкость 3D-трейс-преобразования при распознавании 3D-изображений.

Примеры функционалов и их описание. Ниже кратко приведены несколько примеров функционалов каждого типа с указанием их порядкового номера согласно разработанным программным комплексам [9-11]. По мере необходимости даются соответствующие пояснения:

– Сумма длин t отрезков, высекаемых сканирующей прямой $l = \{(x, y) : x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = \rho\}$ на 2D-изображении сечения:

$$F_{sect} : T_1(F_{sect} \cap l(\theta, \rho)) = \int_{F \cap l(\theta, \rho) \neq \emptyset} f(\theta, \rho, t) dt. \quad (3)$$

Максимальная длина отрезка среди t отрезков, высекаемых одной сканирующей прямой на 2D изображении: $T_2 = \max_t (f(\theta, \rho, t))$.

Подсчёт количества отрезков, высекаемых сканирующей прямой на 2D- изображении (число пересечений прямой с 2D фигурой сечения F_{sect} , уменьшенное на единицу):

$$T_8 = \text{rows}_t (f(\theta, \rho, t)); T_{17} = \left[\max_{t, F \cap l \neq \emptyset} (f(\theta, \rho, t)) + \min_{t, F \cap l \neq \emptyset} (f(\theta, \rho, t)) \right] / 2;$$

$$T_{33} = \max_{t, F \cap l \neq \emptyset} \left(\Delta f_t(\theta, \rho, t) \right) / \sum_t \left| \Delta f_t(\theta, \rho, t) \right|; P_1 = \sum_{\rho} g(\theta, \rho); P_2 = \max_{\rho} (g(\theta, \rho)). \quad (4)$$

Среднее арифметическое среди всех рассчитанных значений отрезков $T(F_{sect} \cap l(\theta, \rho))$ среза пересечений сканирующих прямых под одним углом наклона θ в плоскости сечения F_{sect} :

$$P_5 = \text{mean}_{\rho} (g(\theta, \rho)). \quad (5)$$

Периметр 2D-фигуры сечения:

$$P_{14} = (Row2D + 1) \cdot \Delta \rho + \sum_{i=1}^{Row2D-1} |g(\theta, \rho_{i+1}) - g(\theta, \rho_i)|, \quad (6)$$

где $\Delta \rho$ – расстояние между параллельными прямыми в сканирующей сетке, $Row2D$ – число строк двумерной трейс-матрицы TM .

$$P_{27} = \sqrt{\sum_{j=1}^{Row2D} \left(g(\theta, \rho_j) - \sum_{i=1}^{Row2D} g(\theta, \rho_i) / n \right)^2} / \sum_{j=1}^{Row2D} g(\theta, \rho_j); P_{41} = \frac{\max_{\rho} (g(\theta, \rho))}{\min_{\rho} (g(\theta, \rho))}. \quad (7)$$

Медиана всех рассчитанных значений $P(g(\theta, \rho))$ для каждого угла наклона сетки параллельных сканирующих прямых в одной плоскости сечения:

$$\Theta_4 = \text{median}_{\theta} (g(\theta)); \Theta_{26} = \frac{\arg \max_{\theta} (g(\theta)) + \arg \min_{\theta} (g(\theta))}{\text{rows}_{\theta} (g(\theta))}; \quad (8)$$

где функции argmax и argmin вычисляют номер аргумента (переменной θ), при котором достигается максимум и минимум вектора $g(\theta)$ соответственно.

Вторая гармоника разложения функции в ряд Фурье:

$$\Theta_{32} = |cfft(g(\theta))_2|; \Theta_{47} = Col2D \sqrt{\prod_{i=1}^{Col2D} g(\theta_i)} \text{ if } g(\theta_i) \neq 0, \quad (9)$$

где $Col2D$ – число столбцов двумерной трейс-матрицы TM .

$\Theta_{52} = LocalMin(g(\theta))$, где функция *LocalMin* вычисляет количество локальных минимумов в векторе $g(\theta)$.

Гипертриpletные признаки 3D-изображения и триpletные признаки 2D- сечения реализуются полностью (стандартная структура):

$$Hyper T_1 = \Theta \circ P \circ T \text{ и} \\ Res(F) = Hyper \Theta \circ Hyper \Omega \circ Hyper P \circ Hyper T_1. \quad (10)$$

Гипертриpletные признаки 3D-изображения реализуются полностью, а триpletные признаки 2D-сечения - только частично (например, сканирование сечения F_{sect} только под несколькими углами наклона прямых в плоскости с последующим усреднением полученных результатов):

$$Hyper T_2 = P \circ T \text{ и} \\ Res(F) = Hyper \Theta \circ Hyper \Omega \circ Hyper P \circ Hyper T_2. \quad (11)$$

Гипертриpletные признаки 3D-изображения и триpletные признаки 2D- сечения реализуются частично: $Hyper T_4 = P \circ T$ и $Res(F) = Hyper P \circ Hyper T_4$, которые соответствуют сканированию 3D и 2D-изображения сеткой параллельных плоскостей и прямых только под одним углом наклона соответственно.

- $Hyper T_9$: применяется сканирование не плоскостями, а другими более сложными нелинейными поверхностями.

- Минимальное значение среди всех рассчитанных признаков $Hyper T(F \cap B(\eta(\omega, \varphi), r)) = \Pi(F_{sect})$ для каждой сканирующей плоскости под разными углами (ω, φ) обзора 3D-изображения F :

$$Hyper P_3 = \min_r(G(\varphi, \omega, r)); Hyper P_{47} = \frac{\max_r(G(\varphi, \omega, r)) - \min_r(G(\varphi, \omega, r))}{rows_r(G(\varphi, \omega, r))};$$

$$Hyper P_{52} = LocalMin_r(G(\varphi, \omega, r));$$

$$Hyper P_{62} = Num_1 + \left[\frac{Num_2 - Num_1}{2} \right] - HalfCountPlane, \quad (12)$$

где Num_1 и Num_2 – номер первого и последнего отличного от нуля элемента в глубинных строках гипертрейс-матрицы $G(\omega, \varphi, r)$ соответственно.

Слагаемое $\frac{Num_2 - Num_1}{2}$ округляется до ближайшего целого,

$HalfCountPlane = \frac{F \cap B(\eta(\omega, \varphi), r) = \phi}{2}$ – число пересечённых сканирующих плоскостей 3D-изображения, делённое на два.

$$Hyper \Omega_1 = \sum_{\varphi} G(\omega, \varphi); Hyper \Omega_2 = \max_{\varphi}(G(\omega, \varphi)). \quad (13)$$

Дисперсия:

$$Hyper \Omega_7 = stdev^2(G(\omega, \varphi)) = mean[(G(\omega, \varphi_i) - mean[G(\omega, \varphi_i)])^2], \quad (14)$$

где $mean[G(\omega_i, \varphi)] = mean_{\varphi} G(\omega, \varphi)$ – среднее значение чисел отдельно по каждому столбцу гипертрейс-матрицы, после сворачивания глубинных строк.

$$Hyper\Omega_{28} = \frac{Arg\ max(G(\omega, \varphi))}{Arg\ min(G(\omega, \varphi))};$$

$$Hyper\Omega_{48} = \sum_i G(\omega, \varphi_i) \cdot \ln(G(\omega, \varphi_i)) \text{ if } G(\omega, \varphi_i) \neq 0;$$

$$Hyper\Theta_1 = \frac{median\ G(\omega)}{mean\ G(\omega)}; \quad Hyper\Theta_3 = \min_{\omega} G(\omega) \quad (15)$$

Коэффициент асимметрии:

$$Hyper\Theta_9 = mean_3(G(\omega)) / stdev^3(G(\omega)), \quad (16)$$

где $mean_3(G(\omega)) = mean[(G(\omega) - mean(G(\omega)))^3]$ – третий центральный момент, а $stdev(\omega)$ – стандартное отклонение элементов вектора $G(\omega)$.

$$Hyper\Theta_{17} = \max_{\omega}(G(\omega)) - \min_{\omega}(G(\omega)); \quad Hyper\Theta_{30} = \frac{|cfft(G(\omega))_1|}{mean\ G(\omega)}. \quad (17)$$

Как видно из представленного списка, используемые функционалы могут быть представлены в аналитическом виде, а также быть заданы правилом или алгоритмом вычисления.

Стоит отметить, что функционал $HyperT_4$ обладает значительно меньшими вычислительными затратами по сравнению с функционалом $HyperT_1$. Однако, он имеет ряд ограничений, которые не имеет второй функционал. Например, при использовании $HyperT_4$ должны вычисляться только признаки геометрического класса, описывающие метрические свойства 3D-объекта. Кроме того, в этом случае невозможно производить сегментацию объектов на трехмерной сцене.

Примеры построения аналитической структуры признаков.

Возможность регулировать свойства построенных признаков благодаря их аналитической структуре заметно повышает интеллектуальные возможности гипертрейс-преобразования.

Ниже приведены некоторые примеры построения гипертриплетных признаков на основе указанных выше функционалов с указанием их порядкового номера согласно разработанным программным комплексам [9-11]:

- 1) $Res_{536\ 577} = Hyper\Theta_1 \circ Hyper\Omega_1 \circ HyperP_3 \circ HyperT_1(\Theta_4 \circ P_1 \circ T_1)$.
- 2) $Res_{17\ 313\ 793} = Hyper\Theta_1 \circ Hyper\Omega_2 \circ HyperP_3 \circ HyperT_1(\Theta_4 \circ P_1 \circ T_1)$.
- 3) $Res_{2\ 164\ 912\ 194} = Hyper\Theta_3 \circ Hyper\Omega_2 \circ HyperP_3 \circ HyperT_1(\Theta_{32} \circ P_2 \circ T_2)$.
- 4) $Res_{9\ 059\ 120\ 821} = Hyper\Theta_9 \circ Hyper\Omega_{28} \circ HyperP_{62} \circ HyperT_1(\Theta_{52} \circ P_{27} \circ T_{53})$.
- 5) $Res_{17\ 292\ 693\ 761} = Hyper\Theta_{17} \circ Hyper\Omega_7 \circ HyperP_{47} \circ HyperT_1(\Theta_{26} \circ P_5 \circ T_1)$.
- 6) $Res_{31\ 940\ 602\ 385} = Hyper\Theta_{30} \circ Hyper\Omega_{48} \circ HyperP_{52} \circ HyperT_1(\Theta_{47} \circ P_{41} \circ T_{17})$.

Как видно из представленных примеров, варьируя свойства каждого из семи функционалов приведённой выше аналитической структуры признака $Res(F)$, можно получить большое количество признаков с заданными свойствами.

ми по исходной трёхмерной модели. Выбор конкретного типа функционалов исходит из особенностей анализируемого объекта и преследуемой цели [12-13].

Заключение. Благодаря построению строгой математической модели, аналитик может строить признаки не интуитивно, а аналитически, описывая каждый класс пространственных объектов и их особенности (в частности, конструирование геометрических признаков). В частности, возможно конструирование инвариантных и сенситивных признаков по отношению к группе движений и масштабным преобразованиям 3D-изображений.

Авторы планируют развить инструментарий конструирования гипертриплетных признаков для анализа текстурных и цветных 3D-изображений, аналогично разработанной теории для анализа 2D изображений [14-16].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект №15-07-04484).

Список литературы

1. Сальников И.И. Методы размерной селекции при анализе бинарных изображений. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии.* – 2014. – №03 (19). – С. 89-95.
2. Fedotov N.G., Ryndina S.V., Syemov A.A. Trace transform of spatial images // *11th International conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information technologies (PRIA-11-2013). Conference Proceedings (V. I-II).* – Samara: IPSI RAS, 2013. – V. 1. – P. 186-189.
3. Федотов Н.Г., Сёмов А.А., Моисеев А.В. Интеллектуальные возможности гипертрейс-преобразования: конструирование признаков с заданными свойствами // *Машинное обучение и анализ данных.* – 2014. – Т. 1. – №9. – Электронный журнал. – Издательство: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (Москва). – С. 1200 - 1214.
4. N.G. Fedotov, S.V. Ryndina, A.A. Syemov Trace transform of three-dimensional objects: recognition, analysis and database search // *Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications.* – 2014. – Vol. 24. – No. 4. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 566-574.
5. Федотов Н.Г. Методы стохастической геометрии в распознавании образов. – М.: Радио и связь, 1990. – 144 С.
6. Fedotov N.G. The Theory of Image-Recognition Features Based on Stochastic Geometry // *Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications.* –1998. – V. 8. – № 2. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 264-266.
7. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. – М.: Физматлит, 2009. – 304 С.
8. Федотов Н.Г., Сёмов А.А., Моисеев А.В. Минимизация признакового пространства распознавания 3D-изображения на основе стохастической геометрии и функционального анализа // *Машинное обучение и анализ данных.* – 2015. – Т. 1. – №13. – Электронный журнал. – Издательство: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (Москва). – С. 1796-1814.

9. Федотов Н.Г., Семов А.А. Программный комплекс анализа и распознавания 3D-изображений на основе пространственного трейс-преобразования со случайными параметрами сканирования // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2015612257 Роспатента от 16.02.15.
10. Семов А.А. Программный комплекс анализа и распознавания 3D-изображений на основе пространственного трейс-преобразования с детерминированными параметрами сканирования // Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2015612814 Роспатента от 26.02.15.
11. Семов А.А. Экспериментальная проверка свойств 3D трейс-преобразования // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – 2014. – №03 (19). – С. 83-89.
12. Федотов Н.Г., Семов А.А. Гипертрейс-матрица как основной инструмент анализа 3D объектов // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – Выпуск 03(25). – 2015. – Пенза: Изд-во ПензГТУ. – С. 63-69.
13. Семов А.А. Различные виды пространственного сканирования 3D-изображений // Надежность и качество: труды Международного симпозиума. – 2015. – Т. 2. – Пенза: ПГУ. – С. 150-153.
14. Fedotov N.G., Mokshanina D.A. Recognition of halftone textures from the standpoint of stochastic geometry and functional analysis // Pattern Recognition and Image Analysis, Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2010. – Vol. 20. – No. 4. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 551-556.
15. Fedotov N.G., Mokshanina D.A. Recognition of images with complex half-tone texture // Measurement Techniques. – 2011. – Vol. 53. – № 11. – P. 1226-1232.
16. Fedotov N., Romanov S., Goldueva D. Application of triple features theory to the analysis of half-tone images and colored textures. Feature construction along stochastic geometry and functional analysis. Computer and Information Science // Canadian Center of Science and Education Canada, 2013. V. 6. №4. P. 17-24.

УДК 004.93
ББК 30

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ПРИЗНАКОВ, ИНВАРИАНТНЫХ
К ГРУППЕ ДВИЖЕНИЙ И МАСШТАБИРОВАНИЮ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЯ**
© *Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*
© *А.А. Сёмов, ООО «КомХэлф» (г. Пенза, Россия)*

**FEATURES CONSTRUCTION METHODOLOGY INVARIANT
TO THE MOTION GROUP AND SCALING OF 3D IMAGES**
© *N.G. Fedotov, Penza State University (Penza, Russia)*
© *A.A. Syemov, LLC «KomHelf» (Penza, Russia)*

В статье описана методика построения класса признаков, имеющих свойства инвариантности к группе движений и изменению масштаба 3D-изображений. Изображение пространственного объекта сканируется и анализируется при помощи гипертрейс-преобразования, основанного на теории стохастической геометрии. Дается кратко описание данного геометрического преобразования. Анализируются подробно свойства функционалов композиционной структуры признаков, которые обеспечивают свойства инвариантности признаков к тем или иным пространственным изменениям изображения. Приводятся конкретные примеры конструирования признаков разных классов инвариантности и их описания.

Ключевые слова: 3D-изображение, гипертрейс-преобразование, гипертриплетный признак, композиция функционалов, инвариантность

In this article construction methodology of features class that have invariance properties to the motion group and scaling of 3D image are proposed. Spatial object image is scanned and analyzed using hypertrace transform based on stochastic geometry theory. Specified geometric transform description is briefly given. Functional properties of compositional structure features which provide the features invariance properties to certain image spatial changes are analyzed in detail. The feature construction concrete examples of invariance different classes and their descriptions is presented.

Key words: 3D-image, hypertrace transform, hypertriplet feature, functional composition, invariance.

E-mail: nikolayfedotov@mail.ru, matematik_aleksey@mail.ru

Проблема анализа и распознавания трехмерных 3D-изображений наряду с общетеоретическим значением исключительно важна и для многочисленных практических приложений в современных системах машинного зрения. Необходимым условием для успешного решения задач анализа и распознавания изображений пространственных объектов является наличие их адекватных аналитических моделей, а также применение математического аппарата, позволяющего эффективно на базе имеющихся моделей получать требуемые результаты. В настоящей статье применен подход к распознаванию на основе стохастической геометрии и функционального анализа, впервые предложенный в работе [1]. В этой работе введено новое геометрическое трейс-преобразование изображений, связанное со сканированием изображений по сложным траекториям. Трейс-преобразование является источником формирования нового класса конструктивных признаков распознавания изображений – триплетных признаков, характерной особенностью которых является их структура в виде композиции функционалов. Благодаря такой структуре достигается гибкость и универсальность распознавания [2]. Трейс-преобразования и триплетные признаки дают возможность осуществить распознавание, не зависящее от перемещения вращения и масштабных изменений изображения, что является важной целью для многих практически значимых задач распознавания изображений из обла-

сти аэрокосмических исследований, робототехники, технической и медицинской диагностики [3].

Настоящая статья посвящена формированию триплетных признаков 3D-изображений, инвариантных к группе движения и масштабным преобразованиям. Для обозначения трейс-преобразования, трейс-матриц и триплетных признаков, относящихся к 3D-изображениям, вводятся термины: гипертрейс-преобразование, гипертрейс-матрица и гипертриплетные признаки. Для 2D изображений, которые формируются при сечении изображений пространственных объектов сканирующими плоскостями, используются термины: трейс-преобразование, трейс-матрица и триплетные признаки.

Математическая модель гипертрейс-преобразования. Сканирование исходного 3D-изображения объекта F осуществляется сеткой параллельных плоскостей с разных углов обзора. Результат пересечения каждой сканирующей плоскости $B(\eta(\omega, \varphi), r)$ с трехмерной моделью F обозначается числом, характеризующим какой-либо признак сечения F_{sect} :

$$G = \text{Hyper } T(F \cap B(\eta(\omega, \varphi), r)), \quad (1)$$

где r, ω, φ – сферические координаты. В результате сканирования множество чисел G формирует гипертрейс-матрицу, у которой ось 0ω направлена вертикально, ось 0φ – горизонтально, ось $0r$ – вглубь [3].

Признак 3D-изображения получается после обработки строк и столбцов данной трехмерной матрицы функционалами $\text{Hyper}P$, $\text{Hyper}\Omega$ и $\text{Hyper}\Theta$. Таким образом, гипертриплетный признак исходного изображения имеет следующую структуру в виде композиции функционал [3, 5]:

$$\text{Res}(F) = \text{Hyper}\Theta \circ \text{Hyper}\Omega \circ \text{Hyper}P \circ \text{Hyper}T(F_{sect}). \quad (2)$$

Сканирование получаемых в сечении фигур F_{sect} осуществляется сеткой параллельных прямых $l(\theta, \rho)$ с расстоянием $\Delta\rho$ между линиями под разными углами θ , где ρ, θ – нормальные координаты сканирующей прямой в плоскости сечения F_{sect} . Взаимное положение изображения F_{sect} и каждой сканирующей линии $l(\theta, \rho)$ обозначается числом, характеризующим свойства отрезка пересечения сканирующей прямой 2D изображения сечения: $g = T(F_{sect} \cap l(\theta, \rho))$. В результате сканирования множество чисел g формирует трейс-матрицу, у которой ось 0ρ направлена вертикально, а ось 0θ – горизонтально [3].

Признак 2D изображения сечения получается после обработки строк и столбцов данной двумерной матрицы функционалами P и Θ . Таким образом, триплетный признак 2D изображения сечения имеет следующую структуру [3]:

$$\Pi(F_{sect}) = \text{Hyper}T(F_{sect}) = \Theta \circ P \circ T(F_{sect} \cap l(\theta, \rho)). \quad (4)$$

Стоит отметить, что гипертрейс-преобразование позволяет давать инвариантное описание исходного 3D объекта путем построения признаков полностью инвариантных к группе движений и масштабированию. Благодаря структуре признака в виде композиции функционалов компьютерная генерация гипертриплетных признаков $\text{Res}(F)$ осуществляется в автоматическом режиме. Возможность построения большого количества признаков обеспечивает гибкость и универсальность распознавания 3D-изображений [3, 6].

Рассмотрим условия, при которых конструируемые признаки будут обладать свойством инвариантности к группе движений и изменению масштаба 3D-изображения.

Инвариантность признаков к переносу 3D-изображений. Необходимое условие инвариантности гипертриплетных признаков к переносу 3D-изображения достигается за счет вида сканирующих элементов (сетка параллельных плоскостей). Если пространственный объект сканируется сеткой параллельных плоскостей, то перемещение исходного 3D-изображения не изменяет форму получаемых сканирующими плоскостями сечений (дискретный шаг сканирования игнорируется). Поэтому получаемые сечения и извлекаемые на их основе признаки не изменяют своего значения при переносе 3D-изображения на любой вектор в пространстве. Другими словами, вычисляемые признаки не будут зависеть от пространственного положения объекта.

Достаточное условие инвариантности гипертриплетных признаков к переносу 3D-изображения достигается за счет использования соответствующих типов функционалов. Так, свойство инвариантности признака к переносу 3D-изображения для любого функционала ζ имеет вид: $\zeta(f(x+b)) = \zeta(f(x))$ для всех допустимых $f(x)$ и $\forall b$.

Так как объект сканируется сеткой параллельных плоскостей, то перемещение исходного пространственного тела не изменяет форму получаемых сканирующими плоскостями сечений (дискретный шаг сканирования игнорируется). Так как при сдвиге 3D-изображения оно приближается или удаляется от начала координат, то при его перемещении будут изменяться только порядковые номера сканирующих плоскостей, пересекающих исходное пространственное тело. Другими словами, в зависимости от удаления от начала координат будет соответственно изменяться только размер глубинных строк гипертрейс-матрицы на количество нулевых элементов (вдоль оси $0r$). При этом все глубинные строки матрицы останутся на своих местах, и порядок следования элементов друг за другом не изменится, так как форма сканируемого 3D объекта сохраняется при движении.

Таким образом, для того, чтобы признак $Res(F)$ (и признак $\Pi(F_{sect})$ плоского сечения) был инвариантен к переносу 3D-изображения, необходимо и достаточно, например, чтобы функционал ζ обладал свойством: $\zeta(f(x+b)) = \zeta(f(x))$ для всех допустимых $f(x)$ и $\forall b$.

Ниже приведён пример признака, инвариантного к переносу и сенситивного к повороту и масштабированию 3D-изображения:

$$Res(F) = Hyper \Theta \circ Hyper \Omega \circ Hyper P \circ Hyper T(\Theta \circ P \circ T), \quad (5)$$

$$\text{где } T = \max_t f(\theta, \rho, t), \quad P = \min_i g(\theta, \rho_i), \quad \Theta = \arg_k g(\theta),$$

$$HyperT = \Pi(F_{sect}) = G(\omega, \varphi, r), \quad HyperP = \max_r G(\omega, \varphi, r),$$

$$Hyper\Omega = \min_\varphi G(\omega, \varphi), \quad Hyper\Theta = \arg_k G(\omega),$$

$$\text{где } \arg_k g(\theta) - k\text{-ый аргумент вектора } g(\theta).$$

Инвариантность признаков к повороту 3D-изображений. Необходимое условие инвариантности гипертриплетных признаков к повороту 3D-изображения достигается за счет применения специальной техники сканирования. Так, чтобы схема сканирования 3D-изображения не была привязана к пространственной ориентации объекта, необходимо и достаточно, чтобы сканирующие элементы, если все их одновременно зафиксировать в пространстве, да-

вали одинаковые сечения трехмерного объекта при любом его угле вращения. Другими словами, необходимо добиться, чтобы все сканирующие сетки параллельных плоскостей под разными углами ω и φ обзора распознаваемого 3D-изображения совпадали бы друг с другом при любом его пространственном повороте (дискретный шаг игнорируется).

Каждой сканирующей сетке параллельных плоскостей на единичной сфере сопоставим точку, которая будет являться точкой касания со сферой плоскости, параллельной плоскостям данной сетки (отдельно для каждой пары (ω, φ) углов обзора). Множество точек на сфере образуют сетку, которую будем называть опорной.

Таким образом, необходимо построить опорную сетку, обладающую равномерным распределением точек на сфере для достижения меньшей ошибки совмещении узлов опорной сетки при ее повороте из-за дискретного шага сканирования (углов наклона сканирующих плоскостей). Равномерное распределение точек опорной сетки на сфере обеспечит отсутствие более плотных скоплений узлов опорной сетки на поверхности сферы, определяющих преимущественно сечения под теми или иными углами обзора объекта. В связи с этим, все результаты сканирования будут принимать равноправное участие при вычислении значения признака 3D-изображения без повышения влияния каких-либо определенных значений сечений, так как частота появления любого среза сечений будет приблизительно одинакова (равномерный обзор трехмерного тела со всех сторон). Другими словами, значение вычисляемого признака не будет зависеть от ориентации 3D-изображения в пространстве.

Достаточное условие независимости гипертриплетных признаков от пространственной ориентации 3D-изображения состоит в использовании соответствующих типов функционалов. Так, инвариантность получаемых признаков к повороту 3D-изображения зависит не только от плотности сканирующих сеток параллельных плоскостей в пространстве, но и от применения специальных типов функционалов, которые обрабатывают горизонтальные строки и вертикальные столбцы гипертрейс-матрицы.

Свойства функционалов для достижения инвариантности признаков к повороту изображения в плоскости и пространстве отличаются друг от друга, поэтому целесообразно рассмотреть их по отдельности.

В функциональном виде свойство инвариантности признака к повороту 3D-изображения в пространстве для любого функционала ζ выглядит следующим образом: $\zeta(f(M(v, \alpha) \cdot X)) = \zeta(f(X))$ для всех допустимых $f(X)$, $\forall v$ и $\forall \alpha$, где X – точка объекта в трёхмерном пространстве, $v(x, y, z)$ – единичный вектор (ось вращения), α – угол поворота вокруг вектора v , $M(v, \alpha)$ – двумерная матрица поворота:

$$M(v, \alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha + x^2(1 - \cos \alpha) & xy(1 - \cos \alpha) - z \sin \alpha & xz(1 - \cos \alpha) + y \sin \alpha \\ yx(1 - \cos \alpha) + z \sin \alpha & \cos \alpha + y^2(1 - \cos \alpha) & yz(1 - \cos \alpha) - x \sin \alpha \\ zx(1 - \cos \alpha) - y \sin \alpha & zy(1 - \cos \alpha) + x \sin \alpha & \cos \alpha + z^2(1 - \cos \alpha) \end{pmatrix} \quad (6)$$

Таким образом, учитывая указанное выше свойство функционалов, а также особенности формирования структуры гипертрейс-матрицы [7], можно сделать следующий вывод. Для того чтобы признак $Res(F)$ был инвариантен к повороту 3D-изображения вокруг произвольного единичного вектора в пространстве, доста-

точно, чтобы функционал ζ обладал следующим свойством: $\zeta(f(\omega + \alpha, \varphi)) = \zeta(f(\omega, \varphi))$ и $\zeta(f(\omega + \alpha, \pi - \varphi)) = \zeta(f(\omega, \varphi))$ для всех допустимых $f(x)$ и $\forall \alpha$, где α – произвольное число (одинаковый сдвиг всех горизонтальных строк гипертрейс-матрицы без изменения значений глубинных строк).

Так, свойство инвариантности признака к повороту 2D изображения в плоскости сечения для любого функционала ζ будет иметь вид: $\zeta(f(x + b)) = \zeta(f(x))$ для всех допустимых $f(x)$ и $\forall b$, где b – произвольное число, на которое может быть сдвинута периодическая функция f .

Для того чтобы признак $\Pi(F_{sect})$ был инвариантен к повороту 2D изображения сечения вокруг произвольного единичного вектора в плоскости сечения, достаточно, чтобы функционал ζ обладал следующим свойством: $\zeta(f(\theta + \beta, \rho)) = \zeta(f(\theta, \rho))$ для всех допустимых $f(x)$ и $\forall \beta$, где β – произвольное число (одинаковый сдвиг всех горизонтальных строк трейс-матрицы без изменения значений вертикальных столбцов).

Ниже приведен пример признака, инвариантного к повороту и переносу и чувствительного к изменениям масштаба 3D-изображения:

$$Res(F) = Hyper \Theta \circ Hyper \Omega \circ Hyper P \circ Hyper T(\Theta \circ P \circ T), \quad (7)$$

$$\text{где} \quad T = \sum_t f(\theta, \rho, t), \quad P = (\min_i g(\theta, \rho_i) + \max_i g(\theta, \rho_i)) / 2,$$

$$\Theta = \text{mean}_\theta g(\theta), \quad Hyper T = G(\omega, \varphi, r), \quad Hyper P = 1 / \min_r G(\omega, \varphi, r),$$

$$Hyper \Omega = \max_\varphi G(\omega, \varphi), \quad Hyper \Theta = \sum_\omega G(\omega).$$

Инвариантность признаков к масштабированию 3D-изображений.

Стоит отметить, что одним из преимуществ гипертрейс-преобразования является возможность конструирования признаков, инвариантных не только к группе движений, но и к масштабированию. Необходимое условие инвариантности гипертриплетных признаков к изменениям масштаба 3D-изображения достигается за счет использования специальных видов функционалов. Данное свойство вытекает из следующего соображения.

При масштабировании пространственного объекта его пересечет в μ раз больше ($\mu > 1$) или в μ раз меньше ($\mu < 1$) сканирующих плоскостей в зависимости от значения коэффициента μ . В связи с этим, **диапазон глубинной строки (ось $0r$) гипертрейс-матрицы расширится ($\mu > 1$) или сузится ($\mu < 1$).** Другими словами, в зависимости от уровня масштабирования будет соответственно изменяться только размер глубинных строк гипертрейс-матрицы на количество ненулевых элементов (вдоль оси $0r$).

Так, свойство инвариантности признака к масштабированию 3D-изображения для любого функционала ζ будет иметь вид: $\zeta(f(a \cdot x)) = \zeta(f(x))$ для всех допустимых $f(x)$ и $\forall a \neq 0$.

Таким образом, для того, чтобы признак $Res(F)$ (и признак $\Pi(F_{sect})$ плоского сечения) был инвариантен к масштабированию 3D-изображения, необходимо, чтобы функционал ζ обладал свойством: $\zeta(f(a \cdot x)) = \zeta(f(x))$

для всех допустимых $f(x)$ и $\forall a \neq 0$.

Достаточное условие инвариантности гипертриплетных признаков к изменениям масштаба 3D-изображения достигается за счет использования специальных техник конструирования признака, которые будут описаны ниже.

К первому способу данной техники можно отнести подбор специальных типов функционалов, которые дают одинаковое значение вне зависимости от масштаба пространственного объекта. К таким типам функционалов можно отнести, например, определение числа локальных максимумов (минимумов) функции, коэффициент корреляции и тому подобное. Так, например, при использовании в качестве функционала $Hyper\Theta$ функцию $\frac{\zeta(G(\omega))}{\underset{\omega}{mean} \zeta(G(\omega))}$ вне зависимости от других функционалов $T, P, \Theta, HyperP$ и $Hyper\Omega$, будут строиться признаки, обладающие свойством инвариантности к масштабированию 3D-изображения.

Ко второму способу построения признаков, инвариантных к масштабированию 3D-изображения, относится конструирование таких типов признаков $Res(F)$, которые описывают свойства или особенности формы 3D объекта. Например, используя такой функционал как число пересечений сканирующей плоскости с 3D-изображением, можно определять число пустых полостей внутри объекта или количество составных частей у 3D объекта.

К третьему способу построения признаков, инвариантных к масштабированию 3D-изображения, можно отнести определённые комбинации отношения признаков $Res(F)$, которые нивелируют коэффициент масштабирования. Например, такие комбинации, как $max(l)/min(l)$, $\sqrt{S(F_{sect})}/P(F_{sect})$, $S^3(F)/V^2(F)$ и тому подобные, где l – длина отрезка прямой, заключённой в 2D фигуре сечения, $P(F_{sect})$ и $S(F_{sect})$ – периметр и площадь сечения соответственно, $V(F)$ и $S(F)$ – объём и площадь поверхности 3D объекта соответственно.

Ниже представлен признак, инвариантный к переносу, повороту и масштабированию 3D-изображения:

$$Res(F) = Hyper\Theta \circ Hyper\Omega \circ HyperP \circ HyperT(\Theta \circ P \circ T), \quad (8)$$

где

$$T = \min_i f(\theta, \rho, t),$$

$$P = \sqrt{\frac{\sum_j (g(\theta, \rho_j) - \sum_i g(\theta, \rho_i) / n)}{\sum_i g(\theta, \rho_i)}}, \quad \Theta = \frac{\max_{\theta} g(\theta) + \min_{\theta} g(\theta)}{2},$$

$$HyperT = G(\omega, \varphi, r), \quad HyperP = LocalMin_r G(\omega, \varphi, r),$$

$$Hyper\Omega = \sum_{\varphi} G(\omega, \varphi) \text{ if } G \geq median_{\varphi} G, \quad Hyper\Theta = \max_{\omega} G(\omega) / \sum_{\omega} \ln(G(\omega)).$$

Примеры признаков, полностью инвариантных к группе движений и масштабированию 3D-изображений. Ниже приведены несколько примеров признаков, которые являются инвариантными к переносу, повороту и масштабированию 3D-изображения. Все конструируемые признаки имеют одинаковую структуру $Res(F) = Hyper\Theta \circ Hyper\Omega \circ HyperP \circ HyperT(\Theta \circ P \circ T)$. Первый пример описан подробно, а остальные – кратко:

$$\begin{aligned}
 1) \quad T(F_{sect} \cap l(\theta, \rho)) &= \max_t f(\theta, \rho, t), & P &= \sum_{\rho} g(\theta, \rho), \\
 \Theta &= \max_{\theta} g(\theta) - \min_{\theta} g(\theta), & HyperT(F \cap B(\eta(\omega, \varphi), r)) &= \Pi(F_{sect}) = G(\omega, \varphi, r), \\
 HyperP &= \max_r G(\omega, \varphi, r), & Hyper\Omega &= LocalMax_{\varphi} G(\omega, \varphi), \\
 Hyper\Theta &= \min_{\omega} G(\omega), & f(\theta, \rho, t) & - \text{длина } t\text{-го отрезка, высекаемого } \rho\text{-ой прямой} \\
 & & & \text{под } \theta\text{-ым углом в плоскости сечения } F_{sect}, \quad \Pi(F_{sect}) = G(\omega, \varphi, r) - \text{признак сечения,} \\
 & & & \text{получаемого для } r\text{-ой плоскости определяемой парой углов } (\omega, \varphi) \text{ обзора 3D объекта.}
 \end{aligned}$$

Так, функционал T для каждой сканирующей прямой из сетки параллельных прямых находит максимальную длину отрезка, высекаемой одной прямой на 2D изображении сечения F_{sect} . Функционал P для каждой сетки параллельных прямых вычисляет сумму подсчитанных выше максимальных отрезков (отдельно для каждого угла наклона θ сетки параллельных прямых в плоскости сечения). Функционал Θ для всего множества сеток прямых под разными углами наклона θ вычисляет разницу между максимальным и минимальным значением среди подсчитанных выше сумм.

Далее функционал $HyperT$, используя полную структуру гипертриплетного и триплетного признаков, формирует гипертрейс-матрицу из вычисленных значений – признаков $\Pi(F_{sect}) = HyperT(F_{sect}) = \Theta \circ P \circ T(F_{sect} \cap l(\theta, \rho))$ сечений плоскостями исходного 3D-изображения. Функционал $HyperP$ для каждой сетки параллельных плоскостей вычисляет максимальное значение указанного признака сечений $\Pi(F_{sect})$ (отдельно для каждой пары углов (ω, φ) обзора 3D-изображения, ось $0r$). Функционал $Hyper\Omega$ вычисляет число локальных максимумов функции, образованной дискретным рядом элементов вертикальных строк (ось 0φ), содержащих подсчитанные ранее максимальные значения элементов. Функционал $Hyper\Theta$ среди подсчитанных выше значений числа локальных максимумов выбирает в получившейся строке элемент с минимальным значением (ось 0ω).

$$\begin{aligned}
 2) \quad T &= \text{rows}_t f(\theta, \rho, t), & P &= \max_i g(\theta, \rho_i), & \Theta &= \max_{\theta} g(\theta), \\
 & & & & & \text{argmax}_r G(\omega, \varphi, r) - \text{argmin}_r G(\omega, \varphi, r) \\
 HyperT &= G(\omega, \varphi, r), & HyperP &= \frac{\text{argmax}_r G(\omega, \varphi, r) - \text{argmin}_r G(\omega, \varphi, r)}{Row3D}, \\
 Hyper\Omega &= \max_{\varphi} G(\omega, \varphi), & Hyper\Theta &= \max_{\omega} G(\omega), & & \text{где}
 \end{aligned}$$

$Row3D = \text{rows}_{r, G(\omega, \varphi, r) \neq 0} G(\omega, \varphi, r)$ – количество ненулевых элементов в глубинных строках гипертрейс-матрицы, $\text{argmax } f(x)$ и $\text{argmin } f(x)$ – функции, которые вычисляют номер аргумента (переменная x), при котором достигается максимум и минимум функции или вектора $f(x)$ соответственно.

$$\begin{aligned}
 3) \quad T &= \sum_t f(\theta, \rho, t), & P &= \text{mean}_{\rho} g(\theta, \rho), & \Theta &= \min_{\theta} g(\theta), \\
 HyperT &= G(\omega, \varphi, r), & HyperP &= \text{mean}_r G(\omega, \varphi, r), & Hyper\Omega &= \max_{\varphi} G(\omega, \varphi),
 \end{aligned}$$

$$\text{Hyper}\Theta = \frac{\max_{\omega} G(\omega) - \min_{\omega} G(\omega)}{\max_{\omega} G(\omega) + \min_{\omega} G(\omega)},$$

где $\text{mean}(X)$ – функция, которая вычисляет среднее арифметическое ряда X .

$$4) \quad T = \sum_t f(\theta, \rho, t), \quad P = \max_{\rho} \left(\text{SegmentSum}_{\rho, g(\theta, \rho) \neq 0} g(\theta, \rho) \right), \quad \Theta = \min_{\theta} g(\theta),$$

$$\text{Hyper} T = G(\omega, \varphi, r), \quad \text{Hyper} P = \sum_r G(\omega, \varphi, r), \quad \text{Hyper}\Omega = \max_{\varphi} G(\omega, \varphi),$$

$$\text{Hyper}\Theta = \frac{\max_{\omega} G(\omega)}{\text{mean}_{\omega} G(\omega)},$$

где функция SegmentSum формирует вектор, каждый

элемент которого содержит сумму подряд идущих друг за другом ненулевых элементов (по вертикальным столбцам матрицы TM), отрезки которых разделены нулевыми значениями.

$$5) \quad T = \max_t f(\theta, \rho, t), \quad P = \max_{\rho} \left(\text{rowgrad}_{\rho} g(\theta, \rho) \right), \quad \Theta = \max_{\theta} g(\theta),$$

$$\text{Hyper} T = G(\omega, \varphi, r), \quad \text{Hyper} P = \frac{\max_r G(\omega, \varphi, r)}{\text{mean}_r G(\omega, \varphi, r)}, \quad \text{Hyper}\Omega = \min_{\varphi} G(\omega, \varphi),$$

$\text{Hyper} \Theta = \min_{\omega} G(\omega)$, где функция rowgrad формирует вектор, каждый элемент которого является модулем разницы между двумя соседними элементами в столбцах матрицы TM .

$$6) \quad T = \sum_t f(\theta, \rho, t), \quad P = \sum_{\rho} g(\theta, \rho), \quad \Theta = \max_{\theta} g(\theta) - \min_{\theta} g(\theta),$$

$$\text{Hyper} T = G(\omega, \varphi, r), \quad \text{Hyper} P = \max_r \left(\text{rowgrad} G(\omega, \varphi, r) \right),$$

$$\text{Hyper}\Omega = \frac{\max_{\varphi} G(\omega, \varphi)}{\min_{\varphi} G(\omega, \varphi)}, \quad \text{Hyper} \Theta = \max_{\omega} G(\omega).$$

Таким образом, методика построения инвариантного класса признаков состоит в последовательном задании конкретных типов функционалов с определенными свойствами, чтобы конечный признак обладал свойством инвариантности к переносу, повороту и/или изменению масштаба.

Возможность регулировать свойства построенных признаков заметно повышает интеллектуальные возможности гипертрейс-преобразования, что является его преимуществом. Так, способность конструировать признаки 3D-изображений, полностью инвариантные к группе движений и масштабированию, повышает точность распознавания [8-10].

Ввиду ограниченности объема статьи практические результаты по проверке свойств предлагаемых признаков здесь не приводятся. Их можно найти в [11-14].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект №15-07-04484).

Список литературы

1. Федотов Н.Г. Методы стохастической геометрии в распознавании образов. – М.: Радио и связь, 1990. – 144 С.
2. Fedotov N.G. The Theory of Image-Recognition Features Based on Stochastic Geometry // *Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications*. – 1998. – V. 8. – № 2. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 264-266.
3. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. – М.: Физматлит, 2009. – 304 С.
4. Fedotov N.G., Ryndina S.V., Syetov A.A. Trace transform of spatial images // *11th International conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information technologies (PRIA-11-2013). Conference Proceedings (V. I-II)*. – Samara: IPSI RAS, 2013. – V. 1. – P. 186-189.
5. Федотов Н.Г., Семов А.А. Основные преимущества и дополнительные возможности 3D трейс-преобразования // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, Выпуск 03(19). – 2014. – С. 77-83.
6. Федотов Н.Г., Семов А.А., Моисеев А.В. Минимизация признакового пространства распознавания 3D-изображения на основе стохастической геометрии и функционального анализа, // *Машинное обучение и анализ данных*. – 2015. – Т. 1. – №13. – Электронный журнал. – Издательство: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (Москва). – С. 1796-1814.
7. Семов А.А. Основные методы построения гипертрейс-матриц // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – Выпуск 03(25). – 2015. – Пенза: Изд-во ПензГТУ. – С. 69-76.
8. Федотов Н.Г., Семов А.А., Моисеев А.В. Интеллектуальные возможности гипертрейс-преобразования: конструирование признаков с заданными свойствами // *Машинное обучение и анализ данных*. – 2014. – Т. 1. – №9. – Электронный журнал. – Издательство: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (Москва). – С. 1200 - 1214.
9. Федотов Н.Г., Семов А.А. Гипертрейс-матрица как основной инструмент анализа 3D объектов // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – Выпуск 03(25). – 2015. – Пенза: Изд-во ПензГТУ. – С. 63-69.
10. Семов А.А. Различные виды пространственного сканирования 3D-изображений // *Надежность и качество: труды Международного симпозиума*. – 2015. – Т. 2. – Пенза: ПГУ. – С. 150-153.
11. Fedotov N.G., Ryndina S.V., Syetov A.A. Trace transform of three-dimensional objects: recognition, analysis and database search // *Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications*. – 2014. – Vol. 24. – No. 4. – Moscow: Pleiades Publishing, Ltd. – P. 566-574.
12. Семов А.А. Экспериментальная проверка свойств 3D трейс-преобразования // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – 2014. – №03 (19). – С. 83-89.

13. Сальников И.И. Методы и алгоритмы сегментации бинарного изображения на основе построчного анализа. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – 2014. – №03 (19). – С. 29-40.
14. Сальников И.И. Методы размерной селекции при анализе бинарных изображений. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – 2014. – №03 (19). – С. 89-95.

УДК 004.93
ББК 30

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА
ТРЕХМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С СОКРАЩЕНИЕМ РАЗМЕРНОСТИ**

© Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© Д.А. Голдуева, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© М.А. Мокшанина, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия (г. Пенза, Россия)

3D SURFACE FEATURE SPACE DIMENSIONALITY REDUCTION

© N.G. Fedotov, Penza State University (Penza, Russia)

© D.A. Goldueva, Penza State University (Penza, Russia)

© M.A. Mokshanina, Penza State Agricultural Academy (Penza, Russia)

В статье предлагается метод сокращения размерности признакового пространства, полученного путем автоматической генерации.

Ключевые слова: сокращение размерности признакового пространства, трехмерные поверхности, стохастическая геометрия, функциональный анализ

Proposed is the method for dimensionality reduction of computer generated 3D surface feature space.

Key words: feature space dimensionality reduction, 3D surface, stochastic geometry, functional analysis

Одной из актуальных проблем современной науки и техники является проблема распознавания образов. В ряде прикладных задач распознаванию подлежат изображения трехмерных поверхностей (например, задача анализа рельефа местности, и т.д.). При решении подобных задач одной из основных проблем является проблема формирования признаков, описывающих анализируемые объекты и определение среди них самых информативных, способных отличать изображения, относящиеся к разным классам.

Подавляющее большинство существующих в настоящий момент времени методов формирования признаков объектов, представленных в трехмерном пространстве, не позволяют достаточно детально описать анализируемые изображения, в силу того, что предполагают существенное упрощение распознаваемых объектов, заключающееся в приведении к двумерному случаю. Подобное упрощение отрицательно сказывается на точности распознавания.

В настоящей статье предлагается метод сокращения размерности признакового пространства трехмерных поверхностей, сформированного с помощью аппарата стохастической геометрии и функционального анализа. Подход с

позиции стохастической геометрии и функционального анализа к проблеме формирования признаков позволяет автоматически, без непосредственного участия эксперта генерировать большое число признаков, являющихся математической абстрактной характеристикой изображения. Опора на большое количество признаков повышает надежность распознавания. Эффективность аппарата стохастической геометрии была подтверждена в [1, 2]. Причем формирование признаков трехмерных поверхностей с позиции рассматриваемого метода предполагает анализ изображений без предварительного их упрощения, что делает возможным детальное описание анализируемого объекта.

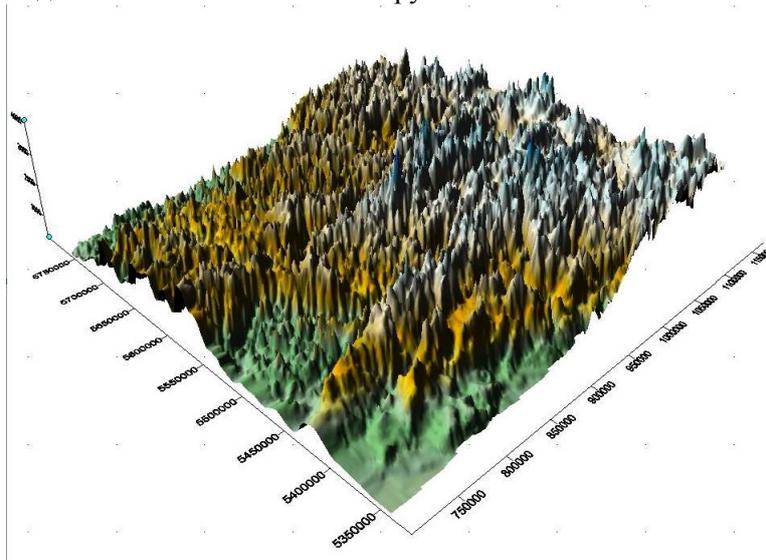


Рисунок 1 – Пример трехмерной поверхности

Признаки трехмерных поверхностей имеют следующий вид:

$$\Pi(F) = \Theta \circ P \circ T(F \cap \alpha), \quad (1)$$

где α – сканирующая плоскость перпендикулярная плоскости xOy , $F(x, y, z)$ – функция изображения в пространстве (x, y, z) , которая каждой точке трехмерной поверхности $A(x, y, z)$ ставит в соответствие z . Результат пересечения функции изображения с плоскостью α есть кривая $q(\theta, \rho, z)$, заданная в цилиндрической системе координат параметрами θ, ρ и z . Проекция кривой q на плоскость xOy есть прямая $l(\theta, \rho)$, где θ, ρ её полярные координаты, с которыми связаны функционалы Θ и P соответственно; функционал T связан с параметром t , задающим точку на прямой l , $T(F \cap l(\theta, \rho)) = Tf(\theta, \rho, t)$. Благодаря трехкомпонентной структуре, признаки были названы триплетными. Подобное представление признака оказалось продуктивным в силу своей геометричности: многие известные формулы стохастической геометрии и известные преобразования Радона, Хо, Фурье и др. укладываются в такую трехкомпонентную форму.

Функционал T называют трейс-функционалом, P – диаметральным функционалом, Θ – круговым функционалом. Области определения и области значения функционалов T, P и Θ являются подмножествами множества действительных чисел. Функционалы T, P и Θ выбираются из различных областей математики: теории вероятности, математической статистики, теории рядов и фракталов, стохастической геометрии и т. д. Таким образом, триплетные при-

знаки сохраняют следы генезиса соответствующих областей математики, чем объясняется гибкость и интеллектуальность алгоритмов распознавания, базирующихся на триплетных признаках. Подробное описание формирования триплетного признака бинарного изображения можно найти в [1], полутоновых изображений в [4, 5], цветных изображений в [3], цветных текстур в [6].

Для решения задачи анализа трехмерных поверхностей, были выделены две группы триплетных признаков:

1. признаки, характеризующие особенности проекции минимумов трехмерных поверхностей на плоскость xOy ;
2. признаки, характеризующие особенности высот трехмерных поверхностей.

Причем вторую группу можно подразделить на три 2.1, 2.2 и 2.3.

Признаки первой и второй группы имеют одинаковую трехфункциональную структуру. Отличие между ними заключается лишь в подходе к заданию характеристик отрезков прямой $l(\theta, \rho)$, соответствующих одному участку кривой q между двумя значимыми соседними минимумами.

Для построения признаков, характеризующих особенности проекции минимумов трехмерных поверхностей на плоскость xOy , каждому отрезку a_i прямой $l(\theta, \rho)$, соответствующему i -му участку кривой q между двумя значимыми соседними минимумами, ставится в соответствие его длина.

Для построения признаков типа 2.1 каждому отрезку a_i прямой $l(\theta, \rho)$, соответствующему i -му участку кривой q между двумя значимыми соседними минимумами, ставится в соответствие максимальная высота на отрезке a_i .

Для построения признаков типа 2.2 каждому отрезку a_i прямой $l(\theta, \rho)$, соответствующему i -му участку кривой q между двумя значимыми соседними минимумами, ставится в соответствие коэффициент асимметрии.

Для построения признаков типа 2.3 каждому отрезку a_i прямой $l(\theta, \rho)$, соответствующему i -му участку кривой q между двумя значимыми соседними минимумами, ставится в соответствие радиус кривизны в точке с максимальной координатой z отрезка a_i .

Для формирования признаков первого и второго типа функция $f(\theta, \rho, t)$ принималась равной:

$f(\theta, \rho, t) = z$, где z – высота в точке t прямой $l(\theta, \rho)$ такой, что $F \cap \alpha \neq \emptyset$, $l(\theta, \rho)$ – проекция пересечения $F \cap \alpha$ на плоскость xOy .

Далее посредством трейс-функционала $T(F \cap \alpha) = Tf(\theta, \rho, t)$ составляется трейс-матрица, по которой, путем последовательной свертки диаметральным и круговым функционалом, определяется признак $П(F) = \Theta \circ P \circ T(F \cap \alpha)$. Понятие трейс-матрицы подробно описано в [1].

Исходная система признаков, независимо от числа её элементов, как правило, избыточна и включает признаки, не влияющие на классификацию или дублирующие друг друга. Вычислительная сложность получения значений большого числа признаков для каждого распознаваемого изображения, сложность построения решающей процедуры при таком числе признаков, а также неустойчивость результата при учете неинформативных признаков обуславливает целесообразность сокращения размерности признакового пространства.

Минимизация признакового пространства заключается в определении минимального набора эффективных поисковых признаков. Для решения данной проблемы могут использоваться различные преобразования и разложения,

например, преобразование Фурье, использование коэффициентов Карунена - Лоева, использование методов факторного анализа. В настоящей статье мы рассмотрим статистический подход. Его суть заключается в следующем.

Рассмотрим множество $C = A \cup B$, состоящее из n изображений класса A и m изображений класса B . Выберем подмножества $A' \subset A$, мощность которого $\frac{n}{2}$, и $B' \subset B$, мощность которого $\frac{m}{2}$, для обучения системы, т. е. для определения степени значимости каждого признака, оставшиеся подмножества – для испытания обученной системы.

Обозначим Π_{klm} признак, вычисленный путем комбинации k -того трансфункционала с l -ым диаметральным функционалом и m -ым круговым функционалом. Его значение для изображения класса A и экземпляра s этого класса обозначим Π_{klm}^{As} , соответственно для класса B и экземпляра s этого класса обозначим Π_{klm}^{Bs} . Вычисляем среднее значение этого признака для всех образцов изображений для обучения:

$$m_{klm} = \frac{2}{n+m} \left(\sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \Pi_{klm}^{Ai} + \sum_{j=1}^{\frac{m}{2}} \Pi_{klm}^{Bj} \right).$$

Стандартное отклонение этого признака по всем классам имеет вид:

$$\sigma_{klm} = \sqrt{\frac{2}{n+m} \left(\sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} (\Pi_{klm}^{Ai} - m_{klm})^2 + \sum_{j=1}^{\frac{m}{2}} (\Pi_{klm}^{Bj} - m_{klm})^2 \right)}.$$

Признак является эффективным для распознавания изображений, если его значение устойчиво, при замене одного экземпляра трехмерной поверхности на другой того же класса. Таким образом, мы определяем среднюю меру стабильности для каждого признака и измеряем её с использованием дисперсии значений признаков по всему множеству C :

$$q_{klm} = \frac{1}{\sigma_{klm}} \sqrt{\frac{2}{n+m} \left(\sum_{i=1}^{\frac{n-1}{2}} \sum_{h=i+1}^{\frac{n}{2}} (\Pi_{klm}^{Ah} - \Pi_{klm}^{Ai})^2 + \sum_{j=1}^{\frac{m-1}{2}} \sum_{t=j+1}^{\frac{m}{2}} (\Pi_{klm}^{Bt} - \Pi_{klm}^{Bj})^2 \right)}.$$

Чем меньше q_{klm} , тем более подходящим является признак Π_{klm} [2]. Мы можем установить порог Q , который позволит нам назначить вес признакам:

$$\omega_{klm} = \begin{cases} Q - q_{klm} & , \text{если } q_{klm} \leq Q, \\ 0 & , \text{если } q_{klm} > Q \end{cases}$$

Таким образом, информативными будут те признаки, вес которых не равен 0.

Решающая процедура строится с учетом весовых коэффициентов каждого информативного признака. Её суть заключается в следующем. Например, возьмем два класса изображений. Обозначим их A и B , t – тестовое изображение. Расстояние между тестовым образцом и множеством A есть:

$$d(t, A) = \sum_{klm} \frac{\omega_{klm}}{\sigma_{klm}} |P'_{klm} - m_{klm}^A|, \text{ где } m_{klm}^A = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} P_{klm}^{Ai}.$$

Тогда тестовое изображение относят к множеству A , если $d(t, A) < d(t, B)$.

Проверка эффективности предлагаемого метода сокращения размерности признакового пространства проводилась на примере трехмерных поверхностей раковинных амёб. Путем автоматической генерации было сформировано 2000 триплетных признаков. После чего, посредством предлагаемого метода минимизации признакового пространства, было выбрано 46 наиболее информативных признаков. Проведенный эксперимент показал, что средняя ошибка классификации для информативных признаков, выделенных статистическим методом, составляет 0,7%.

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Подход к проблеме формирования признаков трехмерных поверхностей с позиции стохастической геометрии позволяет автоматически, без непосредственного участия эксперта генерировать большое число признаков, причем без предварительного упрощения анализируемых изображений. Минимизация размерности признакового пространства, основанная на представленном статистическом методе, обнаруживает высокую эффективность применительно к проблеме распознавания трехмерных поверхностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 15 – 07-04484.

Список литературы

1. Федотов Н.Г. *Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа*. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 304 с.
2. Федотов Н.Г., Мокшанина Д.А. *Распознавание изображений со сложной полутоновой текстурой*. // *Измерительная техника*. – 2010. – № 11. – С. 27–31.
3. Федотов Н.Г., Голдуева Д.А. *Анализ цветных объектов с позиции стохастической геометрии и функционального анализа // Надежность и качество : труды Международного симпозиума: в 2 т. – Пенза : Изд-во Пенз. ГУ, 2012. – Т. 2. – С. 390–392.*
4. Федотов Н.Г., Голдуева Д.А. *Геометрические и яркостные триплетные признаки полутоновых изображений // Интеллектуализация обработки информации (ИОИ-2012): труды 9-й Международной конференции. – Черногогория, 2012. – С. 448 – 452.*
5. Федотов Н.Г., Голдуева Д.А., Богоносцева, А.Г. Фахретдинов А.Г. *Применение методов стохастической геометрии и функционального анализа при распознавании полутоновых изображений // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс Выпуск 05(09), 2012. – с. 77–83.*
6. Федотов Н.Г., Голдуева Д.А. *Распознавание цветных текстур // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: сборник статей XI международной научно-технической конференции «Распознавание – 2013». – Курск 2013. – С. 103 – 105.*

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

УДК 004.94
ББК 30

ОБЩИЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ И АГЕНТОВ В СЛУЧАЕ ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЙ АКСИОМ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

© М.Ю. Бабич, АО «НПП «Рубин» (г. Пенза, Россия)

GENERAL ALGORITHM OF SYSTEMS AND AGENTS OPERATION IN CASE OF FULFILLMENT OF BELONGING AXIOM CONDITIONS

© M.Yu. Babich, JSC "NPP "Rubin" (Penza, Russia)

В статье рассматриваются аксиомы принадлежности агента нескольким системам, исследуются алгоритмы достижения целей агентов. Вводится понятие допустимых алгоритмов. Приводится общий алгоритм работы систем и агентов, при выполнении аксиом принадлежности.

Ключевые слова: система, многоагентная система, агент, достижение цели, алгоритм, модель.

The paper investigates the axioms of agent belonging to several systems, algorithms of achievement agents goals are investigated. The notion of permissible algorithms is introduced. The general algorithm of systems and agents operation in case of fulfillment of belonging axiom conditions is given.

Key words: system, multiagent system, agent, goal achievement, algorithm, model

В настоящее время находят все более широкое применение сложные организационно-технические системы (обозначим их через S), в контурах которых функционируют люди – должностные лица (ДЛ), управляющие техническими устройствами. Элементы и подсистемы системы S управляются из пункта управления (ПУ) системы. ПУ также принадлежит системе S ($ПУ \subset S$) и является одной из ее подсистем. В ПУ передается информация о текущем состоянии системы S и внешней среды C , находится аппаратно-программный комплекс для решения информационных задач. Информация о состоянии среды, системы, включая агентов, как правило, неточная, противоречивая, неполная. Решения в ПУ принимаются на основе результатов работы информационно-расчетных задач и интуиции, опыта ДЛ. ПУ осуществляет мягкое управление людскими и техническими ресурсами, являющимися объектами управления, жестко не регламентирует пути достижения поставленных целей [1, 2].

Системы S в процессе моделирования можно рассматривать в качестве многоагентных систем. Обозначим множество агентов a , соответствующих ДЛ системы S , через Ag .

Предположим, что P_S – цель функционирования системы.

Введем следующие аксиомы [3]: ©

1) Любая система S принадлежит некоторой суперсистеме W , состоящей из конечного множества различных систем, то есть $\forall S \subset W$, где $(W = \cup S_k) \wedge (\forall k_1, k_2, S_{k_1} \neq S_{k_2})$. Суперсистем может быть несколько, то есть $(\exists W_1) \wedge (\exists W_2) \wedge (W_1 \neq W_2)$.

2) для $\forall a \in Ag \quad \exists S_1, S_2$, где $(a \in S_1) \wedge (a \in S_2) \wedge (S_1 \neq S_2) \wedge (S_1 \subset W_1) \wedge ((S_2 \subset W_1) \vee (S_2 \subset W_2))$, то есть любой агент системы S принадлежит не только рассматриваемой системе, но также и другой системе из какой-либо суперсистемы.

3) $P_{S_1} \neq P_{S_2}$, то есть цели систем, которым принадлежит агент, полностью не совпадают.

Уточним аксиому 2. Имеется в виду, что агент принадлежит двум разным системам, одна из которых не является подмножеством другой. То есть $\forall a \in Ag \quad \exists S_1, S_2$, такие, что $(a \in S_1) \wedge (a \in S_2) \wedge (S_1 \neq S_2) \wedge (S_1 \subseteq W_1) \wedge ((S_2 \subseteq W_1) \vee (S_2 \subseteq W_2)) \wedge (S_1 \not\subseteq S_2) \wedge (S_2 \not\subseteq S_1)$.

Принадлежность другой системы S' (подсистемы) системе S ($S' \subset S$) означает, что система взаимодействует с другими элементами или системами, входящими в S , и должна функционировать в плане достижения цели системы S , ее подцелей или части цели. «Должна» означает, что в определенное время система S' может не функционировать в части достижения цели системы S , ее частей или ее подцелей. Например, при отказе технического устройства.

Рассмотренные аксиомы назовем аксиомами принадлежности агентов.

Заметим, что сам агент a является системой, но его разбиение на подсистемы мы не рассматриваем, тем самым множество всевозможных систем снизу ограничено агентом. Аксиома 1 ограничивает сверху множество систем суперсистемами W .

Аксиомы 2 и 3 выявляют скрытую от ДЛ причину, усложняющую управление системой S : системы рассматриваемого класса всегда являются сложными интегрированными системами, принадлежность агента a системам с полностью не совпадающими целями оказывает влияние на их функционирование.

Рассмотрим функционирование системы и агента, поведение агента в системе, при условии выполнения аксиом принадлежности 1 – 3.

Множество алгоритмов достижения цели P_a агентом a , обозначим через A_{P_a} . Алгоритмы A_1 из $A_{P_{1a}}$ и A_2 из $A_{P_{2a}}$ будем называть допустимыми, если существуют их реализации, для которых одновременно поставленные цели P_{1a} и P_{2a} достижимы агентом a за отведенные периоды времени.

Принадлежность агента a некоторой системе S определяет правила поведения агента $\varphi(S)$, то есть выполнение некоторых регламентированных действий при соответствующем состоянии среды C и системы S . Каждая система S имеет свою степень «жесткости» выполнения правила φ . Под жесткостью правила будем понимать необходимость выполнения правила. Обозначим через $type(S)$ значение, соответствующее типу системы, которое определяет степень необходимости выполнения правила φ . $type(S) \in [0, 1]$. Чем больше значение $type(S)$, тем больше необходимость выполнения правила φ . Смотри, например, [4,5].

После получения цели от ПУ, учитывая значение $type(S)$ и регламентирующие правила $\varphi(S)$, агент должен выполнить действия по достижению поставленной цели. Возможны следующие варианты:

- существует алгоритм достижения цели, то есть $A_{P_a} \neq \emptyset$;
- состояния среды, системы и агента таковы, что алгоритм достижения цели отсутствует, то есть $A_{P_a} = \emptyset$.

Во втором случае возможны варианты поведения агента:

- агент предпринимает действия по поиску необходимого, но неизвестного алгоритма и находит его (адаптация, обучение с подкреплением, перебор вариантов и т.д.);

- агент пытается достичь цели с наименьшими потерями;
- агент не предпринимает никаких действий.

При возникновении некоторых разрешающих условий $\psi_C(t)$, $\psi_a(t)$, $\psi_S(t)$ по отношению к среде, агенту и в целом к системе, то есть, когда $\psi_S(t)=\psi_C(t)=\psi_a(t)=true$, система может выполнить некоторые действия $u_S(\psi_S(t), \psi_C(t), \psi_a(t), a)$ относительно агентов. Например,

- перевести агента из одной своей подсистемы в другую;
- исключить агента из системы (исключение с передачей его другой системе суперсистемы W , с передачей его другой суперсистеме W' , с передачей конкуренту системы S);
- включить агента в систему;
- изменить значение $type(S)$.

Каждый агент определяет тип системы S и вносит его в свои ментальные понятия, убеждения. Обозначим ментальный тип системы, который определен агентом, через $type^i(a)$ или $type^S(a)$, где верхний индекс соответствует индексу системы или обозначению системы. В общем случае $type^1(a)$ может быть отличным от $type(S_1)$.

По отношению к системе агент, при возникновении разрешающих условий, также может выполнить некоторые действия $u_a(\psi_S(t), \psi_C(t), \psi_a(t), S)$. Например:

- выйти из системы;
- войти в систему;
- изменить значение $type^S(a)$.

Уточним действия агента после получения цели из ПУ. Агент выполняет действия по достижению поставленной цели, учитывая значение $type(S)$, но в соответствии со своими ментальными понятиями, а именно, в соответствии со значением $type^S(a)$. Агент может отказаться от достижения цели, поставленной ПУ, исходя из степени необходимости выполнения правила φ .

Какие другие цели могут быть у агента? Другие цели агенту ставит другая система, которой принадлежит агент. Смотри аксиомы принадлежности. Частично алгоритм функционирования агента в случае двух поставленных целей рассмотрен в [6].

Если множество алгоритмов достижения целей, полученных от двух систем, являются множествами допустимых алгоритмов, то выбор алгоритмов из множеств A_{P1a} и A_{P2a} происходит в соответствии с их эффективностью достижения целей. То есть выбор цели должен осуществляться по некоторому алгоритму выбора. Обозначим его через $\eta_1(A_{P1a}, A_{P2a})$.

Как осуществляется выбор алгоритмов, когда любая пара алгоритмов из множеств A_{P1a} , A_{P2a} является недопустимой? В этом случае агент должен выполнить алгоритм, в соответствии со значениями $type(S_1)$, $type(S_2)$ и правил $\varphi(S_1)$, $\varphi(S_2)$, определяющих необходимость достижения целей. Но значения $type(S_1)$, $type(S_2)$ отражены в ментальных понятиях агента, то есть в значениях $type^1(a)$, $type^2(a)$. Итак, должен существовать некий алгоритм, позволяющий отказаться от достижения одной из целей и, соответственно, от алгоритма достижения цели. Обозначим его через $\eta_2(A_{P1a}, A_{P2a})$.

Действуя по алгоритму η_2 , агент определяет правило, позволяющее отказаться от достижения цели. Предположим, это правило $\varphi(S_2)$. Тогда агент переходит к реализации алгоритма A_{P1a} . Если ни одно из правил $\varphi(S_1)$, $\varphi(S_2)$ не позволяет отказаться от достижения цели, то агент определяет систему S_i , для

которой он может выполнить изменение своих ментальных понятий, то есть изменение значения $type^i(a)$. Агент изменяет значение $type^i(a)$ так, чтобы выполнялось условие: правило $\varphi(S_i)$ позволяет отказаться от достижения цели P_{ia} . В этом случае имеем, что $type(S_i) \neq type^i(a)$. Таким образом, алгоритм η_2 расширяется до алгоритма, который не только определяет цель, от которой можно отказаться, но и определяет, что делать с ментальными понятиями.

Система и агент после завершения периода, отведенного для достижения цели, в соответствии с правилами, могут выполнить действия $u_S(\psi_S(t), \psi_C(t), \psi_a(t), a)$ и $u_a(\psi_S(t), \psi_C(t), \psi_a(t), S)$.

Общий алгоритм функционирования систем и агента будет выглядеть следующим образом.

1. Системы S_1 и S_2 ставят перед агентом, принадлежащим этим системам, цели P_{1a} и P_{2a} .
2. Агент анализирует множества алгоритмов $A_{P_{1a}}$ и $A_{P_{2a}}$.
3. Если существует хотя бы одна пара допустимых алгоритмов, то агент осуществляет выбор цели $P_{ia} = \eta_1(A_{P_{1a}}, A_{P_{2a}})$.
4. В противном случае происходит либо выбор цели, от которой можно отказаться – $P_{ia} = \eta_2(A_{P_{1a}}, A_{P_{2a}})$, либо выбор пары алгоритмов для целей (P_{1a}, P_{2a}) , которые агент пытается достичь с наименьшими потерями. В процессе выполнения текущего пункта алгоритма значения $type^i(a)$ могут изменяться.
5. Выбранные алгоритм или алгоритмы выполняются.
6. Система и агент после завершения периода времени, отведенного для достижения целей, выполняют действия $u_S(\psi_S(t), \psi_C(t), \psi_a(t), a)$ и $u_a(\psi_S(t), \psi_C(t), \psi_a(t), S)$.

Разработка общего алгоритма функционирования систем и агента позволяет моделировать изменение состояний систем S_1, S_2 , для которых выполняются условия аксиом принадлежности, в частности, изменение состояний принадлежащих им агентов, а также изменение состояний внешней среды S .

Пусть S_1, S_2, \dots, S_n автоматизированные системы со своими ПУ, функционирующие на некотором нижнем уровне суперсистемы. Тогда ДЛ в центральном органе верхнего уровня, принимающее решение на основе информации, поступающей от систем S_1, S_2, \dots, S_n , можно рассматривать в качестве агента a , для которого выполняется: $a \in S_1 \cap S_2 \cap \dots \cap S_n$. Системы S_1, S_2, \dots, S_n создавались длительное время, разными разработчиками и потому имеют разную идеологию, средства вычислительной техники, концептуальные модели баз данных, программное обеспечение (ПО), пользовательский интерфейс и т.д. Для создания ПУ центрального органа часто принимается решение моделировать работу систем S_1, S_2, \dots, S_n , работу создаваемого ПУ, передачу информации от систем S в ПУ центрального органа [7]. Моделирование работы ПУ центрального органа может осуществляться путем макетирования работы создаваемого ПО или его тестированием. Реализация приведенного выше алгоритма позволяет:

- определить условия возникновения несовместимых алгоритмов действий оператора создаваемого ПО или ДЛ, принимающего решение;
- уточнить алгоритм η_2 в части выбора действий, позволяющих с наименьшими потерями отказаться от достижения одной из целей;
- определить наиболее эффективные функции $u_S()$ и $u_a()$;
- определить подходы к задаче интегрирования автоматизированных систем S_1, S_2, \dots, S_n в одну автоматизированную систему.

Список литературы

1. Бабич М.Ю., Ковалева В.С., Нисенбаум Е.Э., Ползунов Н.В., Рыбин С.А. Имитационная модель обнаружения нарушителей границы охраняемой области. // *Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. Выпуск 5.* – М.: ЦНИ «Электроника», 2008. – С. 112–120.
2. Бабич М.Ю. Математическая модель адаптивного поведения рациональных агентов в процессе проведения операций на территории заданного региона. // *Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. Выпуск 4.* – М.: ЦНИ «Электроника», 2009. – С. 74–83.
3. Бабич М.Ю., Бабич А.М. Алгоритмы достижения целей адаптивных агентов в контуре нескольких организационно-технических систем // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия: «Технические науки. Информационные технологии». Выпуск №3 (25). Научно-методический журнал.* 2015. С.77-81.
4. Городецкий В.И. Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов. (Часть 1) // *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2011. №2. – С. 19 – 30.
5. P.Cohen and H.J.Levesque. *Teamwork. Nous*, 35 (1991).
6. Бабич М.Ю. Модель функционирования группы автономных агентов в контуре нескольких информационных систем управления // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия: «Технические науки. Информационные технологии». Выпуск №3 (19). Научно-методический журнал.* 2014. – С.115-119.
7. Сиротинин В.В., Ползунов Н.В., Бабич М.Ю. Вопросы начальной интеграции автоматизированных систем управления распределенными динамическими ресурсами // *Вопросы радиоэлектроники. Серия СОИУ: Выпуск 1.* – М.: ОАО «ЦНИИ «Электроника»», 2015. – С. 8 – 14.

УДК 004.89

ББК 22

ФУНКЦИЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

© Ю.А. Башвеев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический Университет (г. Пенза, Россия)

THE MEMBERSHIP FUNCTIONS OF DECISION SUPPORT SYSTEM SOFTWARE CHOOSING A MICROCONTROLLER

© Y.A. Bashveev, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассмотрен вопрос организации метода выбора микроконтроллера при проектировании устройств цифровой обработки информации на основе информационной производительности. Основой метода является формирование базы данных существующих микроконтроллеров и формирование требуемой информационной производительности по заданным параметрам проектируемого устройства и характеристикам реализуемого алгоритма.

Ключевые слова: система поддержки принятия решения, выбор микроконтроллера, устройство цифровой обработки информации

In the article the question of the organization of the method of choice in the microcontroller designing a digital information processing device based on the performance information. The method is the formation of a database of existing microcontrollers and the formation of the desired performance information on the given parameters of the designed device and the characteristics of the algorithm implemented.

Key words: decision support system, the choice of a microcontroller, a digital information processing device

Выбора микроконтроллера (МК) можно рассматривать как совокупность некоторых этапов, входящих в систему поддержки принятия решения (СППР) [1]. В СППР по выбору микроконтроллера при проектировании устройств цифровой обработки информации (ЦОИ) можно выделить четыре основные этапы:

- подготовительный этап - инициализация СППР, при которой заполняется база данных (БД) микроконтроллерами различных фирм-производителей, с различными параметрами и характеристиками;
- рабочий этап – анализ технического задания на проектирование устройства ЦОИ с целью сформировать требования к МК;
- этап принятия решения по выбору МК на основе целевого функционала [2];
- этап коррекции результатов лицом, принимающим решение (ЛПР).

На рисунке 1 представлена UML-диаграмма взаимодействия этапов метода принятия решения.

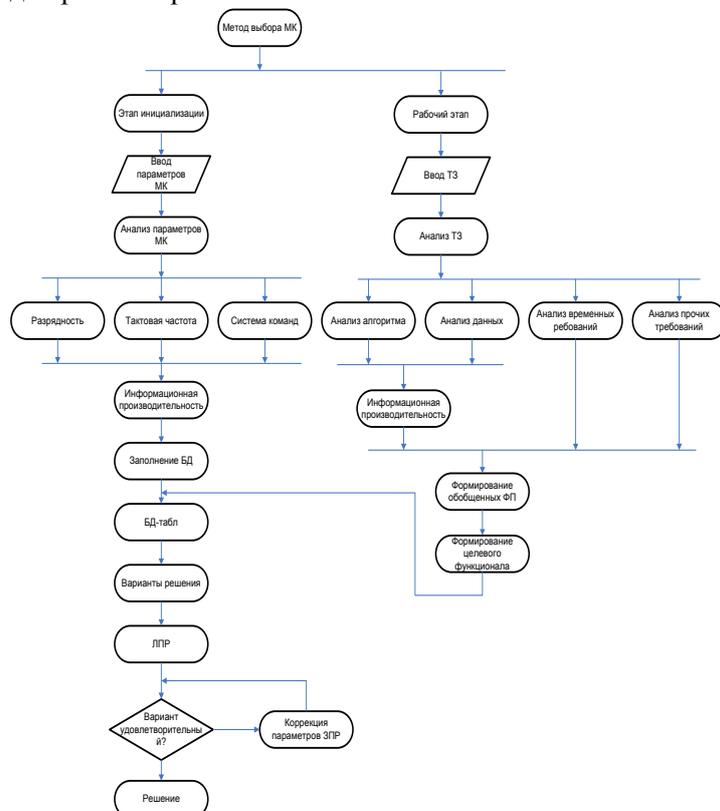


Рисунок 1 – Схема взаимодействия этапов метода выбора МК

Существенную роль играет этап анализа технического задания (ТЗ), который включает в себя не только анализ реализуемого алгоритма ЦОИ, но и задачу оптимизации, в которую входят этапы, представленные на рисунке 2, и которые заключаются в следующем.

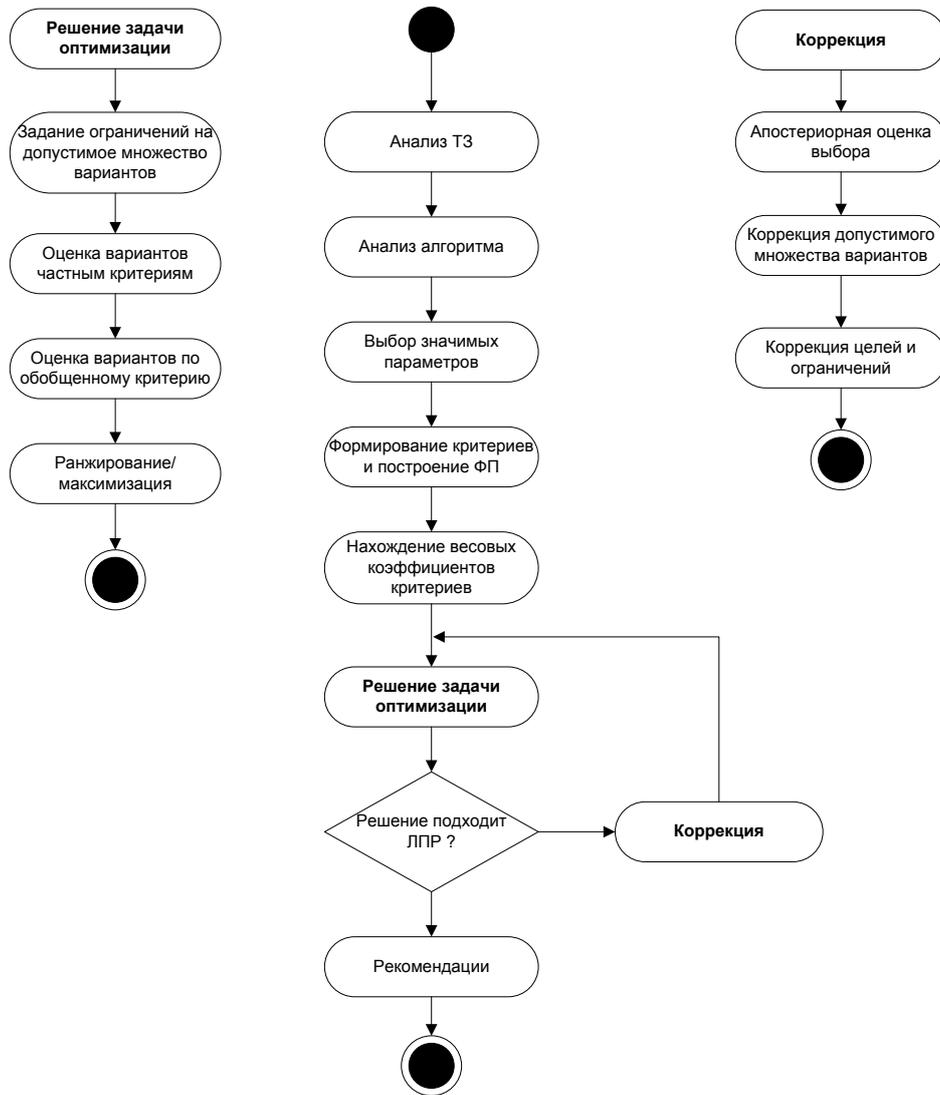


Рисунок 2 – Включение в этап анализа ТЗ задач оптимизации и коррекции решения по выбору МК

Анализ ТЗ, анализ алгоритма. МК должен, прежде всего, удовлетворять не чисто субъективные требования разработчика, а требованиям, полученным посредством анализа алгоритма и формализацией ТЗ. Такие требования формулируются в виде высказываний, по которым в дальнейшем будут задаваться цели и ограничения.

Выбор значимых параметров. У МК имеется большое количество различных параметров. На данном этапе выбираются те из них, учет которых может повлиять на выбор варианта МК.

Формирование критериев и построение функции принадлежности (ФП). Исследуются зависимости между параметрами МК и частными критериями выбора. Экспертами формулируются высказывания, отражающие эти зависимости. С использованием вербально-числовой шкалы задаются нечеткие, либо четкие цели и ограничения, строятся ФП нечетких множеств по критериям.

Нахождение весовых коэффициентов критериев. Важность различных критериев в выборе МК также различна. С целью нахождения весовых коэффициентов на данном этапе производится попарное сравнение частных критериев по важности.

Решение задачи оптимизации. Оптимизация по вектору оценок критериев проводится в несколько этапов. Сначала устанавливаются дополнительные ограничения на допустимое множество с целью отсеять ненужные варианты. Далее находятся частные критериальные оценки по каждому МК. Такую оценку возможно получить имея данные по параметрам МК и ФП по частным критериям. С учетом весовых коэффициентов находятся обобщенные критериальные оценки методом свертки критериев. Затем производится в зависимости от специфики задачи либо максимизация по обобщенному критерию, либо ранжирование вариантов.

Коррекция. Если результат решения задачи выбора не удовлетворителен, то ЛПР изменяет условия задачи. Могут быть заданы другие весовые коэффициенты, скорректированы ФП нечетких множеств [3] по критериям, либо изменены зависимости между параметрами МК и критериями.

Формирование функций принадлежности

При обработке качественной информации могут быть использованы вербально-числовые шкалы, которые позволяют измерить степень выраженности критериев, которые имеют субъективный характер. В работе предлагается использовать шкалу Харрингтона, приведенную в таблице 1. Шкала была получена эмпирическим путем и является универсальной.

Таблица 1 – Шкала Харрингтона

Наименование градации	Числовые интервалы	Количественное значение
Очень хорошо	80-100	90
Хорошо	63-80	0,715
Удовлетворительно	37-63	0,50
Плохо	20-37	0,285
Очень плохо	0-20	0,10
Неприемлемо	0	0

Нечеткая информация от экспертов о параметрах МК и о критериальных оценках представляется в виде условных высказываний вида [3]:

$$g = \left\langle \text{если } x \text{ есть } A_i, \text{ то } x \text{ есть } A_{k_j} \right\rangle, \quad (1)$$

где A_i – нечеткое подмножество множества всех вариантов A , определяемое степенью соответствия x параметру l , A_{k_j} – нечеткое подмножество A , определяемое степенью соответствия x критерию k .

Покажем, по каким принципам для критериев различных типов будут строиться ФП.

ФП по номинальным параметрам. Номинальная шкала является *дискретной*, устанавливает *взаимно однозначное* соответствие между объектами, обладающими одним и тем же свойством. Из определения следует, что множество элементов X может содержать конечное число подклассов M , при этом для всех $x \in M_i$ степень принадлежности некоему нечеткому множеству A_j будет константна: $\mu_j(x_{M_i}) = const$.

Таким образом, ФП будет иметь *ступенчатый вид*. В самом простом и наиболее распространенном случае будет только два уровня, т.е. элемент $x \in X$ может либо полностью принадлежать какому-либо нечеткому множеству A_j , и тогда степень принадлежности $\mu_j(x) = 1$, либо полностью не принадлежать, тогда степень принадлежности $\mu_j(x) = 0$. На рисунке 3 представлены примеры ступенчатых ФП.

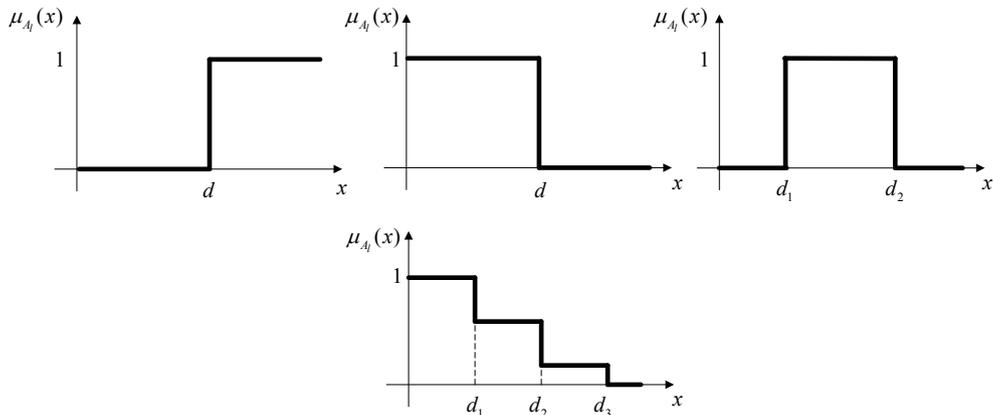


Рисунок 3 – Типовые ФП номинальных параметров

В общем виде ступенчатая ФП задается сопоставлением некоего интервала и значение функции на этом интервале:

$$\mu_j(x) = \begin{cases} p_1, & \text{если } x \in (0; d_1]; \\ p_2, & \text{если } x \in (d_1; d_2]; \\ \dots & \\ p_{n+1}, & \text{если } x \in (d_n; \infty). \end{cases} \quad (2)$$

ФП по интервальным параметрам строятся иначе.

Шкала интервалов *количественная*, может иметь *непрерывный* характер, устанавливает упорядочение объектов в зависимости от величины различия какого-либо свойства [4,5].

Так как шкала интервалов непрерывна, то ФП для интервальных критериев также может быть непрерывна. Такими свойствами обладают ФП, относящиеся к подклассу полиномиальных: S -образная, Z -образная и π -образная ФП (рисунок 4).

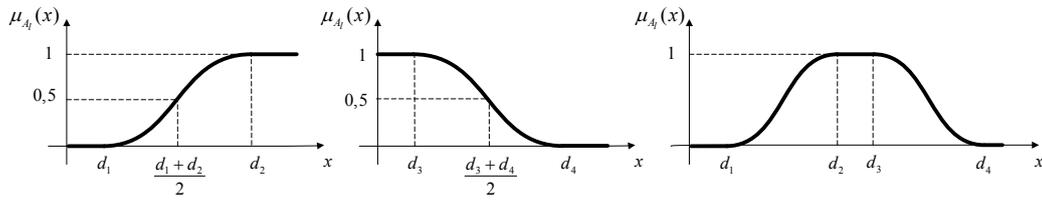


Рисунок 4 – Интервальные ФП

В общем виде π -образная ФП задается формулой :

$$\begin{aligned} \mu_{A_i}(x) = & \left[2 \left(\frac{x-d_1}{d_2-d_1} \right)^2 \times 1 \left(d_1 < x \leq \frac{d_1+d_2}{2} \right) + \right. \\ & \left. + \left(1 - 2 \left(\frac{d_2-x}{d_2-d_1} \right)^2 \right) \times 1 \left(\frac{d_1+d_2}{2} < x < d_2 \right) + 1(x \leq d_2) \right] \times \\ & \times \left[1(x \leq d_3) \cdot \left(1 - 2 \cdot \left(\frac{x-d_3}{d_3-d_4} \right)^2 \right) \times 1 \left(d_3 < x \leq \frac{d_3+d_4}{2} \right) + \right. \\ & \left. + 2 \cdot \left(\frac{d_4-x}{d_3-d_4} \right)^2 \times 1 \left(\frac{d_3+d_4}{2} < x < d_4 \right) \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где d_1, d_2 – параметры, определяющие форму и положение левой половины кривой, d_3, d_4 – аналогичные параметры для правой половины кривой. Вообще приведенной формулы нам будет достаточно для всех трех случаев сигмоидальных ФП, т.к. при $d_1 = 0$ и $d_2 = 0$ мы получим S -образную ФП, а при $d_3 \rightarrow \infty$ и $d_4 \rightarrow \infty$ мы получим Z -образную ФП. Кроме того, если $0 < d_1 = d_2 < \infty$ или $0 < d_2 = d_3 < \infty$, то мы получим ступенчатую ФП с двумя уровнями. Такой ФП удобно задавать строгие, четкие ограничения.

На интервальные критерии может накладываться множество нечетких ограничений/целей. Положим, по анализу ТЗ выяснилось, что, во-первых, некий параметр МК K должен быть примерно равным d_1 , а, во-вторых, этот же параметр должен быть строго больше d_2 . Тогда ФП нечеткого множества годных МК определяется пресечением

$$\mu_{A_k}(x) = \mu_B(x) \cap \mu_C(x) = \min(\mu_B(x), \mu_C(x)),$$

где $B = \{МК с параметром l примерно равным d_1\}$,

$C = \{МК с параметром l строго большим d_2\}$.

Возможная в таком случае ФП представлена на рисунке 1.

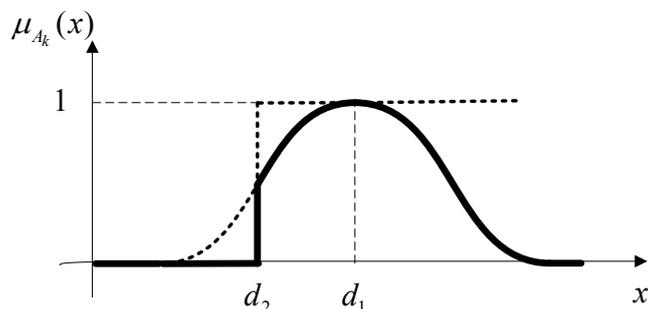


Рисунок 5 – Построение ФП пересечением

ФП по порядковым параметрам. Порядковая шкала является частным случаем шкалы номинальной, поэтому всё что говорилось выше касательно построения ФП для номинальных параметров, справедливо и здесь. Однако есть некоторые дополнительные нюансы, о которых нельзя не упомянуть.

Порядковые параметры требуют дополнительной экспертной оценки. После оценки экспертами каждому порядковому параметру $l_{\Pi} \in L_{\Pi}$ для каждого варианта $x \in X$ ставится в соответствие оценка, которая может принимать *любое* значение на интервале $[0; 1]$.

Каждому l_{Π} соответствует оценка по лингвистической шкале $\{\text{неприемлемо, очень плохо, ..., очень хорошо}\}$, характеризующая степень его выраженности. Здесь важно понимать, что μ_l нечеткого множества *выраженных* x по признаку l_{Π} и μ_k нечеткого множества *годных* x по признаку l_{Π} могут не совпадать.

Возьмем нечеткое множество:

$$A_{\Pi} = \{\text{множество МК с выраженным признаком } l_{\Pi}\}.$$

В некоторых случаях действительно $\mu_l = \mu_k$, если

$$A_1 = \{\text{множество годных МК} = \text{множество выраженных МК по признаку } l_{\Pi}\}$$

Однако эксперт может задать некоторые дополнительные условия, он может, например, посчитать, что

$$A_2 = \{\text{множество годных МК} = \text{множество выраженных МК по признаку } l_{\Pi} \text{ и с оценкой не меньше } d\},$$

либо, что просто подойдут *любые* МК, оценка которых по лингвистической шкале не меньше значения d :

$$A_3 = \{\text{множество годных МК} = \text{множество МК с выраженностью не меньше } d \text{ по признаку } l_{\Pi}\}$$

Для второго случая общая ФП находится пересечением, также как было описано выше.

ФП для составных критериев. Критериальные оценки нечетко зависят от параметров МК. При сложных зависимостях не представляется возможным назначение оценок по критериям для каждой альтернативы. Однако эксперт может сопоставить значения параметров и критериев. Такие сопоставления –

набор высказываний, который ставит в соответствие неким значениям $l_i(x), i \in \overline{1, n}$ значение критерия $k(x)$.

Пусть высказывание определяет значение критерия $k_i(x)$ при некоторых сочетаниях значений параметров $L_i = \{l_j(x)\}$. Обозначим через C_i выражение

$$\bigvee_{r=1}^{n_i} \bigwedge (l_{j_r}(x) = H_{j_r i}), \quad (4)$$

$H_{j_r i}$ – нечеткие или лингвистические значения параметров, тогда высказывание (1) можно записать в следующем виде:

\langle Если значения параметров $l_i(x), i \in \overline{1, n}$ таковы, что выполняется условие C_i , то критерий k принимает значение G_{ki} \rangle ,

или в более короткой форме: \langle Если C_i , то $k(x) = G_{ki}$ \rangle (5)

ФП по частному критерию строится пересечением $\mu_k(x) = \mu_{k1}(x) \cap \mu_{k2}(x)$. В графическом виде ФП нечеткого множества соответствующего высказыванию (1) представлены на рисунке 6.

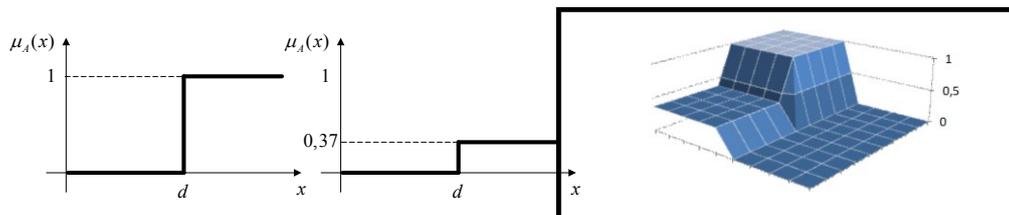


Рисунок 6 – Типовая ФП по составному номинальному параметру

Также интересным случаем является построение ФП по таким параметрам как “рабочий температурный диапазон” или “диапазон напряжения питания”. По сути, такие параметры являют собой пару интервальных параметров $l = (l_S, l_H)$.

Зададим два нечетких множества:

$$A_S = \{МК с пригодным параметром $l_S\}$,$$

$$A_H = \{МК с пригодным параметром $l_H\}$.$$

ФП множества годных МК по параметру l также определяется пересечением $\mu_k(x) = \mu_{l_S}(x) \cap \mu_{l_H}(x)$, но зависит теперь уже от двух параметров l_S и l_H . Пример ФП по составному критерию представлен на рисунке 7.

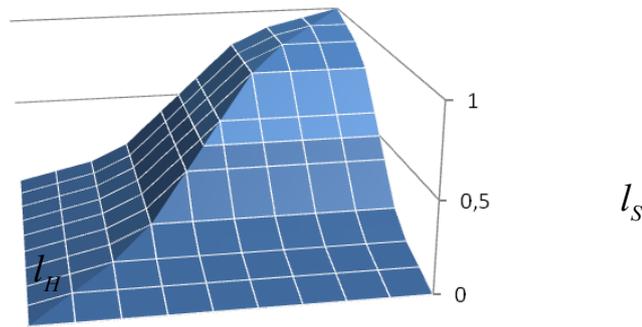


Рисунок 7 – Типовая ФП по составному интервальному параметру

Общая оценка МК. Общий показатель качества задается в виде вектора $y = f(x) = (f_1(x), \dots, f_h(x))$, компонентами которого служат оценки варианта по отдельным частным критериям эффективности $y_j = f_j(x)$, $j = 1, \dots$, в многомерном пространстве целей на множестве допустимых вариантов X^a , $x \in X^a$.

Общая целевая функция $\tilde{f}_{j \dots}$ задается сверткой нечетких частных целевых функций $\tilde{f}_{j \dots}$, имеющих различную важность $w_j > 0$, $\sum_j w_j = 1$. При использовании аддитивной свертки в виде взвешенной суммы, ФП для общего показателя $\tilde{f}_{j \dots}$ будет иметь вид: $\mu_f(x) = \sum_{j=1}^h w_j \mu_{f_j}(x)$, который отражает

принцип *равномерной оптимальности*. Наибольшую оценку получит вариант, имеющий наибольшую среднюю оценку по всем частным критериальным функциям с учетом весовых коэффициентов. Однако при таком подходе вариант может получить общую высокую оценку, даже если по какому-либо важному критерию оценка будет нулевой, т.е. не выполняется условие: может существовать $\tilde{f}_{j \dots}$, такая что $\tilde{f}_{j \dots}$ при $\sum_{j=1}^h w_j \tilde{f}_{j \dots}$.

Эта проблема не может быть решена и применением мультипликативной свертки, отражающей принцип *справедливого компромисса*:

$$\mu_f(x) = \prod_{j=1}^h w_j \mu_{f_j}(x). \quad \text{Здесь появляется другая крайность,}$$

при $\forall f_j(x) = 0$, $f(x) = 0$. Введение дополнительных ограничений $\mu_{f_j}(x) \geq \mu_{f_j}^0$, $j = 1, \dots$, где $\mu_{f_j}^0$ – минимально допустимый пороговый уровень ФП, позво-

ляет сузить область X^a , решив тем самым проблему учета при нахождении общей оценки нулевых значений по оценкам критичных частных критериев, возникающую при аддитивной свертке.

Оценка по всем частным критериям $\mu_{f_j}(x)$ представляет собой безразмерную величину в интервале $[0,1]$. Минимально допустимые уровни предлагается задавать с использованием шкалы лингвистических оценок качества. Это хорошо согласуется с ТНМ и позволяет наложить ограничения на ФП любого вида.

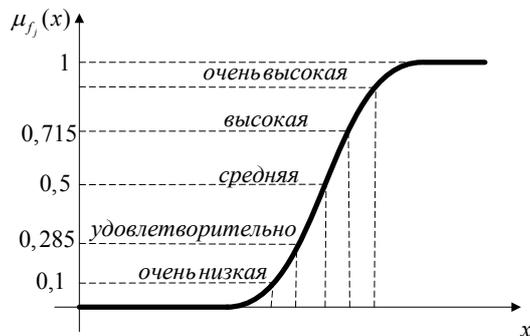


Рисунок 8 – Задание ограничений на ФП через минимальные пороговые уровни

Таким образом, $x \in X^a$, если $\forall \mu_{f_j}(x) \geq \mu_{f_j}^0$. Для тривиального случая, когда эксперту подойдет любой МК с ненулевой оценкой ограничение задается $\mu_{f_j}^0 \rightarrow 0$.

Коррекция исходных данных задачи принятия решения. Если ЛПР не удовлетворен результатом решения задачи, то необходима коррекция исходных данных. Коррекция исходных данных будет необходима в двух случаях:

- некорректно, неверно задано множество допустимых вариантов X^a ;
- неверно выполнено итоговое ранжирование вариантов a_i .

Множество допустимых вариантов X^a является некорректным в двух случаях: неверно заданы ограничения $\mu_{k_j}^0$; неверно задано множество $K_{огр}$.

На рисунке 9 показаны возможные отношения текущего множества допустимых вариантов X^a и желаемого ЛПР множества допустимых вариантов $X^{жс}$.

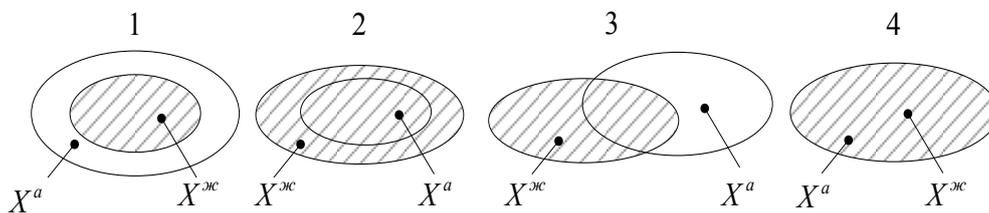


Рисунок 9 – Возможные отношения множеств допустимых вариантов

Если $X^a \neq X^{жс}$, то текущее множество критериев, на которые наложены ограничения $K_{огр}$ и множество критериев для желаемого допустимого множества вариантов $K_{огр}^{жс}$ могут быть равны, т.к. X^a может быть изменено

только с помощью ограничений $\mu_{k_j}^0$. Если $K_{огр} \neq K_{огр}^{жс}$, то с добавленными или удаленными критериями изменяются и ограничения с ними связанными. Таким образом, в независимости от того изменилось ли множество $K_{огр}$, если $X^a \neq X^{жс}$, то $\exists \mu_{k_j}^0 \neq \mu_{k_j}^{жс}$.

В зависимости от ситуации, ЛПР может увеличивать, сужать, изменять X^a или оставлять его без изменений. Формулы описывает возможные случаи:

$$\begin{aligned} \text{если } X^{жс} \subset X^a, \text{ то } K_{огр}^{жс} \subseteq K_{огр}, \exists \mu_{k_j}^0 : \mu_{k_j}^0 < \mu_{k_j}^{жс}; \\ \text{если } X^a \subset X^{жс}, \text{ то } K_{огр} \subseteq K_{огр}^{жс}, \exists \mu_{k_j}^0 : \mu_{k_j}^0 > \mu_{k_j}^{жс}; \quad (6) \\ \text{если } X^a \not\subset X^{жс} \wedge X^{жс} \not\subset X^a, \text{ то } K_{огр} \neq K_{огр}^{жс}, \exists \mu_{k_j}^0 < \mu_{k_j}^{жс} \wedge \exists \mu_{k_j}^0 > \mu_{k_j}^{жс}; \\ \text{если } X^a = X^{жс}, \text{ то } K_{огр} = K_{огр}^{жс}, \forall \mu_{k_j}^0 = \mu_{k_j}^{жс}. \end{aligned}$$

Последний случай отражает ситуацию, когда ЛПР удовлетворен результатом и итераций больше не требуется.

Теперь касательно варианта с неверным итоговым ранжированием. *Ранжирование* может быть неверным в двух случаях:

- неверно заданы весовые коэффициенты W_j ;
- неверно задано множество $K_{вес}$.

В первом случае процедура попарного сравнения критериев выполняется экспертами заново с учетом замечаний от ЛПР. Во втором случае сначала корректируется множество $K_{вес}$, а затем, опять же, выполняется попарное сравнение критериев.

Выводы: – разработана UML-диаграмма метода выбора МК;

– предложена классификация параметров МК на основе типовых шкал измерений;

– разработаны способы построения функции принадлежности для критериев различных типов и для составных критериев МК;

– представлен и обоснован способ нахождения общего показателя качества с помощью аддитивной свертки, а также способ нахождения весовых коэффициентов частных критериев;

– описан принцип коррекции исходных данных задачи принятия решения.

Список литературы

1. Сальников И.И. Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации. – Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 05(09), 2012. – С.69-74.
2. Литвинская О.С. Формализация принятия решений на основе целевого функционала. – Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 05(09), 2012. – С.74-79.
3. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

4. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.: ил.
5. Петровский А.Б. Теория принятия решений / А.Б. Петровский – М.: Издат. центр “Академия”, 2009. – 400 с.

УДК 004.89
ББК 22

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТРОЙСТВ ЦИФРОВОЙ
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

© Ю.А. Башвеев, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

**DECISION MAKING OF A SOFTWARE TO A CHOICE
OF THE MICROCONTROLLER AT PROJECTION OF DEVICES
OF DIGITAL INFORMATION PROCESSINGS**

© Y.A. Bashveev, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Работа посвящена методу выбора микроконтроллера как средства реализации системы цифровой обработки информации. Описывается общий подход к принятию решения по выбору микроконтроллера на основе использования целевого функционала и обобщенной комплексной характеристикой, учитывающей параметры микроконтроллера.

Ключевые слова: принятие решения, выбор микроконтроллера, целевой функционал, обобщенная комплексная характеристика

The work is devoted to a method of a choice of the microcontroller as tools of a realization of a system of digital information processing. The common approach to decisionmaking is described at the choice of the microcontroller because of uses of a target functional and generalized complex performance which is taking into account parameters of the microcontroller.

Key words: decisionmaking, choice of the microcontroller, target functional generalized complex performance

Выбор микроконтроллера (МК) как средства реализации системы цифровой обработки информации, является важной задачей на этапе проектирования. Сегодня в условиях быстроменяющегося рынка электронных компонентов задача выбора выглядит особенно актуально. Специализированные вычислительные устройства используются для решения узкого круга задач и реализации строго определенной группы функций. В процессе эксплуатации эти функции не изменяются. Применение таких систем обусловлено экономическими и эксплуатационными факторами. К специализированным устройствам относятся, например, устройства обработки видеосигнала, бортовые компьютеры автомобилей, устройства с автономным питанием, различные встраиваемые системы управления.

Особенностью задачи выбора являются количественные параметры МК, которые влияют на реализуемые характеристики проектируемой системы. Это позволяет формализовать решение поставленной задачи. Наиболее перспективным является использования функционала выбора, с помощью которого по за-

данным критериям на основе анализа числовых характеристик МК, с одной стороны, так и числовых характеристик системы ЦОИ, с другой стороны, выполнить выбор одного или нескольких МК, наиболее подходящих для работы проектируемой системы ЦОИ.

1. Основные параметры микроконтроллера

– **разрядность шины данных МК** – $n_{\text{ШД}} \in \{8; 16; 32; 64\}$, для сжатия динамического диапазона при определении коэффициента разрядности шины данных используем логарифм:

$$K_{\text{ШД}} = \log_2 n_{\text{ШД}} \in \{3; 4; 5; 6\}. \quad (1)$$

Попутно отметим, что чем выше $n_{\text{ШД}}$, тем выше информационная производительность;

– **тактовая частота**, для реальных МК изменяется в широких пределах – $f_T = 16 \div 480$ МГц. Для определения коэффициента тактовой частоты также используем логарифмирование, что приведет к сжатию диапазона изменения частоты:

$$K_{\text{ТЧ}} = \log_2 \frac{f_T}{f_{T,\text{min}}} \in \{1, \dots, 30\}. \quad (2)$$

Также отметим, что чем выше f_T , тем выше информационная производительность;

– **число машинных циклов** на 1 команду – $n_{\text{МЦ}} \in \{1 \div 4\}$;

Чем больше $n_{\text{МЦ}}$, тем ниже информационная производительность;

– **система команд**, коэффициент системы команд $K_{\text{СК}}$ – примерно одинаков для всех типов современных МК. Отличительной особенностью может служить наличие, либо отсутствие мультипликативных операций – умножения и деления.

Оценим коэффициент системы команд величиной:

$$K_{\text{СК}} = 1 - n \sum_i p_i, \quad (3)$$

где p_i – вероятность мультипликативной операции.

2. Целевой функционал принятия решения

Для принятия решения по многоальтернативному выбору МК при наличии разнородных параметров в [1,2,3,4] было предложено использовать целевой функционал $\Phi(K_1, K_2, K_3)$, построенный на основе численного описания разнородных параметров совокупности элементов, входящих в данную предметную область.

Известно, что функционал $\Phi(K_1, K_2, K_3)$ порождает некоторую функцию $\varphi(\gamma)$, которая, в свою очередь, порождает значение, характеризующее принятое решение. При этом последовательность принятия решения по выбору МК в качестве элементной базы проектируемой системы ЦОИ должна быть следующей.

1. На основе анализа параметров и характеристик существующих МК формируются безразмерные коэффициенты (K_1, K_2, K_3) , которые вводятся в функционал

$$\Phi(K_1, K_2, K_3). \quad (4)$$

Получается некоторая функцию $\varphi(\gamma)$ – сечение многомерной фигуры, отличающаяся безразмерными коэффициентами (K_1, K_2, K_3) .

2. Аналитическое описание $\varphi(\gamma)$ в качестве функции выбора может быть представлено в различных вариантах, общий обзор которых представлен в [3]. Представляет интерес экстремальный вид $\varphi(\gamma)$ функции выбора:

$$\varphi(\gamma) = K_3(1 - e^{-K_1\gamma})e^{-K_2\gamma}, \quad (5)$$

которая включает в себя 4 группы параметров - γ – обобщенный комплексный параметр (ОКП); весовые коэффициенты: K_1 – параметров МК; K_2 – параметров системы ЦОИ; K_3 – обобщенной функции принадлежности (ОФП). Весовые коэффициенты (K_1, K_2, K_3) подставляются в функционал $\Phi(K_1, K_2, K_3)$ и получается ОФП – обобщенная функция принадлежности $\varphi(\gamma)$, которая имеет экстремальный вид, где локальные экстремумы показывают интервальную оценку вариантов решения $\Delta \varphi_i$ (рисунок 1).

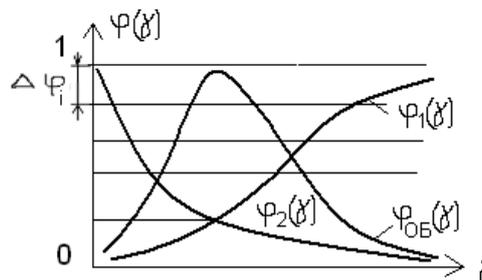


Рисунок 1 – Вид функции принадлежности

Использование целевого функционала дает интервальную оценку с использованием экстремума функции. Если две гладкие функции, не имеющие экстремумы, одна – монотонно убывающая $\varphi_1(\gamma)$, а другая - монотонно возрастающая $\varphi_2(\gamma)$, перемножить, то появляется экстремум (рисунок 1) $\varphi_{\text{ОБ}}(\gamma) = \varphi_1(\gamma) \cdot \varphi_2(\gamma)$, представляющий собой максимум функции выбора, указывающий на значение, представляющий собой интервал решений.

3. Информационная производительность

Для объединения разнородных параметров в функцию выбора необходимо определить некую обобщающую характеристику, которая должна учитывать множество характеристик и параметров выбираемого МК.

Такой обобщающей характеристикой может служить **информационная производительность** (*information production - I_p*) которая оценивает объем обработанной информации в единицу времени. Информационную производительность можно выбрать в качестве меры соответствия параметров МК параметрам проектируемой системы ЦОИ. То есть, информационная производительность может служить объединяющим моментом двух сторон метода выбора МК.

Отметим характеристики и параметры МК, влияющие на информационную производительность:

- разрядность шины данных $n_{\text{ШД}}$ (↑);
- тактовая частота f_T (↑);
- число машинных циклов $n_{\text{МЦ}}$ (↓);
- система команд S_C (↑);
- число портов ввода-вывода $n_{\text{ВВ}}$ (↑);
- объем памяти программы $n_{\text{ПП}}$ (↑);

- число регистров общего назначения $n_{РОН}$ (\uparrow);
- стоимость микроконтроллера $C_{МК}$ (\downarrow);
- число операций в реализуемом алгоритме $n_{ОП}$ (\downarrow);
- время выполнения алгоритма t_A (\downarrow);
- потребляемая энергия $e_{МК}$ (\downarrow).

То есть часть параметров с ростом их значения дают увеличение информационной производительности:

$$\alpha \in \{n_{ШД}; f_T; S_C; n_{ВВ}; n_{ПП}; n_{РОН}\}, \quad (6)$$

то есть $\frac{I_P(\alpha)}{d\alpha} \geq 0$ для параметров α ;

а другая часть параметров с ростом их значения дают уменьшение информационной производительности:

$$\beta \in \{n_{МЦ}; C_{МК}; n_{ОП}; t_A; e_{МК}\}, \quad (7)$$

то есть $\frac{I_P(\beta)}{d\beta} < 0$ для параметров β .

Таким образом, с одной стороны, **требуемая информационная производительность** при проектировании системы ЦОИ, вытекает из задаваемого алгоритма, реализуемого в системе ЦОИ, и его параметров:

- числа операций в реализуемом алгоритме;
- быстродействия работы УЦОИ с учетом времени выполнения алгоритма;
- стоимости МК и потребляемой мощности.

А с другой стороны, **реальная информационная производительность**, характеризующая данный тип МК и вытекает из значений его параметров:

- разрядность шины данных;
- частоты тактовых импульсов;
- объем ПЗУ для хранения программы;
- числа портов ввода-вывода данных;
- число машинных циклов на одну команду;
- число регистров общего назначения;
- системы команд.

При формировании ОФП необходимо:

- параметры перевести в безразмерные коэффициенты;
- объединить безразмерные коэффициенты в комплексный параметр γ , самое простое объединение – сумма нормированных параметров;
- если диапазон изменения параметров велик, то необходимо использовать логарифм, сжимающий диапазон изменения параметров, причем, десятичный логарифм сжимает сильнее, чем логарифм по основанию 2.

Таким образом, информационная производительность – это мера соответствия МК параметрам проектируемой системы ЦОИ. Дает точечную оценку:

$$I_{P,ЦОИ} = I_{P,МК} \in \{P_1, P_2, P_3 \dots\} \quad (8)$$

4. Этапы принятия решения по выбору микроконтроллера

В принятии решения по выбору МК на основе анализа целевого функционала (4) следует выделить несколько этапов:

– этап формирования базы данных (БД), в которой в упорядоченном виде хранятся параметры МК, которые объединены в обобщенную комплексную характеристику ОКХ;

– этап анализа исходного алгоритма работы системы ЦОИ, формирование требуемых параметров;

– этап выбора вариантов МК, удовлетворяющих требованиям технического задания, на основании использования обобщенной функции принадлежности ОФП.

Этап принятия решения по выбору вариантов МК должен включать в себя:

– расчет требуемой информационной производительности системы ЦОИ $I_{р,ЦОИ}$ для реализации заданного алгоритма с заданным быстродействием;

– определение интервалов оценок;

– выполнение обращения к БД, извлекаются варианты МК с их параметрами и предлагаются лицу, принимающему решение (ЛПР), для принятия окончательного решения.

Список литературы

1. Сальников И.И. Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 05(09), 2012. – С.69-74.
2. Литвинская О.С. Формализация принятия решений на основе целевого функционала. - Пенза: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Научно-методический журнал, выпуск № 05(09), 2012. – С.74-79.
3. Литвинская О.С., Сальников И.И. Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы. – Пенза:
4. ЦНТИ. 2011. – 125 с.
5. Светлов А.В., Ушенина И.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров электрических цепей. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2008, №1. – С.81-89.

УДК 004.8

ББК 30

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ В СФЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

© **В.О. Дунин**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

MODELING OF DECISION OF INFORMATION SYSTEMS IN HEALTH CARE

© **V.O. Dunin**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Работа связана с созданием информационной системы поддержки принятия решений, нацеленной на формирование и дальнейшую работу со специализированной единой базой знаний, актуальной информации в сфере мед учреждения. Рассматривается применение аппарата нейронных сетей, для определения вероятности заболевания по косвенным признакам. Реализация си-

стемы предполагается на основе клиент-серверной технологии, с применением облачных технологий хранения и обработки данных.

Ключевые слова: системы сбора данных, поисковые системы, базы знаний, клиент-серверные технологии, кластерный анализ, нейронные сети.

The work involves the creation of an information system decision support, which aims at creating and further work with a dedicated unified knowledge base up to date information in the field of medical institutions. The application of neural networks to determine the probability of disease by circumstantial evidence. Implementation of the system is assumed, based on client-server technology, using cloud storage technology and data processing.

Key words: data acquisition systems, search engines, knowledge base, client-server technology, cluster analysis, neural networks.

E-mail: duninv@gmail.com

Работники современной сферы здравоохранения сталкиваются с проблемами нехватки как специалистов, так и времени на анализ данных из-за большого количества пациентов. В результате возникает ситуации ошибочной поставки диагнозов, как следствие неправильного лечения – причина которому так называемый человеческий фактор. В данной работе рассматривается разработка информационной системы поддержки принятия решений (ИСППР), целью которой является помощь специалистам в анализе большого количества данных, а также математических моделей на основе нейронных сетей, которые будут использоваться в обработке данных системой. Математическая модель нейронной сети будет обучена и интегрирована в программно-аппаратный комплекс с целью выполнения анализа и обработки хранящихся данных.

ИСППР оперирует базой данных о состоянии пациентов, количестве медикаментов, количестве врачей, их квалификации, наличии нужного для лечения оборудования. Система осуществляет обобщение данных, упорядочивание и сортировку данных, различного вида и направлений. Проектируемая система позволит повысить качество обслуживания и улучшить использование методик лечения различных заболеваний, так же поднять эффективность управления медицинскими учреждениями в целом. ИСППР дает возможность заранее найти «нетиповые случаи заболеваний» (которые будут требуют дополнительного контроля), а также прогнозировать ситуации нехватки медикаментов, массовые эпидемии и т.п.

Схематично проект ИСППР можно представить на рисунке 1. Центральной частью системы является узел сбора информации (состоящий из группы серверов индексирования, аналитики) и высокопроизводительной системы управления базами данных. Их основной функцией является структурирование, анализ, хранение и обеспечение доступа к полученной полезной информации. Любого пациента можно рассматривать как некоторый объект, обладающий набором свойств [1]. Последние, в свою очередь, можно разделить на индивидуальные качества и симптомы, представленные в виде историй болезни, занесенных в электронные карточки пациентов [2].

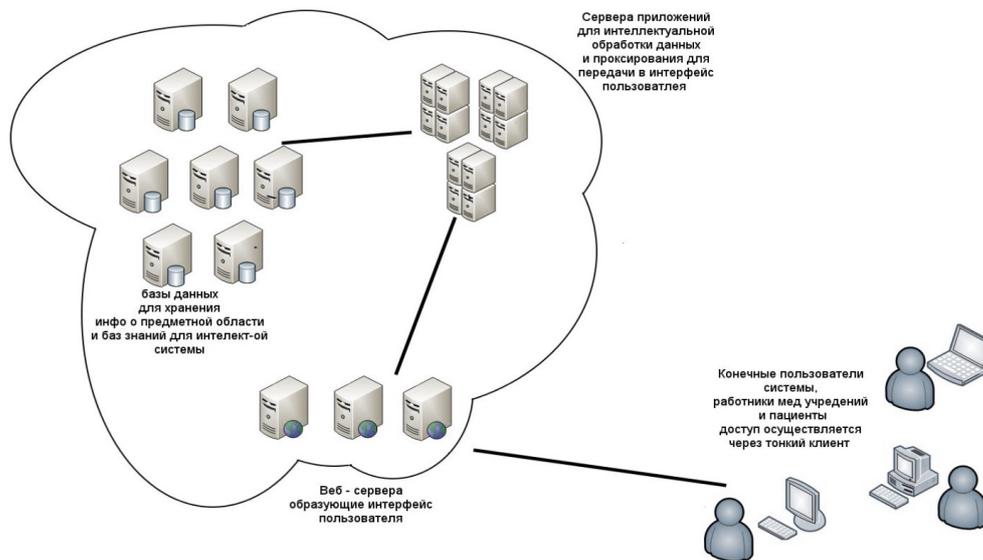


Рисунок 1 — Общая схема ИСППР

Свойства (характеристики) пациентов должны включать в себя содержимое карточки пациента (возраст, пол, группу крови, противопоказания – то есть основные показатели, которые можно применить для диагностики заболевания). На основе содержимого базы знаний ИСППР, возможно осуществлять запрос на анализ ситуации – входные данные которого могут варьироваться от уровня «конкретный пациент» до уровня «ситуация в регионе» (ЭС). База знаний формируется на основе уже имеющихся данных, и закономерностей (зависимостей) между ними – так же база данных будет редактироваться и обновляться с помощью новых данных получаемых в процессе работы системы [3].

ИСППР расположена в «частном облаке», пользователи получают доступ к интерфейсу системы посредством тонкого клиента (с применением дополнительных способов авторизации, таких как личный ключ) [10]. Серверная часть системы состоит из трех больших модулей:

- сервера баз данных;
- сервера обработки информации;
- сервера для предоставления веб-доступа;

Данная система позволяет решить следующие задачи:

- централизованное хранение данных пользователей;
- централизованный доступ к хранимым данным;
- обеспечение единых стандартов безопасности;
- анализ данных и предоставление пользователю результатов анализа данных [4].

Решение поставленных задач может осуществляться линейными методами, задача анализа и прогнозирования данных требует реализовать схему с использованием нелинейного интеллектуального алгоритма, представленную на рисунке 2 [9].

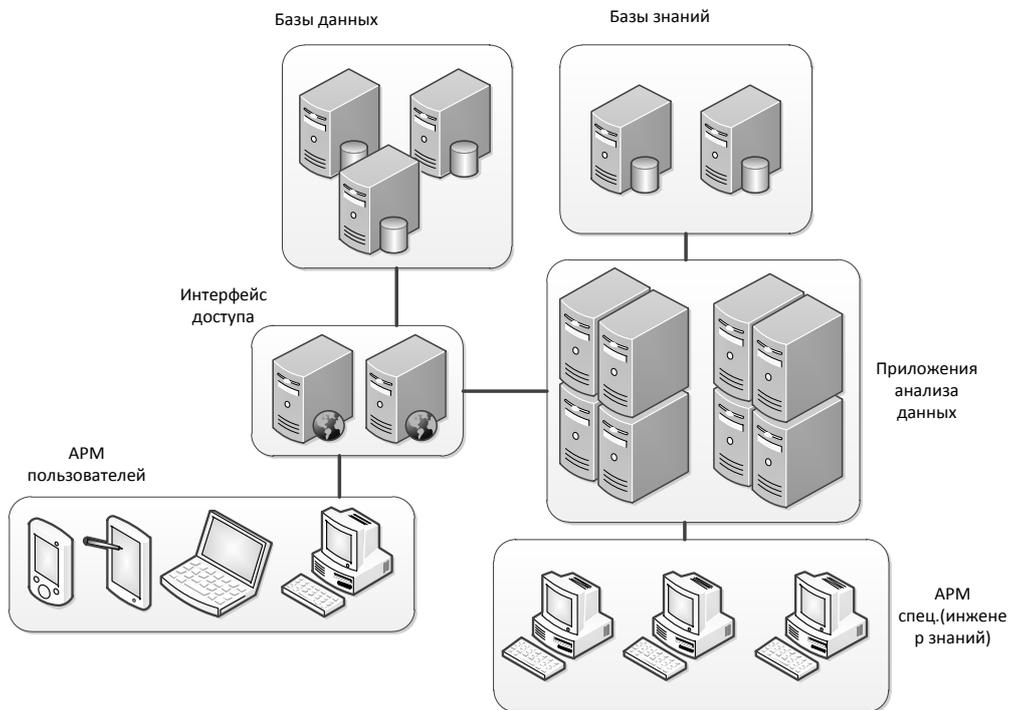


Рисунок 2 – Схема анализа и обработки ИСППР

Механизм логического вывода предназначен для получения новых фактов на основе сопоставления исходных данных из рабочей памяти и знаний из базы знаний. Данный механизм позволяет сформировать заключения, воспринимая вводимые факты как элементы правил, отыскивая правила, в состав которых входят введенные факты и, актуализируя те части, которым соответствуют введенные факты. В данном случае, для формирования данных нужен специалист-когнитолог (инженер по знаниям) [9]. Работа когнитолога заключается в разработке и интеграции математических моделей в подсистему анализа и принятия решения.

Рассмотрим процесс формирования математической модели специалистом, на примере определения факта заболевания раком у пациентов, который состоит из нескольких совокупных признаков, с использованием нейросети. Для этого сформируем статистические данные о пациентах, имеющих признаки заболевания.

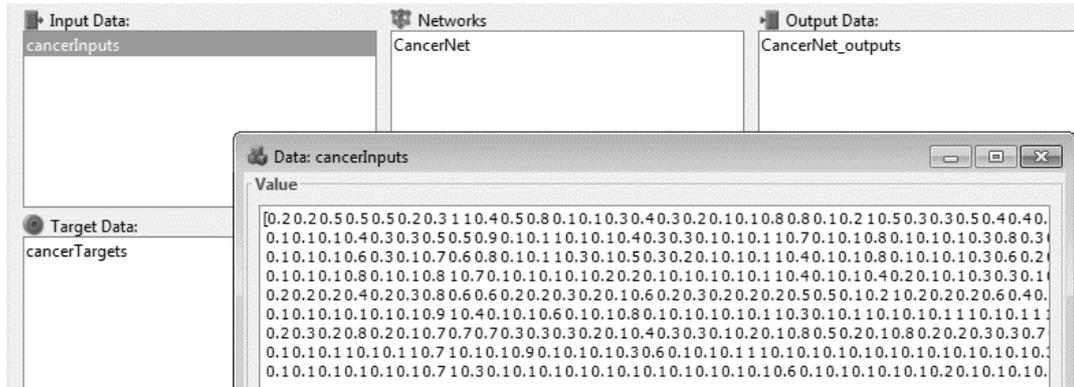


Рисунок 3 – Формирование входного набора данных

Первичная задача инженера-конгитолога сформировать входной набор данных и отобразить для него важные параметры (которых будет достаточно для суждения о проблеме), которые кодируются в понятном для искусственной нейросети виде. Данные хранятся в виде массивов - один массив отвечает за конкретного пациента и содержит персонализированный набор параметров, все параметры (в данном случае) берутся в виде коэффициентов, они сформированы как дельта (изменение параметра за одинаковый интервал времени):

- нарушение метаболизма;
- признаки интоксикации;
- инкрементное повышение температуры;
- изменение цвета кожи;
- изменение темпов алопеции;
- хрупкость ногтей.

Данные подаются на вход сети для обучения в преобразованном виде (рисунок 3). Для получения результата в сеть импортируются целевые данные – это позволит в явной форме научить сеть различать вероятность заболевания (рисунок 4).

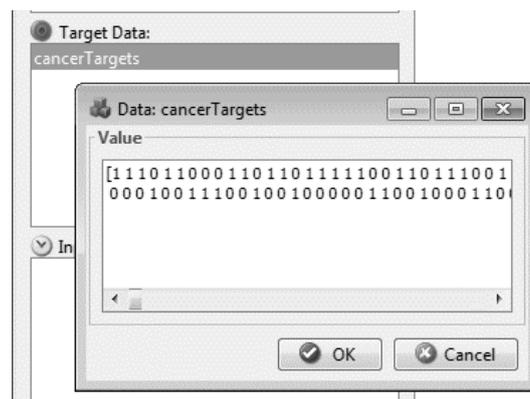


Рисунок 4 – Массив выходных данных для обучения

Следующим шагом происходит формирование, а затем обучение сети (рисунок 5) на основе заложенных данных в сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки.

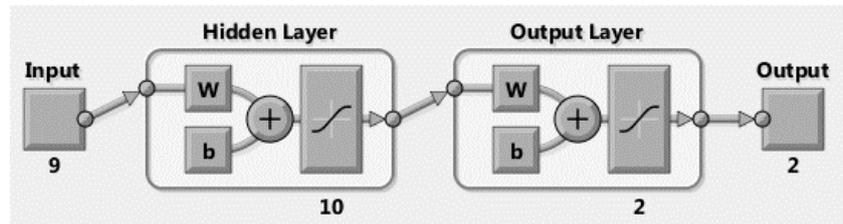


Рисунок 5 – Схема нейросети

В полученной сети создано 9 нейронов входного слоя, 10 нейронов скрытого слоя, 2 нейрона выходного слоя и 2 выхода. После процесса обучения, необходимо оценить «эффективность нейросети». Для этого необходимо воспользоваться инструментами коррекции и диагностики (рисунок 6, 7, 8). Сеть не всегда удастся смоделировать с первой попытки, поэтому нужно каждый раз заново оценивать результаты тренировки сети [5].

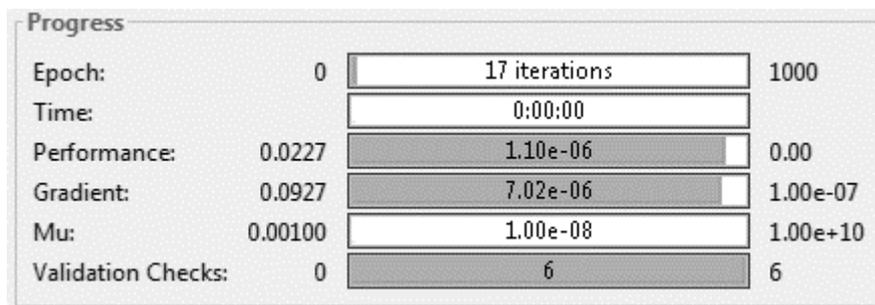


Рисунок 6 – Статистика обучения сети

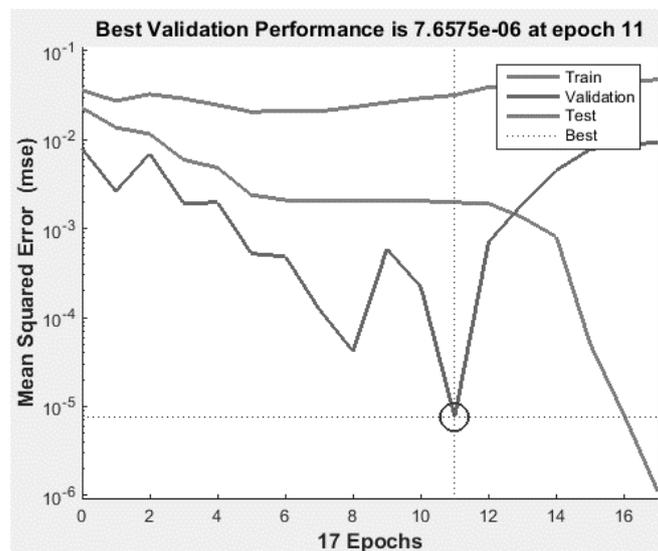


Рисунок 7 – Производительность нейронной сети

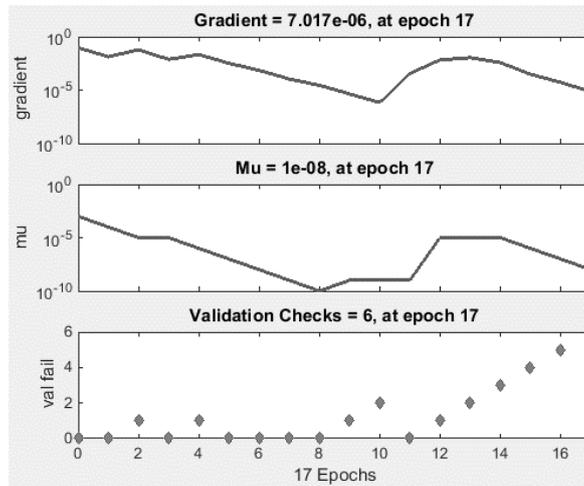


Рисунок 8 – Состояние тренировки нейросети

В результате моделирования – мы получим сеть, которая при подаче входных значений сможет возвращать массив, содержащий коэффициенты значений вероятности заболевания (рисунок 9).

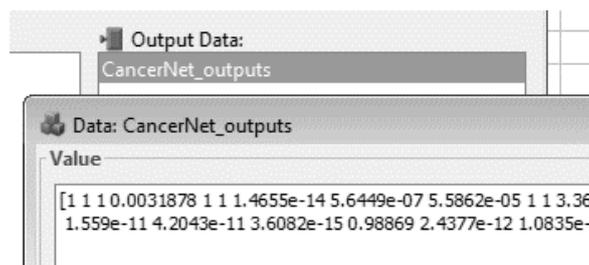


Рисунок 9 – Массив вероятностей заболевания

Основой экспертной системы является подсистема решателя, как некий справочник общей базы знаний, сформированной экспертами тематической области, что однозначно помогает в принятии сложных решений. Разработанная математическая модель нейросети, интегрируется в программную оболочку решателя. В модели подключается физическая база знаний, в которой будут храниться результаты предыдущих вычислений, экспортированная часть кода модели – импортируется в программный код решателя (Software Engine) [5]. Реализация подсистемы решателя представлена на рисунке 11, и состоит из следующих классов: управляющий класс; класс нейрона; класс слоя; класс нейросети; классы обучения и коррекции нейросети (весов нейронов и т.п.); классы вспомогательных функций (например, выполнение отчета, построение графиков).

Применение нейронных сетей, позволяет решить проблему вычислений в случае большого количества данных и неизвестных зависимостей между ними, что позволяет абстрагировать вычисления от линейных алгоритмов – к динамическим и перейти на более качественный уровень вычислений.

Реализация ИСППР, использующей алгоритмы нейросетей, позволяет автоматизировать процессы анализа и принятия решения, и сократив время на

обработку информации – увеличить общую эффективность работы мед. учреждения [11].

Список литературы

1. Компания Яндекс – Индексирование интернета –
URL: <http://company.yandex.ru/technologies/searchindex/index.xml> (23.02.2016)
2. Дискриминантный анализ. URL:
URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stdiscan.html> (21.01.2016)
3. Сальников И.И. Критерии отнесения устройств и систем обработки информации к интеллектуальным // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПГТА, 2012. № 1 (5). С. 11-15.
4. Зона разработчиков Intel: Нейронная сеть Хопфилда или создание FineReader.
URL: <https://software.intel.com/ru-ru/blogs/2011/12/22/finereader-2>
(22.02.2016)
5. Свободный университет Тюмень. Искусственные нейронные сети URL: <http://www.youtube.com/watch?v=Qm5U3lrbyWk>(22.02.2016)
6. Гусев А.В., Романо Ф.А., Дуданов И.П. – Обзор медицинских информационных систем на отечественном рынке в 2005 году. -
http://medprom.ru/files/123327/mis_gusev.pdf (14.01.2016)
7. Гусев А.В. Обзор рынка комплексных медицинских информационных систем.// Журнал «Врач и информационные технологии», №6 2009 г. с.4-17
8. ОС MCBC 3.0 | ВНИИНС. URL: <http://www.vniins.ru/node/79>
(15.01.2016)
9. Т.В. Истомина, В.А. Егоров, В.О. Дунин Проектирование и разработка интеллектуальной информационной системы поддержки медицинских учреждений // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего, с. 184 2014.
10. Печерский С.В., Печерская Н.С. Особенности построения узла доступа к телематическим услугам связи в вузе // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 2014. № 3 (19). С. 196-199.
11. Печерский С.В., Бобков Н.Ю., Печерская Т.Н., Танасов Д.И. Образовательный интернет-портал отделения железнодорожного транспорта ГАПОУ ПО «Пензенский многопрофильный колледж» // Современные информационные технологии, 2015. № 21. С. 152-155.

УДК 338.27+004
ББК 65.290-2+32.81

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© Ю.Е. Усачев, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

FORECASTING OF DEMAND OF EXPERTS IN THE FIELD OF INFORMATION TECHNOLOGIES

© Yu.E. Usachyov, Penza State Technological University
(Penza, Russia)

Прогнозирование потребности в специалисте проводится на основе анализа перечня вакансий, представленных работодателями. Перечень рассматривается как набор данных, представленных в текстовом виде. С помощью анализатора текста Text Analyst, использующую нейросетевую технологию, выделяются в перечне вакансий востребованные квалификационные требования. Приводится описание разработанной системы анализа востребованности и результаты ее апробации.

Ключевые слова: потребность в специалистах, текстмайнинг, автоматизированная система

Forecasting of demand for the expert is spent on the basis of the analysis of the list of the vacancies presented by employers. The list is considered as a data set, presented in a text type. By means of the analyzer of text Text Analyst, using нейросетевую технологию, the demanded qualifying requirements are allocated in the list of vacancies. The description of the developed system of the analysis of a demand and results of its approbation is resulted.

Key words: demand for experts, text mining, the automated system

E-mail: uje1@pgta.ru

Прогресс в вычислительной технике обуславливает необходимость прогнозирования потребности в специалистах в области информационных технологий, поскольку эта отрасль быстро развивается.

Потребность определяется промышленностью, а самым объективным документом, содержащим требования работодателей, является перечень вакансий. Прогнозирование потребности в специалисте следует проводить на основе анализа перечня вакансий, представленных работодателями. Перечень рассматривается как набор данных, представленных в текстовом виде. Например, имеется ряд документов, содержащих перечень вакансий работодателей.

Необходимо разработать автоматизированную систему анализа востребованности специалиста, которая в автоматизированном режиме осуществляет анализ востребованности специалистов в области информационных технологий. Система должна определить, специалисты каких специальностей, и в каком количестве требуются промышленности.

В простейшем случае структуру S совокупности знаний можно определить следующим образом:

$$S = \{L, F\}, \quad (1)$$

где L - множество всех понятий данной совокупности знаний;
 F - отношение «смысловая связь».

Бинарное отношение F на множестве всех понятий данной совокупности знаний M является антирефлексивным, симметричным и антитранзитивным.

Наиболее значимые понятия, отражающие семантический смысл документа, составляют множество A .

Определение 1. Понятие $a \in A$ находится в отношении «смысловая связь» с каждым из понятий множества $B_a \subset A$, которое сочетается по смыслу в тексте (часто используются в сочетании) с понятием a .

Каждому понятию множества $a \in A$ во взаимно однозначное соответствие поставлено множество B_a , удовлетворяющее следующим условиям:

$$\forall a \in A \exists B_a \mid B_a \subset L \wedge (\forall b \in B_a, aFb) \quad (2)$$

Базовое множество понятий M определяется по формуле

$$M = A \cup \bigcup_{i=1}^m B_i, \quad m = |A|. \quad (3)$$

В качестве формальной модели структуры знаний можно использовать семантическую сеть, определяемую в виде ориентированного графа

$$G = (E, V), \quad (4)$$

где E – множество вершин, поставленное во взаимно однозначное соответствие с множеством понятий; V – множество ориентированных дуг; $v = (x, y) \in V$; $x \in E \wedge y \in E$ – дуга выходит из вершины, соответствующей основному понятию a , и входит в вершину соответствующую понятию b ($b \in B_a$), которое находится в отношении «смысловая связь» с понятием a .

Каждый вид квалификационных требований к специалисту [1,5,6] содержит перечень его конкретных значений, каждому из которых соответствует понятие. Совокупность этих понятий составляют множество $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$. Каждое понятие $d_i \in D$ в общем виде, может быть сочетанием нескольких понятий базового множества M .

Каждому понятию $d_i \in D$ можно поставить в соответствие модель в виде графа

$$G_{d_i} = (E_{d_i}, V_{d_i}) \quad (5)$$

где E_{d_i} – множество вершин, поставленное во взаимно однозначное соответствие с множеством понятий D ; V_{d_i} – множество ориентированных дуг; $v = (x, y) \in V_{d_i}$; $x \in E_{d_i} \wedge y \in E_{d_i}$ – дуга выходит из вершины x , соответствующей основному понятию $a \in B_i$, и входит в вершину y , соответствующую понятию $b \in B_i$, которое следует за понятием a в понятии $d_i \in D$.

Текст документа, содержащего перечень вакансий, может быть представлен формальной моделью в виде семантической сети, определенной в виде ориентированного графа (4). Необходимо в графе (4) найти подграфы, изоморфные графам (5) для каждого понятия $d_i \in D$.

Если для понятия $d_i \in D$ найден такой подграф в семантической сети, являющейся текста перечня, то можно сделать вывод, что данное квалификационное требование является востребованным. Таким образом определяется какие

требования востребованы, а какие нет. Можно оценить степень соответствия перечня вакансий ФГОС ВО или профессиональным Стандартам.

Методика анализа семантического содержания документа

Рассматриваемый в статье подход основан на автоматическом извлечении знаний из текста документа с помощью смыслового анализатора текста. В качестве инструментального средства используется Text Analyst [2] – это средство семантического анализа, навигации и поиска в неструктурированных текстах.

Методика проведения анализа семантического содержания документа включает следующие этапы:

1. Выделение множества $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ основных понятий в основном документе и анализ их взаимоотношений в выбранной предметной области;

2. Подготовка дополнения в словарь системы Text Analyst, включающего выделенные термины;

3. Автоматическое построение семантической сети, смыслового портрета текста в терминах основных понятий и их смысловых связей.

При выполнении анализа документа система Text Analyst создает сеть понятий. При этом система выделяет множество самых значимых понятий $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, каждому из которых соответствует узел сети и список связанных с ним ассоциативными связями понятий.

4. Формирование заключения по степени соответствия перечня вакансий виду квалификационного требования.

Для определения степени соответствия необходимо для каждого конкретного значения некоторого вида квалификационных требований к специалисту необходимо в графе (4), соответствующего структурной модели текста вакансий найти подграфы, изоморфные графам (5) для каждого понятия $d_i \in D$, соответствующего конкретному значению. В работах [3,4] приведены коды распознавания изоморфизма.

При нахождении подграфа, изоморфного данному квалификационному требованию, возможно частичное совпадение. Степень совпадения определяется по формуле:

$$Z_{d_i} = T_n / T_o, \quad (6)$$

где Z_{d_i} – степень совпадения с текстом документа; T_n – количество найденных понятий d_i ; T_o – общее количество понятий в составе d_i .

Степень соответствия документа S определяется по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n Z_{d_i} / |D|. \quad (7)$$

Автоматизированная система анализа востребованности специалиста содержит следующие подсистемы (модули):

- модуль анализ востребованности (Analiz);
- смысловой анализатор текстов (Text Analyst);
- модуль формирования словарей (Forslov).

Модуль анализа востребованности (Analiz) предназначен для определения наличия конкретных значений некоторого вида квалификационных требований к специалисту в рассматриваемых перечнях вакансий путём их поиска в семантической сети, сгенерированной смысловым анализатором текстов Text Analyst.

Модуль выполняет следующие функции:

- автоматическое построение списка конкретных значений некоторого вида квалификационных требований к специалисту;
- определение наличия конкретных значений некоторого вида квалификационных требований к специалисту, в перечне вакансий;
- формирование результатов анализа и вывод результатов на печать;
- регистрация факта проведения анализа и сохранение основных результатов в журнале.

Смысловой анализатор текстов Text Analyst предназначен для проведения смыслового анализа текста перечня вакансий и построения семантической сети, используемой в дальнейшем при работе с модулем анализ востребованности.

Смысловой анализатор текстов Text Analyst выполнять следующие функции:

- смысловой анализ текста перечня вакансий и построение семантической сети понятий;
- проведение реферирования перечня вакансий;
- осуществление ассоциативного поиска конкретных значений некоторого вида квалификационных требований к специалисту;
- импорт семантической сети в MS Excel.

Модуль формирования словаря (Forslov) предназначен для формирования словаря, содержащего понятия конкретных значений некоторого вида квалификационных требований к специалисту.

Модуль выполнять следующие функции:

- формирование словаря с учётом статуса понятий;
- удаление повторений из словаря;
- сортировка понятий по имени и статусу;
- сохранение словаря в файле формата .txt.

Система функционирует следующим образом:

На первом этапе анализа определяется множество A понятий входящих в рассматриваемые конкретные значения некоторого вида квалификационных требований к специалисту. Для построения адекватной семантической сети, соответствующей предметной области, первоначально необходимо с помощью модуля Forslov сформировать словарь терминов, содержащих понятий множество A .

На втором этапе сформированный словарь терминов добавляется к словарю системы Text Analyst. Добавленные термины будут рассматриваться системой Text Analyst, как предпочтительные.

На третьем этапе осуществляется анализ смысловое содержание перечня вакансий с помощью Text Analyst, в результате чего автоматически генерируется семантическая сеть понятий. Осуществляется экспорт семантической сети понятий в txt-файл для последующей работы модуля анализа востребованности Analiz.

На четвертом этапе осуществляется определение наличия конкретного значения некоторого вида квалификационных требований к специалисту в сгенерированной семантической сети. Общая схема проведения анализа представлена на рисунке 1.

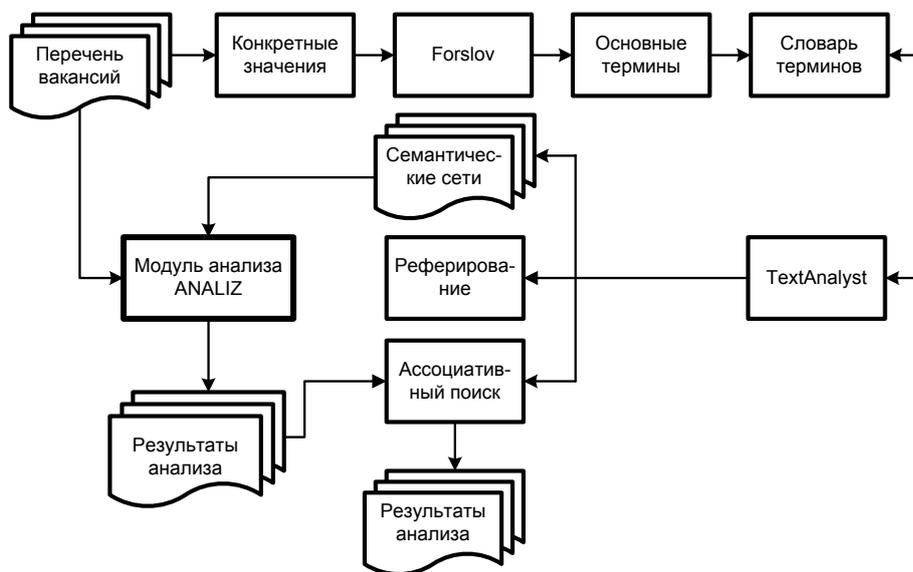


Рисунок 1 – Схема анализа текстов документов

Модуль анализа востребованности Analiz позволяет для выбранных квалификационных требований автоматически построить список конкретных значений и провести поиск наличия каждого конкретного значения в семантической сети. Можно провести ассоциативный поиск конкретных значений в перечне вакансий средствами Text Analyst.

Программное обеспечение разработано с помощью СВП BorlandDelphi 7 и работает под управлением операционной системы Windows XP.

Для апробирования системы в качестве руководящего документа использовали квалификационные требования (профессиональный стандарт) в области информационных технологий к специалисту по информационным системам [1]. Проведен анализ востребованности специалистов по информационным системам в Москве и Пензе, используя перечни вакансий, взятые с сайтов www.rabota.ru и www.penza-rabota.ru, размещенных в интернете.

Результаты анализа приведены в таблице 1. Результаты анализа показали, что степень востребованности рассматриваемых видов квалификационных требований составляет от 0,13 до 0,21. Интересно отметить, что специалист по информационным системам больше востребован в Пензе, чем в Москве.

Таблица 1 – Результат проведения анализа

Вид квалификационных требований	Вакансии для Москвы		Вакансии для Пензы		Количество конкретных значений в Требованиях
	Найдено	Степень востреб.	Найдено	Степень востреб.	
должностные обязанности	2	0,14	3	0,21	14
основные умения	5	0,13	7	0,19	37
основные знания	6	0,13	6	0,13	47

Разработанная система позволяет в автоматическом режиме осуществлять анализа востребованности специалистов путем анализ тестовых документов, содержащих вакансии, что позволит составить прогноз какие специалисты и в каком количестве требуются.

В целом система позволит сократить трудоёмкость выполнения и повысить качество прогнозирования.

Список литературы

1. *Профессиональный стандарт в области информационных технологий М.: АП КИТ, 2007 – 616 с.*
2. *Харламов А.А. Автоматический структурный анализ текстов. // Открытые системы, 2002, № 10. – с. 16-22.*
3. *В.В. Пикулин, Ю.Е. Усачёв Алгоритм распознавания изоморфизма семантических сетей для сопоставления документов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего”: Научно-методический журнал. Серия: технические науки, Информационные технологии. Выпуск № 3 – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2011. стр. 92-97.*
4. *А.Б. Щербань. Классификация задач идентификационного анализа. // Известия высших учебных заведений Поволжский регион. Технические науки, 2010, № 2. – с. 3-12.*
5. *Артюшина Е.А., Бершадская Е.Г. Методологические аспекты применения математической статистики для прогнозирования результатов интернет-аттестаций студентов. – М: Открытое образование, 2010, №6. – С.4-8.*
6. *Артюшина Е.А. Системы машинного перевода. – М: Успехи современного естествознания. 2011, №7. С.117-118.*

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 004.9
ББК 22

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ИКТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ БИЗНЕСА В РОССИИ¹

© *М.С. Афанасьева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

© *Ю.В. Кармышова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

THE ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ICT INFRASTRUCTURE BUSINESS IN RUSSIA

© *M.S. Afanasyeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© *Ju.V. Karmyshova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье представлен анализ текущего состояния информационных и коммуникационных технологий, используемых в российских организациях, рассмотрены международные сопоставления по показателям развития информационного общества. Выявлены тенденции и проблемы развития ИКТ-инфраструктуры бизнеса.

Ключевые слова: информационные и коммуникационные технологии, инфраструктура, бизнес, ИТ-отрасль, сектор ИКТ

The article presents the analysis of the current state of information and communication technologies used in Russian organizations, considered international comparisons on indicators of the information society. Tendencies and problems of development of the ICT infrastructure of the business.

Key words: information and communication technology, infrastructure, business, the IT industry, the ICT sector.

E-mail: msi1958.20@mail.ru

На современном этапе развития хозяйствующие субъекты функционируют в условиях неопределенности, динамично изменяющейся макроэкономической ситуации в России и за рубежом, обострения конкурентной борьбы, а также постоянно меняющейся правовой сферы управления бизнесом [3]. Информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) становятся неотъемлемой частью всех сфер деятельности организаций — экономической, финансовой, производственной. Уровень их использования все в большей степени определяет конкурентоспособность компаний [1].

Современные ученые в своих работах подчеркивают важность вопросов удовлетворения информационных потребностей бизнеса и отдельно взятых людей как потребителей товаров (работ, услуг), оценки тенденций развития ИКТ-инфраструктуры как комплексного инструментария по организации опти-

¹ *Статья подготовлена при поддержке РГНФ в рамках научного проекта № 16-32-01046.*

мального движения информационных потоков в бизнесе, представляющего совокупность распределенных информационно-вычислительных систем, телекоммуникационных сетей и информационных ресурсов [1, 4, 5, 9].

Для общей характеристики развития ИКТ-инфраструктуры в России по сравнению с другими странами рассмотрим международные сопоставления, приведенные в статистическом сборнике «Индикаторы информационного общества: 2015» [6]. РФ находится на 42 месте из 166 стран по индексу развития ИКТ и их использованию, на 50 месте из 148 стран по индексу готовности к сетевому обществу, обойдя по данным показателям такие страны, как Болгария, Греция, Польша, Китай и т.д. Представители бизнеса в России активно используют ИКТ-инфраструктуру для достижения целей своей предпринимательской деятельности. Так, 92 % организаций предпринимательского сектора в России используют персональные компьютеры, 87% из них используют Интернет, 40% организаций имеют веб-сайты. Кроме того, для предпринимательского сектора в России созданы комфортные условия информационного взаимодействия с представителями властных структур: 76% организаций используют Интернет для взаимодействия с органами власти, 71% - для получения бланков форм отчетности, 70% - для предоставления заполненных форм (например, статистической или налоговой отчетности).

Немаловажным является показатель величины затрат на ИКТ. Общая динамика затрат на ИКТ России, начиная с 2010 года, положительная. В структуре затрат на ИКТ в 2014 году (рисунок 2) наибольший удельный вес занимают затраты по оплате услуг связи (включая Интернет) – 27% от общей суммы, затраты на приобретение вычислительной техники – 25%, оплата услуг сторонних организаций и специалистов по ИКТ – 20%. К сожалению, доля затрат на обучение сотрудников, связанное с развитием и использованием ИКТ, очень низкая, что говорит о недальновидной кадровой политике представителей бизнеса. По видам экономической деятельности наибольший удельный вес в общей сумме затрат на ИКТ принадлежит организациям следующих отраслей: транспорт и связь; операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг; обрабатывающие производства [8].



Рисунок 1 – Структура затрат на ИКТ РФ за 2014 год *

* рисунок составлен авторами по данным литературы [8], с.472

Для обеспечения функционирования ИКТ-инфраструктуры бизнеса на современном этапе развития информационных потребностей функционируют организации сектора ИКТ и организации ИТ-отрасли. Сектор ИКТ представляет собой совокупность организаций, занимающихся экономической деятельностью, связанной с производством ИКТ и оказанием услуг в данной сфере [6]. ИТ-отрасль - это совокупность организаций, результатами деятельности которых являются услуги, в основном предназначенные для выполнения (или содействующие выполнению) функции сбора, преобразования, хранения, представления данных и информации электронным способом [6]. Сравнительная характеристика организаций ИКТ-инфраструктуры представлена в таблице 1.

Надо отметить, что среди занятых в ИТ-отрасли наибольший вес принадлежит сотрудникам, занимающимся разработкой программного обеспечения и консультированием по его использованию. Относительно сектора ИКТ наибольший процент от валовой добавленной стоимости создает деятельность в области электросвязи и связанная с использованием вычислительной техники и информационных технологий.

Таблица 1 – Характеристика деятельности организаций ИКТ-инфраструктуры

Показатель	Сектор ИКТ	ИТ-отрасль
Число организаций, тыс. ед.	152	65
Среднесписочная численность работников, тыс. чел.	1323	343
<i>в процентах от общей численности работников в организациях</i>	<i>2,9</i>	<i>0,7</i>
Валовая добавленная стоимость, млрд. руб.	1826	391
<i>в процентах от ВВП</i>	<i>3,2</i>	<i>0,7</i>
Отгружено товаров собственного производства, выполнено работ, услуг собственными силами, млрд. руб.	3221	460
Инвестиции в основной капитал, млрд. руб.	358	13
Иностранные инвестиции, млн. долл. США	3560	255

Кроме того, в международном сопоставлении показатель доли сектора ИКТ России в валовой добавленной стоимости достаточно низкий по сравнению с такими странами, как Ирландия (11,9%), Япония (8,1%), США (7,1%). Доля России в экспорте ИКТ-товаров крайне маленькая (2 млрд. долларов США): Ирландия (7 млрд. долларов США), Япония (73 млрд. долларов США), США (139 млрд. долларов США). Первенство по данному показателю принадлежит Китаю: экспорт в год составляет 550 млрд. долларов США [6].

Рассмотрим более подробно состав технических средств и коммуникаций ИКТ-инфраструктуры. Для этого необходимо провести анализ следующих показателей [2, 4]:

- наличия персональных компьютеров (ПК), в том числе имеющих доступ к локальным вычислительным системам и глобальным информационным сетям;
- обеспеченности ПК (в расчете на 100 чел. списочного состава);
- представление хозяйствующего субъекта в сети Интернет по средствам веб-сайта;
- интеграцию между различными хозяйствующими субъектами (их информационными системами).

По первой и второй группе показателей наблюдается положительная динамика и достаточно высокий показатель (свыше 90% организаций исполь-

зуют ИКТ), что отражено в таблице 2. Однако Россия отстает от стран-лидеров по показателям использования глобальной информационной сети. В странах ЕС 93% организаций имеют доступ в Интернет, а в Финляндии, Австрии, Бельгии, Дании значение этого показателя приближается к 100% [1].

Данные по числу персональных компьютеров на 100 работников представлены на рисунке 2.

Таблица 2 – Использование ИКТ в организациях (в процентах от общего числа обследованных организаций) [8].

Показатель	2010	2011	2012	2013	2014
Организации, использовавшие: персональные компьютеры	93,8	94,1	94,0	94,0	93,8
локальные вычислительные сети	68,4	71,3	71,7	73,4	67,2
электронную почту	81,9	83,1	85,2	86,5	84,2
глобальные информационные сети	83,4	85,6	87,5	88,7	89,8
из них сеть:					
Интернет	82,4	84,8	86,9	88,1	89,0
Организации, имевшие веб-сайт в сети Интернет	28,5	33,0	37,8	41,3	40,3

Очевидно, что имеется положительная динамика, но обеспеченность сотрудников ПК ниже 50% в условиях развития информационного общества представляется недопустимым. Однако данный показатель усредненный и в зависимости от сферы деятельности хозяйствующего субъекта имеет достаточно большой разброс: финансовая деятельность – 117,7 единиц ПК на 100 работников, высшее образование – 116 единиц ПК на 100 работников, связь – 69,2 единиц ПК на 100 работников, добыча полезных ископаемых – 26,2 единиц ПК на 100 работников, производство пищевых продуктов – 22,1 единиц ПК на 100 работников, строительство – 19,5 единиц ПК на 100 работников [6]. Такая ситуация обусловлена спецификой работы сотрудников, видом производимой продукции или оказываемых услуг, каналами распределения товаров (услуг).

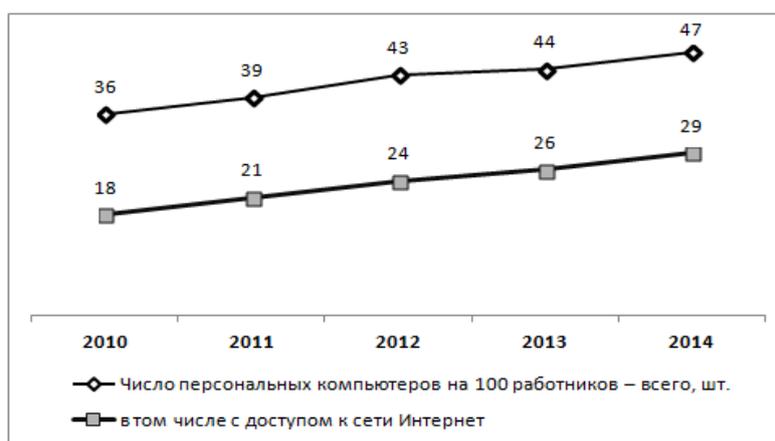


Рисунок 2 – Число персональных компьютеров на 100 работников

В качестве критерия интеграции организации в ИКТ-инфраструктуру могут служить такие показатели, как обеспечение доступа к локальным вычислительным системам и глобальным информационным сетям, наличие у организации веб-сайта, использование систем электронного документооборота и автоматический обмен данных между своими и внешними информационными си-

стемами. Обеспеченность в организации ПК с доступом в Интернет на уровне 29 единиц ПК на 100 работников является так же усредненной и варьируется в зависимости от сферы деятельности хозяйствующего субъекта. При этом, число ПК в расчете на 100 работников: финансовая деятельность – 67,8 единиц ПК, высшее образование – 93,1 единиц ПК, связь – 53,9 единиц ПК, добыча полезных ископаемых, производство пищевых продуктов – 16,7 единиц ПК, строительство – 15,4 единиц ПК [6, с.151]. Основными целями использования Интернета в организациях является поиск информации, использование электронной почты и обмен информацией в электронном виде. Коммерческие цели использования Интернета включают получение сведений о товарах (работах, услугах), предоставление сведений о потребности организации в них и размещение заказов, предоставление сведений об организации, ее товарах (работах, услугах) [6].

Последняя из перечисленных коммерческих целей использования Интернета активно реализуется с применением веб-сайтов, которыми по данным статистических наблюдений обеспечены 40% организаций. Практика показала, что для обеспечения успешного развития бизнеса в составе ИКТ-инфраструктуры необходимо постоянное получение информации от внешних источников и налаживание связи между ними с целью обеспечения их сотрудничества. Поэтому для максимизации потенциала организации представляется важным и необходимым включение веб-сайтов в процесс реализации ее деятельности [7]. Данный процесс доступен не всем организациям, так как, во-первых, стоимость разработки и обслуживания веб-сайта для представителей малого и среднего бизнеса относительно высока, во-вторых, эффект от использования веб-сайта для малого бизнеса в регионах может быть не сопоставим со стоимостью его содержания. Поэтому вполне закономерным является наличие веб-сайтов у 88,5% организаций численностью работников 5-10 тыс. человек, и всего у 30% организаций численностью работников менее 50 человек. Так же сохраняется тенденция к вариации данного показателя и по видам деятельности: в данном случае на первом месте по обеспеченности веб-сайтами находится высшее образование, далее размещаются организации производственной сферы (производство электрооборудования, производство машин и оборудования, металлургическое производство) и финансовая деятельность, наименее обеспечены веб-сайтами организации транспорта и добычи полезных ископаемых [6].

Интеграцию между различными хозяйствующими субъектами можно оценить по видам используемых ими информационных систем и автоматическому обмену данными между своими и внешними информационными системами. Так около 86% представителей бизнеса используют специальные программные средства. К основным функциям, которые выполняют корпоративные информационные системы, относятся: решение организационных, управленческих и экономических задач, осуществление финансовых расчетов в электронном виде, управление закупками товаров (работ, услуг), предоставление доступа к базам данных через глобальные информационные сети. Так же активно используются электронные справочно-правовые системы. В меньшей степени используется специальное программное обеспечение для управления автоматизированным производством или отдельными техническими средствами и технологическими процессами, проектирования, CRM, ERP, SCM – системы. Достаточно высокий процент организаций использует средства интеграции в ИКТ-инфраструктуру: 58,9% хозяйствующих субъектов обеспечены системами электронного документооборота, 52,7% осуществляют автоматический обмен данными между своими и внешними информационными системами,

более половины представителей бизнеса используют сеть Интернет для связи с поставщиками и потребителями товаров (работ, услуг) [8].

Резюмируя все перечисленные характеристики текущего состояния ИКТ-инфраструктуры для российского бизнеса, можно заключить следующее.

1. Наблюдается положительная тенденция в развитии ИКТ-инфраструктуры бизнеса.

2. При оценке развития ИКТ-инфраструктуры необходимо учитывать ряд особенностей: вид экономической деятельности хозяйствующего субъекта, его размер.

3. Имеется ряд недостатков в развитии ИКТ-инфраструктуры, ее состояние остается неудовлетворительным для решения задач современного бизнеса в рамках информационного общества:

- низкий уровень использования Интернета и веб-технологий, что обусловлено влиянием ряда сдерживающих факторов, таких как высокая стоимость подключения и/или использования Интернета, неудовлетворительное качество связи, риски, связанные со злоупотреблениями при осуществлении электронных платежей, отсутствие технической возможности подключения к Интернету, неудовлетворительная защита информации [6];

- по международному сопоставлению финансирование ИКТ-инфраструктуры в России отстает от ведущих стран, необходимо расширить расходы на обучение сотрудников, связанное с развитием и использованием ИКТ, тем более что образовательные организации имеют самые высокие показатели по обеспеченности ПК, Интернетом, веб-ресурсами, и, как следствие, являются перспективной базой для реализации данного направления.

Список литературы

1. Абдрахманова Г.И., Ковалева Г.Г. Тенденции развития информационных и коммуникационных технологий // *Форсайт*. 2009. Т. 3. № 4. С. 44-55.
2. Бушуева Л.И. Экономико-статистический анализ использования информационных и коммуникационных технологий в регионе // *Проблемы современной экономики*. 2009. № 3. С. 300-306.
3. Волков А.Г., Батова В.Н. Современные информационные системы контроллинга // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2015. Т. 2. № 6 (28). С. 325-329.
4. Гришин Д.С. Анализ текущего состояния информационной логистики в России // *Управление экономическими системами: электронный научный журнал*. 2014. № 3 (63). Режим доступа: <http://uecs.ru/ru/uecs63-632014/item/2818-2014-03-20-08-51-56> (дата обращения 02.03.2016).
5. Игнатов В.С., Пименова Д.В. Информационное пространство. Структура и функции // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки*. 2007. № 3. С. 3-10.
6. Индикаторы информационного общества: 2015 : статистический сборник / Г.И. Абдрахманова, Л.М. Гохберг, М.А. Кевеш и др.; Нац. исслед.ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2015. – 312 с.
7. Марков А.К. Стратегия открытых инноваций в практике компаний // *Российский внешнеэкономический вестник*. 2013. № 3. С. 20-26.
8. *Российский статистический ежегодник. 2015: Стат.сб./Росстат.* - М., 2015. – 728 с.

9. Сальников И.И. Движущие силы развития средств удовлетворения информационных потребностей человека. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Пенза: ПензГТУ, 2014. № 3 (19). С. 11-15.

УДК 28.19.31

ББК 22

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДАННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

© *М.А. Бармин, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

**INFORMATION MODEL DATA SUBMISSION OF HUMAN CAPITAL
OF INDUSTRIAL ENTERPRISES**

© *М.А. Barmin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассматривается информационная модель представления человеческого капитала в системе интеллектуального капитала промышленного предприятия. Представлен процесс проектирования инфологической модели человеческого капитала.

Ключевые слова. Интеллектуальный капитала, человеческий капитал, информационная модель, инфологическая модель, промышленное предприятие.

The article discusses the information model for the representation of human capital in the intellectual capital of industrial enterprise. Presents the design process of infological model of human capital.

Key words: Intellectual capital, human capital, information model, infological model, industrial enterprise.

Постоянное изменение внешней среды, конъюнктура рынка диктует предприятиям промышленного комплекса наращивать инновационную деятельность. Инновационная деятельность предприятия должна быть направлена на повышение его конкурентоспособности, проектирование и разработку новых технологий, повышения качества продукции.

Современные инновационные предприятия должны иметь сильную внутреннюю структуру, включающую:

- высококвалифицированный кадровый персонал;
- устойчивое финансовое обеспечение;
- мощное техническое оборудование;
- развитую инфраструктуру.

Требования, предъявляемые к кадровому составу на современных высокотехнологичных и наукоемких предприятиях, высокие. Люди – основа интеллектуального капитала любого хозяйствующего субъекта.

Прежде всего, это требования к уровням образования (среднее профессиональное образование (СПО), бакалавриат (Б), магистратура (М), специалитет (С), высшая квалификация – кандидат, доктор наук (ВК)); к постоянному повышению квалификации (ПК) и совершенствованию профессиональной подготовки (ПП).

Инновационные разработки требуют значительных финансовых затрат, и проходит длительный период времени от момента начало разработки (НИР, НИОКР), до момента внедрения, окупаемости проектов, получения прибыли.

Конкурентоспособность предприятия, его эффективность \mathcal{E}_k , можно описать рассматривая систему трех случайных величин – показателей:

- \mathcal{E}_1 – конкурентоспособность товара;
- \mathcal{E}_2 – эффективность конкурентного потенциала предприятия;
- \mathcal{E}_3 – уровень интеллектуального капитала (ИК).

$$\mathcal{E}_k = A \prod_{i=1}^n \mathcal{E}_i^{Li} \quad (1)$$

Каждый из \mathcal{E}_i ($i=1,2,3$) оценивается совокупностью комплексных индивидуальных показателей, характеризующих либо результат, либо процесс деятельности предприятия в какой-либо сфере. Коэффициент конкурентоспособности предприятия изменяется в пределах от 0 до 1, при условии

$$\begin{cases} 0 \leq \mathcal{E}_i < 1, \\ \sum_{i=1}^n Li = 1, n = 3. \end{cases} \quad (2)$$

Для успешного и планомерного развития предприятие должно иметь план стратегического развития, текущий и перспективные планы финансово-хозяйственной деятельности. Это позволит совершенствовать технологическое оборудование, внедрять в производство результаты исследований, новые методы и разработки.

Высокотехнологичное промышленное предприятие должно иметь развитую инфраструктуру. Корпоративная вычислительная сеть, автоматизированная система управления организацией, сертифицированная система менеджмента качества, внутренние стандарты предприятия, электронный библиотечный фонд, корпоративная культура – все это, неотъемлемая часть промышленных инновационных высокотехнологичных предприятий.

Главным фактором инновационной деятельности предприятий служит ИК. Существует много различных моделей представления интеллектуального капитала.

В моделях Э. Брукинга и Э. Эдвинссона ИК представлен как необходимое условие конкурентоспособности организации, и состоит из нематериальных активов (инфраструктурные активы, рыночные или маркетинговые активы, интеллектуальная собственность) и человеческих активов (человеческого капитала (ЧК)).

Модель интеллектуального капитала по Э. Брукингу представлена на рисунке 1.

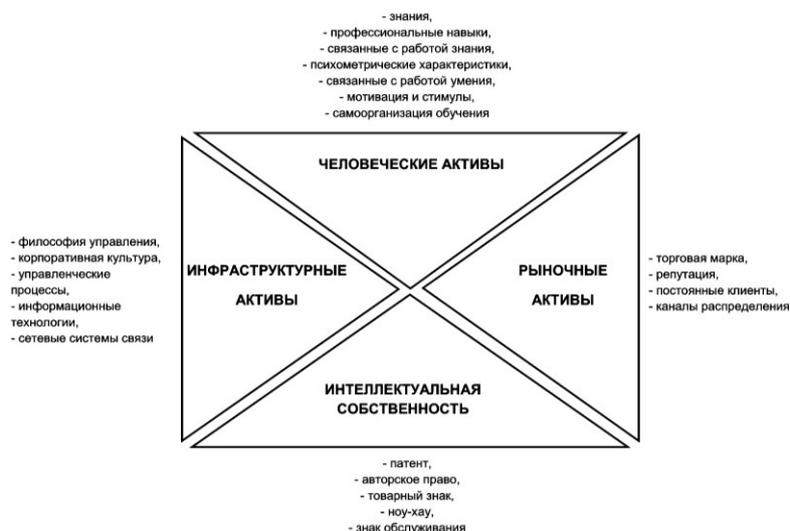


Рисунок 1 – Модель интеллектуального капитала по Э. Брукингу

ЧК является основным в составе ИК. Остальные компоненты являются результатом функционирования ЧК, так как деятельность сотрудников способствует увеличению интеллектуальной собственности, маркетинговых и инфраструктурных активов предприятия.

Для представления ЧК промышленного предприятия предлагается разработать инфологическую модели данных. Для организаций различных отраслей промышленности количество показателей для представления ЧК может варьироваться с учетом видов деятельности.

Примерный перечень показателей для ЧК представлен в таблице 1.

Для представления модели данных ЧК использована реляционная модель «сущность-связь» (ER-модель, Entity - сущность и Relation - связь). Данная модель поддерживается современными средствами системы управления базами данных, такими как MS SQL Server, Oracle и т.д.

Структурными элементами для ER-модели ЧК являются сущности, атрибуты и связи. Сущность — реальный или виртуальный объект, который имеет существенное значение для проектируемой модели. Каждая сущность должна иметь уникальный идентификатор, содержать один или несколько атрибутов, которые либо принадлежат сущности, либо наследуются через связь с другими сущностями.

Таблица 1– Примерный перечень показателей для представления ЧК

Человеческий капитал	
1.	Относительное количество работников с высшим образованием
2.	Относительное количество работников с учеными степенями
3.	Относительное количество работников прошедших переподготовку, или повысивших квалификацию
4.	Уровень средней заработной платы
5.	Относительное число патентов, свидетельств, изобретений, ноу-хау
6.	Средний возраст работников
7.	Средний стаж работников
8.	Средний квалификационный разряд рабочих
9.	Среднее количество используемого библиотечного фонда предприятия
10.	Затраты на повышение квалификации и переподготовку
11.	Число высококвалифицированных специалистов с несколькими ВО
12.	Относительное количество высокотехнологичных рабочих мест
13.	Количество больничных дней
14.	Относительное количество нарушителей трудовой дисциплины
15.	Количество несчастных случаев на производстве
16.	Потери рабочего времени, человеко-дни/1 работника

На основании показателей таблицы 1, для проектирования реляционной модели данных представления ЧК можно выделить следующие сущности:

- работник;
- уровни образования;
- повышение квалификации/переподготовка;
- трудовой договор;
- научная инновационная деятельность;
- библиотечные ресурсы предприятия;
- нарушения трудовой дисциплины;

– больничный лист.

Набор сущностей со списком атрибутов разрабатываемой модели ЧК представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Набор сущностей ER-модели ЧК

Имя атрибута	Назначение атрибута
Сущность «Работник»	
TabN	Табельный номер (первичный ключ)
FIO	Фамилия, Имя, Отчество
DateR	Дата рождения
Adress	Адрес проживания
Сущность «Уровни Образование»	
KodUO	Код уровня образования (первичный ключ)
UO	Уровень образования (среднее образование, СПО, Б, М, С, ВК)
NumDip	Номер диплома
TabN	Ссылка на табельный номер (вторичный ключ)
Сущность «ПК»	
KodPK	Код ПК (первичный ключ)
NapPK	Направление ПК
DatePK	Дата
VidPK	Вид ПК (очно, заочно)
SumPK	Стоимость ПК
NumD	Номер документа
TabN	Ссылка на табельный номер (вторичный ключ)
Сущность «Трудовой договор»	
KodTD	Код трудового договора (первичный ключ)
NameP	Наименование подразделения
Dolgn	Должность
Razryd	Разряд (номер)
Oklad	Оклад
DateZakD	Дата заключения договора
DateZavD	Дата завершения договора (увольнения)
PovK	Повышающий коэффициент (стимул. выплаты и т.д.)
TabN	Ссылка на табельный номер (вторичный ключ)
Сущность «Научная инновационная деятельность»	
KodNID	Код научной деятельности (первичный ключ)
VidNID	Вид научной деятельности (патент, свидетельства на разработку, свидетельство на ноу-хау)
DateNID	Дата подачи заявки/получения документа
KodTD	Ссылка на трудовой договор (вторичный ключ)
Сущность «Библиотечные ресурсы»	
KodBK	Код библиотечной карты (Первичный ключ)
AvtorR	Автор ресурса
NameR	Название ресурса
DateR	Дата открытия ресурса
TabN	Ссылка на табельный номер (вторичный ключ)
Сущность «Нарушение трудовой дисциплины»	
KodN	Код нарушения трудовой дисциплины (первичный ключ)
VidN	Вид нарушения
DateN	Дата нарушения
TimeN	Время нарушения
TabN	Ссылка на табельный номер (вторичный ключ)
Сущность «Больничный лист»	
KodBL	Код больничного листа (первичный ключ)
DateO	Дата открытия
DateZ	Дата закрытия
TabN	Ссылка на табельный номер (вторичный ключ)

Для графического представления реляционной модели используются нотация с представленными на рисунке 2 условными обозначениями: «Таблица 1» - имя сущности; «PK Код» - первичный ключ, идентифицирующий сущность; «Название» - Атрибут сущности; «N:1» обозначение отношения «один ко многим».

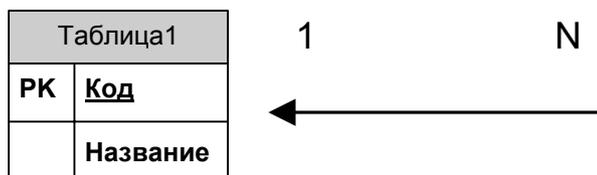


Рисунок 2 – Условные обозначения в модели данных

На основании таблицы 2 построена информационная модель для представления ЧК промышленного предприятия. Инфологическая модель ЧК представлена на рисунке 3.

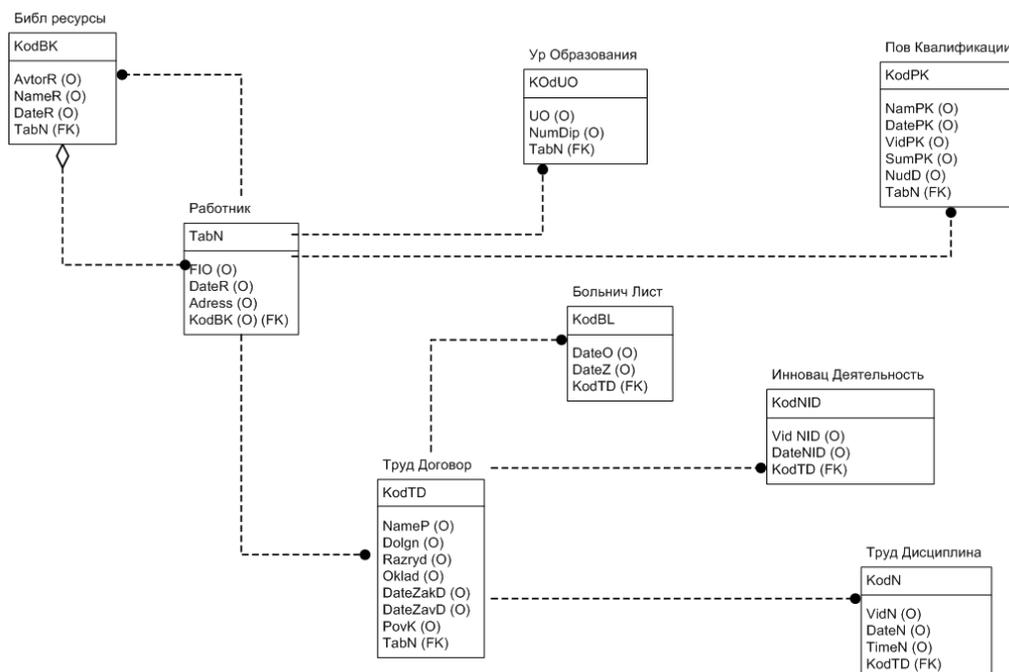


Рисунок 3 – Инфологическая модель ЧК

На основании изложенного, можно сделать следующие выводы.

1. Построенная модель для определения интегрального показателя ИК позволит менеджменту предприятия разработать план повышения его конкурентоспособности на рынке услуг.

2. Мерами по повышению уровня человеческого капитала могут быть: принятие на работу молодых специалистов; повышение квалификации работников, вовлечение сотрудников в научно-исследовательскую и инновационную деятельность.

3. Важным условием построения математических моделей управления интеллектуальным капиталом является учет случайного характера изменения формирующих его показателей.

Список литературы

1. *Х. А. Фасхиев, А. В. Крахмалева. Двухступенчатая модель управления конкурентоспособностью предприятия. // Вестник УГАТУ, №19, 2015. С. 278-294.*
2. *В. Н. Широков. Содержание и сущность управления интеллектуальным капиталом предприятий.*
3. *О. В. Емельянова, Т. В. Яковчук. Управление интеллектуальным капиталом предприятия.// Вестник СамГУПС, №19, 2010. С.-25-27.*
4. *А. В. Большов. Концепции управления интеллектуальным капиталом// Вестник КГФЭИ, №3(24), 2011. С.-26-30.*
5. *Н. А. Лузин. Управление интеллектуальным капиталом предприятия// Челябинский гуманитарий, №3 (24), 2013. С.- 14-18.*
6. *В. Ю. Школа, В. А. Щербаченко. Управление интеллектуальным капиталом предприятия машиностроительной отрасли.// Основы экономики, управления и права, №4(10), 2013. С.-87-91.*
7. *А. Л. Никишкина. Влияние основных элементов интеллектуального капитала на конкурентные преимущества организации.// Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. №3(18), 2014. С.- 40-43.*

УДК 519.711.3

ББК 30

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДВУХКООРДИНАТНЫХ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ НАКЛОНОМЕРОВ, СОДЕРЖАЩИХ СПЛОШНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ²

© *А. А. Воронцов, Пензенский государственный технологический университет
(Пенза, Россия)*

© *Е. А. Будников, Пензенский государственный технологический университет
(Пенза, Россия)*

RESEARCH OF MATHEMATICAL MODELS OF THE TWO-COORDINATE MAGNETOSTRICTION TILTMETERS CONTAINING CONTINUOUS PERMANENT MAGNETS CONTINUOUS CONSTANT MAGNET

© *A.A. Vorontsov, Penza State Technological University (Penza Russia)*

© *E.A. Bidnikov, Penza State Technological University (Penza Russia)*

Целью работы является проведение математического моделирования магнитных полей магнитоострикционных преобразователей угловых перемещений, содержащих сплошной постоянный магнит. Методы исследования основаны на использовании положений теории расчета маг-

² Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания высшим учебным заведениям (проект № 3036).

нитных полей постоянных магнитов, принципа суперпозиции и существующих математических моделях постоянных магнитных полей. Приводятся результаты моделирования магнитного поля сплошного постоянного магнита, содержащегося в магнитоотрицательном преобразователе угловых перемещений.

Ключевые слова: математическая модель, метод моделирования, сплошной постоянный магнит, напряженность магнитного поля, магнитное поле сплошного магнита, математическое моделирование магнитных полей

The purpose of work is carrying out mathematical modeling of magnetic fields of magnetostriction converters of the angular movements containing a continuous permanent magnet. Methods of research are based on use of provisions of the theory of calculation of magnetic fields of permanent magnets, the principle of superposition and the existing mathematical models of constant magnetic fields. Also results of modeling of a magnetic field of the continuous permanent magnet which is contained in the magnetostriction converter of angular movements are given in article. In the conclusion the corresponding conclusions are drawn

Key words: mathematical model, modeling method, continuous permanent magnet, intensity of a magnetic field, magnetic field of a continuous magnet, mathematical modeling of magnetic fields

E-mail: Aleksander.Vorontsov@gmail.com

Магнитоотрицательными наклономерами называются приборы, предназначенные для измерения углов наклона измеряемого объекта относительно заданного значения в одной или двух взаимноперпендикулярных плоскостях. По количеству одновременно измеряемых углов отклонения, магнитоотрицательные наклонометры подразделяются на однокоординатные и двухкоординатные (ДМН).

Принцип действия магнитоотрицательных наклономеров основан на явлении продольной магнитоотрицательности, проявляющемся через эффекты Видемана и Виллари и заключающемся в изменении размеров ферромагнетика под воздействием внешнего магнитного поля.

Для исследований математических моделей ДМН, воспользуемся одной из конструкций, приведенной на рисунке 1.

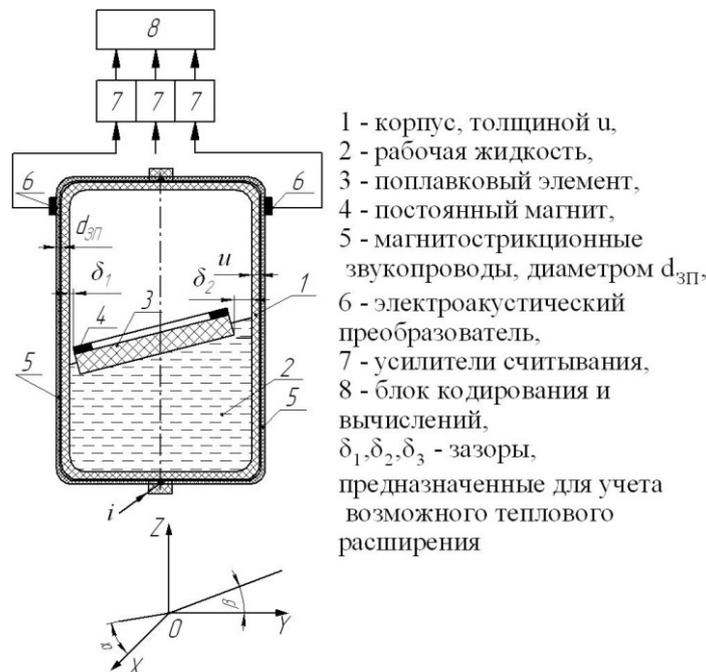


Рисунок 1 – Конструкция одного из вариантов ДМН

Результирующее магнитное поле в приведенной конструкции определяется по принципу суперпозиций магнитных полей, созданных одним или несколькими постоянными магнитами и токовыми импульсами, распространяющимися в среде звукопровода. Магнитное поле постоянного магнита зависит от параметров и множества факторов, в частности от размеров, значения коэрцитивной силы H_C и остаточной намагниченности B_r . Используя математическое моделирование можно оценить влияние каждого из параметров и факторов. Это позволит снизить себестоимость магнитострикционных наклономеров и улучшить их характеристики.

В качестве формы будем использовать сплошной постоянный магнит, так как он является наиболее распространенным в магнитострикционных наклономерах и выпускается серийно как отечественными, так и зарубежными предприятиями.

Для исследования математических полей ДМН, содержащих сплошные постоянные магниты, выведем формулу расчета, учитывающую перечисленные ранее факторы и параметры.

Напряженность сплошного магнитного поля \bar{H} , сформированного фиктивными поверхностными зарядами с плотностью $\sigma'_M = M$, определяется в соответствии рисунком 2, по формуле [5]

$$\bar{H} = \int \frac{dp_m}{R_1^2} \cdot \bar{R}_0, \quad (1)$$

где \bar{R}_1 - направленный отрезок, соединяющий точку А с координатами (x', y', z') , расположенную на одном из оснований постоянного магнита с точкой наблюдения В с координатами (x, y, z) , в которой производится расчет; \bar{R}_0 - единичный вектор, направленный из точки А в точку В; dp_m - элементарный магнитный момент.

Значение элементарного магнитного момента dp_m можно рассчитать по формуле [5]

$$dp_m = \bar{n} \cdot \bar{M} \cdot ds, \quad (2)$$

где в соответствии с рисунком 2, \bar{n} - нормаль к плоскости постоянного магнита, ds - элементарная площадь постоянного магнита; \bar{M} - вектор намагниченности.

Так как, в соответствии с рисунком 2, косинус угла θ можно записать как $\cos\theta = (z - z')/R_1$, а также, что $z' = \pm h_m/2$ и $z = 0$, напряженность

магнитного поля \bar{H} сплошного постоянного магнита определится следующим выражением:

$$\bar{H} = -\frac{h_M}{2} \int \frac{\bar{M} \cdot ds}{R_1^3} - \frac{h_M}{2} \int \frac{\bar{M} \cdot ds}{R_1^3} = -h_M \int \frac{\bar{M} \cdot ds}{R_1^3}, \quad (3)$$

где h_M - высота постоянного магнита.

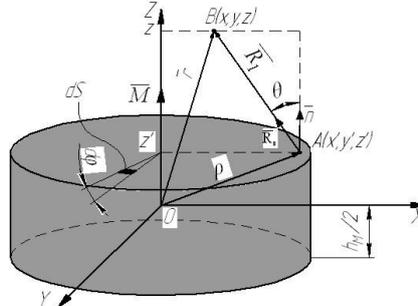


Рисунок 2 – Сплошной постоянный магнит

Выражение (3) для проекции напряженности магнитного поля на ось OZ H_Z с учетом того, что $H_Z = \bar{H} \cdot \bar{n}$ и $M_Z = \bar{M} \cdot \bar{n}$, можно переписать следующим образом:

$$H_Z = -h_M \int \frac{M_Z \cdot ds}{R_1^3} \quad (4)$$

Выражение (4) в цилиндрической системе координат имеет вид:

$$H_Z(r) = -h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \int_0^{2\pi} \frac{\rho \cdot d\rho \cdot d\varphi}{(r^2 + \rho^2 - 2 \cdot r \cdot \rho \cdot \cos\varphi + \frac{h_M^2}{4})^{\frac{3}{2}}}, \quad (5)$$

где, согласно рисунку 2, r - расстояние от центра постоянного магнита до точки наблюдения B , в которой осуществляется расчет проекции напряженности магнитного поля, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$; ρ - полярный радиус, направленный от центра постоянного магнита к точке, лежащей на одном из его оснований, $\rho = \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}$; h_M и R_M - высота и радиус сплошного постоянного магнита соответственно.

Используя известное равенство [6] выражение (5) можно упростить:

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\gamma'}{(a' + b' \cos\gamma')^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{(a'^2 - b'^2)} \int_0^{2\pi} (a' + b')^{\frac{1}{2}} d\gamma', \quad (6)$$

где γ' - угол, a' и b' - константы.

С учетом выражения (6), проекция напряженности магнитного поля на ось OZ H_Z будет рассчитываться:

$$H_Z(r) = 4h_M \cdot M \int_{R_M}^{\infty} \frac{E(k_2) \rho \cdot d\rho}{[(r - \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}] \cdot [(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}]^{\frac{1}{2}}}, \quad (7)$$

$$\text{где } k_2^2 = \frac{4 \cdot r \cdot \rho}{(r + \rho)^2 + \frac{h_M^2}{4}}; \quad E(k_2) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k_2^2 (\sin \varphi)^2} d\varphi \text{ - полный эллипти-}$$

ческий интеграл второго рода.

Анализ выражения (7) позволяет сделать вывод, что напряженность магнитного поля, созданная постоянным магнитом H_z в разной степени зависит от его параметров и величины остаточной намагнитченности.

Аналогичные результаты получаются при моделировании магнитного поля сплошного постоянного магнита (СПМ) при изменении высоты h_M (рисунок 3,а), внешнего диаметра D_M (рисунок 3,б), а также марки (рисунок 3,в).

В качестве основного при моделировании магнитных полей, был выбран СПМ с диаметром $D_M = 110$ мм, высотой $h_M = 5$ мм со значением остаточной индукции $B_r = 0,35$ Тл.

Моделирование осуществлялось вдоль оси абсцисс, в системе координат, начало отсчета которой совпадает с центром постоянного магнита.

Моделирование проекции напряженности магнитного поля на ось OZ H_z сплошного постоянного приведено на рисунках 3,а – в.

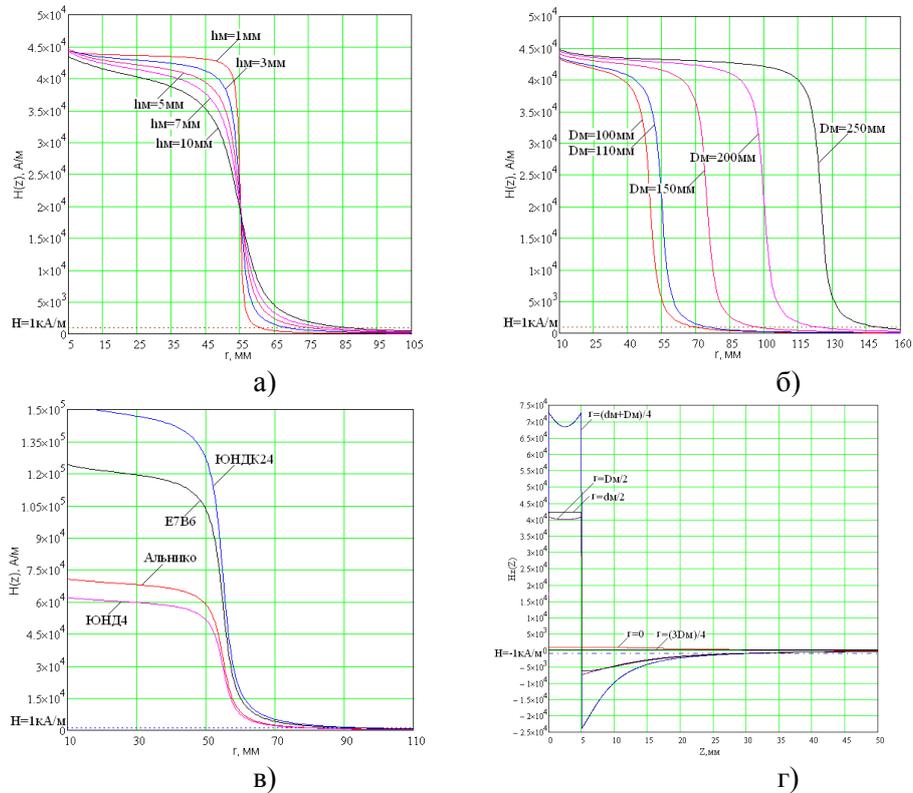


Рисунок 3 – Исследование напряженности магнитного поля сплошного постоянного магнита при изменении его высоты (а), диаметра (б), марки (в), его высоты на фиксированном расстоянии r от его центра

Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что самым эффективным способом изменения значения проекции напряженности магнитного поля H_z вне сплошного постоянного магнита является изменение значения остаточной индукции, определяемой с помощью марки СПМ.

Необходимо отметить, что резкое изменение значения проекции напряженности магнитного поля H_z наблюдается при значениях диаметра $D_M \leq 5$ мм. Увеличение диаметра сплошного постоянного магнита для значений $D_M > 5$ мм приводит к незначительному изменению значения проекции напряженности магнитного поля H_z вне СПМ. Поэтому увеличение диаметра сплошного постоянного магнита для изменения проекции напряженности магнитного поля H_z является необоснованным.

Таким образом, в результате проведенного исследования математических моделей двухкоординатных магнитоотрицательных наклономеров, содержащих сплошные постоянные магниты, было установлено, что магнитное поле ДМН фиксированной точки вне ПМ значительно изменяется при соответствующем изменении высоты и марки ПМ и незначительно при изменении внутреннего диаметра.

Список литературы

1. Бершадская Е.Г. Анализ технологий поддержки научных исследований. [Текст] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2015. № 3 (25). С. 11-17.
2. Сальников И.И. Размерная селекция бинарных изображений локальных объектов при анализе аэрофотоснимков. [Текст] // Телекоммуникации. – М.: Наука и технологии. 2015. № 2. С. 17-23.
3. Мартышкин А.И. Комплекс программ для определения характеристик диспетчеров задач многопроцессорных систем с использованием приоритетных стохастических сетей массового обслуживания [Текст] / Р.А. Бикташев, А.И. Мартышкин, Н.Г. Востоков // Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 13.
4. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей в двухкоординатных магнитоотрицательных наклономерах: Дис....канд. техн. наук. – Пенза, 2013. – 160 с.
5. Brown W.F. Magnetostatic principles in ferromagnetism.- N.Y.: North Holland Publishing Company, 1962. - 202 p.
6. Huth B.G. Calculations of stable domain radii produced by thermomagnetic writing// IBM J. Res. Develop. - 1974.-Vol.18, №2.-P. 100-109.
7. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем./ Под ред. Е.М. Лейкина. – М.: Мир, 1983. – 520 с.

УДК 28.21.27
ББК 30

**IP-ЯДРО УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
С ИНТЕРФЕЙСОМ AXI-LITE ДЛЯ СВЯЗИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПАМЯТИ**

© *А.В. Бурмистров, Федеральное государственное унитарное предприятие
«Научно-технический центр «Атлас» (г. Пенза, Россия)*

© *И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

**IP- CORE DEVICES DIGITAL INFORMATION PROCESSING INTERFACE
AXI-LITE TO COMMUNICATE WITH THE MEMORY ELEMENTS**

© *A.V. Burmistrov, Federal State Unitary Enterprise "Scientific-Technical Center "
Atlas " (Penza, Russia)*

© *I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассмотрен процесс разработки IP-ядра, соединяющего основное устройство, работающее по интерфейсу AXI-Lite и несколько подчиненных устройств, являющихся элементами памяти. Разработана структурная схема, цифровой автомат, описаны зависящие от его состояний переходы и выходные сигналы, приведены временные диаграммы. Предложенное в статье IP-ядро легко реализуется на любом языке описания аппаратуры и обладает высоким быстродействием.

Ключевые слова: система на кристалле СнК, программируемая логическая интегральная схема ПЛИС, ARM, AMBA, интерфейс AXI-Lite, цифровой автомат, элемент памяти.

The article describes the process of developing IP-core, connecting the main drive using the AXI-Lite interface and multiple slaves, are memory elements. The block diagram of the digital automatic described depending on its state transitions and output signals are timing charts. The proposed article IP-core is easily implemented in any language to describe the equipment and has a high speed.

Key words: system on chip SoC, programmable logic integrated circuit FPGA, ARM, AMBA, AXI-Lite interface, digital machine, the memory element

В настоящее время получили широкое распространение системы на кристалле СнК (или SoC - System-on-a-Chip), в состав которых входит программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) и программно-управляемый микроконтроллер (МК). Появление подобных интегральных схем связано с повышением требований к функциональности и с сокращением времени проектирования и разработки устройств цифровой обработки информации (УЦОИ).

СнК как симбиоз ПЛИС и МК содержит необходимые для проектируемого УЦОИ компоненты: цифровой процессор, подсистему прямого доступа к памяти (ПДП) (или DMA), Ethernet, USB, ОЗУ и т.д. Поэтому, для разработки УЦОИ нужно меньше специалистов и времени, а по своей функциональности СнК может сравниться с одноплатным промышленным компьютером [4].

Для организации взаимодействия компонентов в современных СнК чаще всего используют спецификацию, разработанную фирмой ARM – это ARM Advanced Microcontroller Bus Architecture (AMBA). Спецификация AMBA определяет несколько интерфейсов, один из которых называется AdvancedeXtensible Interface (AXI) [1, 2, 3]. Интерфейс AXI поддерживается современными процессорами (российский процессор Эльбрус, процессоры фирм ARM, Intel и т.д.), интеллектуальными продуктами (Intellectual Property или - IP cores) и используется при разработке новейших коммерческих устройств (смартфонов, планшетов, «умных» часов и т.д.). Последняя на сегодняшний день спецификация ин-

терфейса AXI – это AXI4, в которой определено три варианта его использования: AXI4, AXI-Lite и AXI-Stream.

Интерфейсы AXI4 и AXI-Stream используются для соединения высокоскоростных компонентов, т.к. позволяют организовать передачу данных в каждом такте (режим «плечом к плечу»), обеспечивая тем самым полную загрузку шины (данные, адрес, управление). Интерфейс AXI-Lite просто реализуется и используется для «простого» доступа к данным, при этом не позволяет полностью загрузить шину. Например, для записи/чтения служебных регистров устройств, записи/чтения служебной информации, хранящейся в ОЗУ.

Разрабатывая УЦОИ на базе ПЛИС, приходится учитывать такой фактор, как время распространения сигнала между синхронными элементами – триггерами и элементами памяти [6]. Согласно рекомендациям, которые приведены в спецификации на AXI4, все сигналы шины (данные, адрес, управление) должны быть известны перед началом следующего такта, а в следующем такте они должны быть установлены. Это означает отсутствие зависимости выходных сигналов главного устройства от входящих на него сигналов подчиненных устройств. Такой подход характеризует концепцию «минимальное время распространения между синхронными элементами».

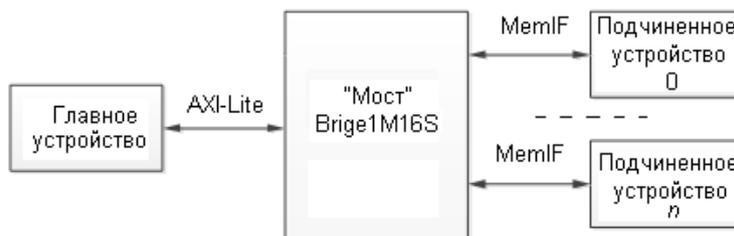


Рисунок 1 – «Мост» между главным устройством, работающим по интерфейсу AXI-Lite и подчиненными устройствами, работающими по интерфейсу MemIF

Для стабильной и быстрой работы IP-ядер, разработчики стараются сделать их синхронными, т.е. запоминать входные и выходные данные в буферных элементах. А в случаях, когда IP-ядра работают в разных частотных доменах, такой подход является неизбежной необходимостью.

Современные ПЛИС характеризуются большим количеством логических вентилях и высокой скоростью их переключения, но, не смотря на это, не всегда выгодно делать реализацию интерфейса AXI4 в разрабатываемых IP-ядрах. В ряде случаев можно экономить ресурсы кристалла и повысить быстродействие системы, реализовав работу с элементами памяти в IP-ядре «напрямую».

Назовем интерфейс для «прямого» доступ к элементам памяти – Memory Interface (MemIF). В статье представлено описание IP-ядра Bridge1M16S, которое выступает в роли «моста» между главным устройством, поддерживающим интерфейс AXI-Lite и шестнадцатью подчиненными устройствами, поддерживающими интерфейс MemIF (рисунок 1).

Процесс разработки начинается с детализации работы интерфейсов и изучения их сигналов. Подробное описание интерфейса AXI можно найти в его спецификации [1]. Ниже приведено краткое описание работы интерфейса AXI-Lite и некоторых его сигналов, которые используются в разрабатываемом IP-ядре (таблица 1, где И – Источник, а П – приемник).

Таблица 1 – Основные сигналы интерфейса AXI-Lite

Сигнал	Ис-точ-ник	Описание	Сигнал	Источ-точ-ник	Описание
Канал передачи адреса записи			Канал передачи адреса чтения		
AWADDR[31:0]	И	Адрес записи	ARADDR[31:0]	И	Адрес чтения
AWVALID	И	Адрес записи достоверен	ARVALID	И	Адрес чтения достоверен
AWREADY	П	Приемник может получить адрес	ARREADY	П	Приемник может получить адрес
Канал передачи данных записи			Канал передачи данных чтения		
WDATA[31:0]	И	Записываемые данные	RDATA[31:0]	П	Читаемые данные
WVALID	И	Записываемые достоверны	RVALID	П	Читаемые данные достоверны
WREADY	П	Приемник может записать данные	RREADY	И	Источник может прочитать данные
Канал подтверждения записи					
BVALID	П	Код ответа достоверен	BREADY	И	Источник может прочитать код ответа

Интерфейс AXI-Lite состоит из пяти параллельно работающих каналов: канал передачи адреса чтения (КПАЧ), канал передачи данных чтения (КПДЧ), канал передачи адреса записи (КПАЗ), канал передачи данных записи (КПДЗ), канал подтверждения записи (КПЗ) (Таблица 1, рисунок 2).



Рисунок 2 – Пять параллельных каналов интерфейса AXI-Lite

Между каналами существует взаимосвязь, определяющая целостность транзакций.

Взаимосвязь каналов при транзакции записи. Когда у источника достоверен адрес записи **AWVALID = 1** и приемник может его принять **AWREADY = 1**, тогда начинается транзакция записи. Когда в первом или в одном из последующих тактах выполняется два условия: первое – у источника достоверны данные **WVALID = 1**, второе – приемник может принять данные **WREADY = 1**, тогда считается, что данные переданы и источник в следующих тактах будет ожидать подтверждение записи. Данные считаются записанными, когда выполняются два условия: первое – источник может прочитать ответ об окончании записи **BREADY = 1**, второе – приемник отправляет ответ об окончании записи **BVALID = 1**.

Взаимосвязь каналов при транзакции чтения. Когда у источника достоверен адрес чтения **ARADDR = 1**, тогда начинается транзакция чтения. Когда в одном из последующих тактов выполняется два условия: первое – источник может принять данные **RREADY = 1**, второе – приемник передает достоверные данные **RVALID = 1**, тогда транзакция чтения считается законченной. Сигналы интерфейса MemIF перечислены в таблице 2, где И – Источник, а П – приемник.

Таблица 2 – Сигналы интерфейса MemIF

Название	Источник	Описание
address[31:0]	И	Адрес записи/чтения
dataWrite[31:0]	И	Записываемые данные
dataRead[31:0]	П	Читаемые данные
enable	И	Разрешение записи/чтения
writeStrobe	И	Сигнал записи

Операция записи (рисунок 4,а) выполняется один такт и начинается тогда, когда источник выдает адрес записи **address**, данные записи **dataWrite**, сигнал записи **writeStrobe = 1** и сигнал разрешения **enable = 1**.

Операция чтения (рисунок 4,б) выполняется два такта и начинается тогда, когда источник выдает адрес чтения **address**, низкий уровень сигнала записи **writeStrobe = 0** и сигнал разрешения **enable = 1**. В следующем такте приемник возвращает прочитанные данные **dataRead**.

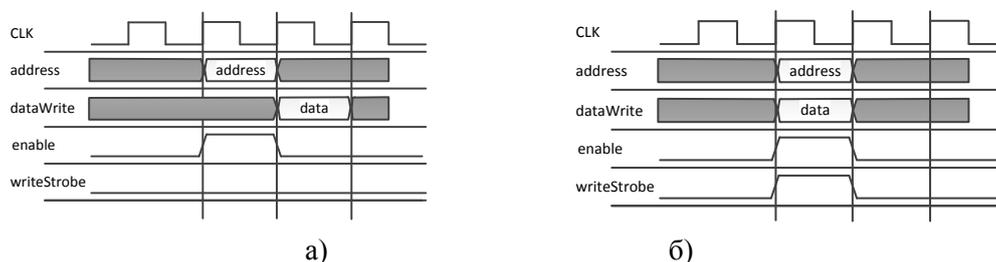


Рисунок 4 – Операции записи (а) и чтения (б) в интерфейсе MemIF

Поскольку в интерфейсе MemIF используется общая адресная шина и общие сигналы управления, поэтому на разрабатываемое IP-ядро накладывается ряд ограничений:

- в один момент времени IP-ядро может работать только с одним из шестнадцати приемников;

– в один момент времени может выполняться только одна транзакция – запись или чтение.

Разрабатываемое IP-ядро должно отслеживать начало и конец каждой транзакции и после завершения одной, выполнять следующую, более приоритетную транзакцию.

Для определения приоритетной транзакции можно использовать алгоритм перебора по кругу (англ. round-robin) или всегда отдавать приоритет одной из них. В разрабатываемом IP-ядре всегда отдается приоритет транзакции записи. Четыре старших разряда адреса записи/чтения определяют номер приемника. Рассмотрим работу IP-ядра в соответствии с цифровым автоматом, представленном на рисунке 5 и структурной схемой, представленной на рисунке 6.

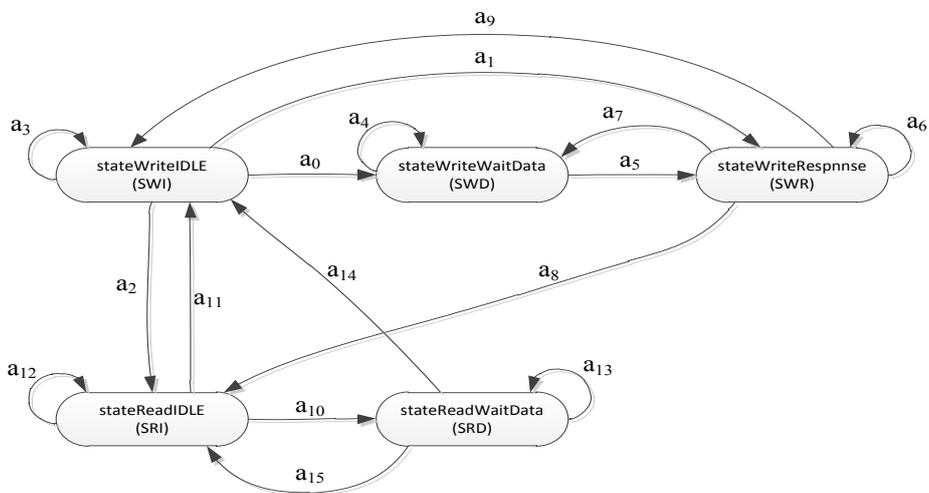


Рисунок 5 – Цифровой автомат IP-ядра Bridge1M16S

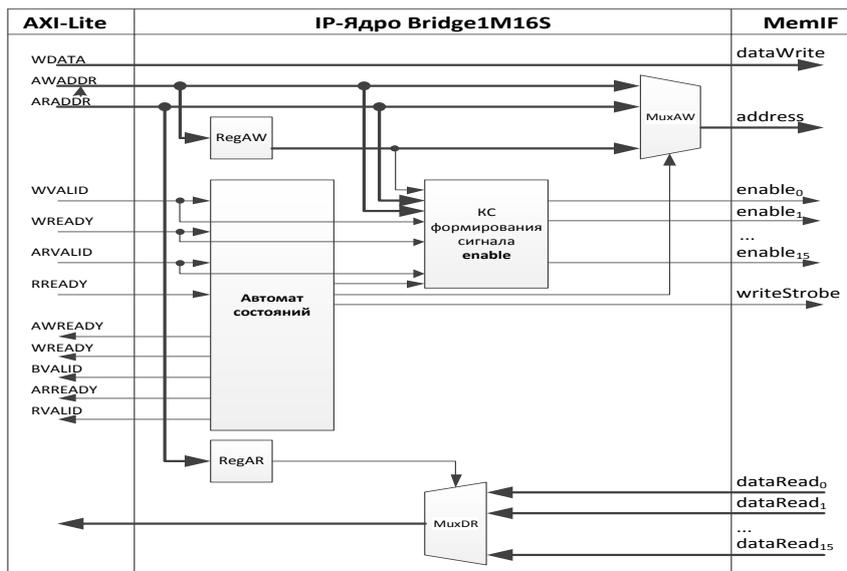


Рисунок 6 – Структурная схема IP-ядра Bridge1M16S

Переходы автомата в другие состояния представлены в таблице 3.
Таблица 3 – Таблица переходов автомата

Текущее состояние автомата (сокр. название состояний)	AWVALID	WVALID	WREADY	ARVALID	RREADY	Следующее состояние автомата	Обозначение переходов
stateWriteIDLE (SWI)	1	X	X	0	X	stateWriteWaitData	a ₀
	1	X	X	1	X	stateWriteResponse	a ₁
	0	X	X	1	X	stateReadIDLE	a ₂
	0	X	X	0	X	stateWriteIDLE	a ₃
stateWriteWaitData (SWD)	X	X	0	X	X	stateWriteWaitData	a ₄
	X	X	1	X	X	stateWriteResponse	a ₅
stateWriteResponse (SWR)	1	1	X	X	X	stateWriteResponse	a ₆
	1	0	X	X	X	stateWriteWaitData	a ₇
	0	X	X	1	X	stateReadIDLE	a ₈
	0	X	X	0	X	stateWriteIDLE	a ₉
stateReadIDLE (SRI)	X	X	X	1	X	stateReadWaitData	a ₁₀
	1	X	X	0	X	stateWriteIDLE	a ₁₁
	0	X	X	0	X	stateReadIDLE	a ₁₂
stateReadWaitData (SRD)	X	X	X	X	0	stateReadWaitData	a ₁₃
	1	X	X	X	1	stateWriteIDLE	a ₁₄
	0	X	X	X	1	stateReadIDLE	a ₁₅

Все состояния автомата делятся на две группы: состояния для транзакции записи (stateWriteIDLE, stateWriteWaitData, stateWriteResponse) и состояния для транзакции чтения (stateReadIDLE, stateReadWaitData). Автомат всегда «переключен» для транзакции записи либо для транзакции чтения.

Для обозначения состояния «устанавливается регистр», которое означает синхронную установку в следующем такте, используется знак «<=>». Для обозначения состояния «передаются данные», которое означает асинхронную передачу данных в приемник в этом же такте, используется знак «=>».

Переходы автомата и выходные сигналы IP-ядра.

Состояние stateWriteIDLE - автомат «переключен» для транзакции записи и ожидается адрес от КПА3 либо от КПАЧ, анализируя сигналы AWVALID и ARVALID.

Сообщается главному устройству готовность получить адрес AWREADY = 1 и данные WREADY=1. Передается подчиненному устройству адрес address = AWADDR, данные dataWrite = WDATA и сигнал writeStrobe=1.

Если пришли данные по КПДЗ WVALID = 1 и адрес КПА3 AWVALID = 1, тогда дешифрируем старшие четыре бита адреса и формируем сигнал разрешения enable[n] = 1, где n – номер подчиненного устройства. В следующем такте переходим в состояние stateWriteResponse.

Если получен только адрес, но не получены данные (AWVALID = 1 и WVALID = 0), тогда сохраняем адрес из КПА3 regAddressWriteOld <=> AWADDR, не передаем управляющие сигналы enable[n] = 0 и в следующем такте переходим в состояние stateWriteWaitData.

Если получен адрес в КПАЧ ARVALID = 1 и не получен адрес в КПА3 AWVALID = 0, тогда «переключаем» автомат для транзакции чтения, т.е. пере-

ходим в состояние stateReadIDLE. Если нет адресов в КПА3 AWVALID = 0 и КАПЧ ARVALID = 0, тогда остаемся в состоянии stateWriteIDLE.

Состояние stateWriteWaitData. Автомат «переключен» для транзакции записи и ждет данные от источника.

Сообщается главному устройству, что нет готовности получить адрес AWREADY = 0 и готовы получить данные WREADY = 1. Передается подчиненному устройству адрес address = regAddressWriteOld, данные dataWrite = WDATA и сигнал writeStrobe = 1.

Если приходят данные по КПДЗ WVALID = 1, тогда дешифрируем старшие четыре бита адреса и формируем сигнал разрешения enable[n] = 1, где n – номер подчиненного устройства. В следующем такте выполняется переход в состояние stateWriteResponse. Если нет данных в КПДЗ WVALID = 0, тогда остается состояние stateWriteWaitData.

Состояние stateWriteResponse. Автомат «переключен» для транзакции записи, сообщается об окончании транзакции записи и принимается решение о том, какая будет следующая транзакция.

Сообщается главному устройству о том, что данные записаны BVALID = 1, подчиненное устройство готово получить из КПА3 адрес AWREADY = 1 и из КПДЗ данные WREADY = 1. Передаем подчиненному устройству адрес address = AWADDR, данные dataWrite = WDATA и сигнал writeStrobe = 1.

Если пришли данные в КПДЗ WVALID = 1 и адрес в КПА3 AWVALID = 1, тогда дешифрируем старшие четыре бита адреса и формируем сигнал разрешения enable[n] = 1, где n – номер подчиненного устройства. В следующем такте остаемся в состоянии stateWriteResponse.

Если получен только адрес, но не получены данные (AWVALID = 1 и WVALID = 0), тогда сохраняем адрес из КПА3 regAddressWriteOld <= AWADDR, не передаем управляющие сигналы enable[n] = 0. В следующем такте переходим в состояние stateWriteWaitData.

Если получен адрес в КПАЧ ARVALID = 1 и не получен адрес в КПА3 AWVALID = 0, тогда «переключаем» автомат для транзакции чтения, т.е. переходим в состояние stateReadIDLE. Если нет адресов в КПА3 AWVALID = 0 и КАПЧ ARVALID = 0, тогда переходим в состояние stateWriteIDLE.

Состояние автомата stateReadIDLE. Автомат «переключен» для транзакции чтения и ждет запроса на чтение или запись.

Сообщается главному устройству, что подчиненное устройство готово получить адрес чтения по КПАЧ ARREADY = 1. Передаем подчиненному устройству адрес чтения address = ARADDR и сигнал writeStrobe = 0.

Если пришел адрес по КПАЧ ARVALID = 1, тогда передаем подчиненному устройству сигнал writeStrobe = 0, дешифрируем старшие четыре бита текущего адреса и формируем сигнал разрешения enable[n] = 1, где n – номер подчиненного устройства, а также запоминаем старшие четыре бита адреса regAddressReadOld = ARADDR[31:28], чтобы знать, от какого подчиненного устройства на следующем такте получить данные. В следующем такте переходим в состояние stateReadWaitData.

Если пришел адрес по КПА3 AWVALID = 1 и не пришел адрес по КПАЧ ARVALID = 0, тогда в следующем такте переходим в состояние stateWriteIDLE. Если адрес не пришел по каналам КПА3 AWVALID = 0 и КПАЧ ARVALID = 0, тогда остаемся в состоянии stateReadIDLE.

Состояние автомата stateReadWaitData. Автомат «переключен» для транзакции чтения, передает прочитанные данные главному источнику и определяет следующую транзакцию.

Сообщается главному устройству, что прочитанные данные достоверны RVALID = 1.

Добавим в схему мультиплексор, на входы данных которого подадим шины данных от всех подчиненных устройств, на его адресный вход подадим сохраненный в предыдущем такте адрес regAddressReadOld, а данные с выхода мультиплексора передадим главному устройству. Таким образом, мы «заберем» прочитанные данные от «нужного» подчиненного устройства.

Пока главное устройство не будет готово прочитать данные RREADY = 0, остаемся в состоянии stateReadWaitData. Когда главное устройство готово прочитать данные RREADY = 1, тогда считаем, что транзакция чтения закончена и определяем следующее состояние автомата, анализируя сигнал AWVALID. Если есть адрес в КПАЗ AWVALID = 1, тогда не зависимо от того, есть запрос в канале чтения или нет ARVALID = X, переходим в состояние stateWriteIDLE, т.к. транзакция записи более приоритетна. Если в КПАЗ нет адреса AWVALID = 0, тогда переходим в состояние stateReadIDLE, т.е. оставляем автомат «переключенным» для транзакций чтения.

Разработанное в статье IP-ядро, описанное в статье, легко реализуется на любом языке описания аппаратуры и обладает высоким быстродействием. Быстродействие IP-ядра достигается благодаря двум его особенностям:

1. все сигналы проходят через IP-ядро только в одном направлении, тем самым исключаются обратные связи;
2. используя логику быстрого переноса можно добиться того, чтобы сигналы через IP-ядро проходили только через один уровень логики.

Описанное выше IP-ядро было реализовано на языке описания аппаратуры Verilog и протестировано на нескольких ПЛИС фирмы Xilinx (Spartan-6, Zynq-7000). Главными устройствами выступали микропроцессоры Microblaze 8.5 и Cortex-A9. IP-ядро работает стабильно, занимает мало ресурсов и выполняет все необходимые функции.

Список литературы

1. <http://www.arm.com/products/system-ip/amba-specifications.php> – Спецификация «AMBA».
2. http://www.elbrus.ru/arhitektura_elbrus – Краткое описание архитектуры процессора «Эльбрус».
3. http://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/ug761_axi_reference_guide.pdf – Справочное руководство фирмы Xilinx по интерфейсу AXI.
4. <http://www.chipinfo.ru/literature/chipnews/200304/1.html> – Статья А. Бухмеева «Методы и средства проектирования систем на кристалле».
5. Зотов В. Ю. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы XILINX. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2006. – 522с.
6. David Money Harris and Sarah L Harris Digital Design and Computer Architecture. – NY.: Morgan Kaufmann, 2016. – 712 с.

УДК 621.317.7
ББК 30

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ
МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УРОВНЯ
МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

© *Е.С. Дёмин, Пензенский государственный технологический университет,
(г. Пенза, Россия)*

**INVESTIGATION OF RESONANCE CHARACTERISTICS
OF THE MAGNETOSTRICTIVE TRANSDUCER LEVEL USING
THE METHODS OF MATHEMATICAL MODELING**

© *E.S. Demin, Penza State Technological University, (Penza, Russia)*

В статье приведены результаты исследования резонансных свойств магнитоотричных преобразователей уровня с учетом влияния упругих напряжений и температуры методом математического моделирования.

Ключевые слова: математическое моделирование, магнитоотричные преобразователи уровня, резонансные свойства

The results of research of the resonance properties of magnetostrictive level transmitters with the influence of elastic stresses and temperature by mathematical modeling.

Key words: mathematical modeling, level of magnetostrictive transducers, resonant properties
E-mail: cxelious@gmail.com

В настоящее время магнитоотричные преобразователи механических величин, к которым можно отнести магнитоотричные преобразователи уровня (МПУ), достаточно широко применяются в различных отраслях промышленности для высокоточного непрерывного измерения уровня h_{1-3} и плотности различных жидких сред, в том числе и агрессивных. Для измерения плотности жидкости используются магнитоотричные преобразователи плотности или плотномеры (МППл), а также комбинированные приборы – магнитоотричные преобразователи уровня и плотности (МПУиП), которые можно характеризовать как подвиды МПУ. Этому послужили их специфические свойства, которыми в совокупности не обладают другие известные преобразователи (датчики) физических величин, а именно, простота конструкции и относительно низкая себестоимость изготовления, широкий диапазон преобразований при высоких метрологических параметрах, достаточно большие функциональные возможности [1-3].

Наиболее часто МПУ применяют на стационарных автоматизированных объектах, но в последнее время, по мере их совершенствования, делаются попытки использования на динамических или подвижных технических объектах. Наличие в них протяженного акустического тракта с сигнальными электроакустическими преобразователями (ЭАП) и магнитоотричными преобразователями Видемана (МПВ), где носителем акустических сигналов выступает звукопровод из магнитоотричного материала, нагруженный усилием $P_{3П}$ (рисунк 1), является в некотором смысле ограничивающим фактором применения на подвижных объектах – технологических установках, транспортных средствах и пр. Например, при совпадениях резонансных частот $f_{i.рез}$ МПУ с ча-

стотами $f_{j.возм}$ возмущающих воздействий со стороны подвижного объекта, они обычно теряют свою работоспособность, что в отдельных случаях является недопустимым.

Поэтому целью настоящей статьи является исследование резонансных свойств МПУ с протяженным акустическим трактом длиной L , ориентированных для использования на динамических объектах.

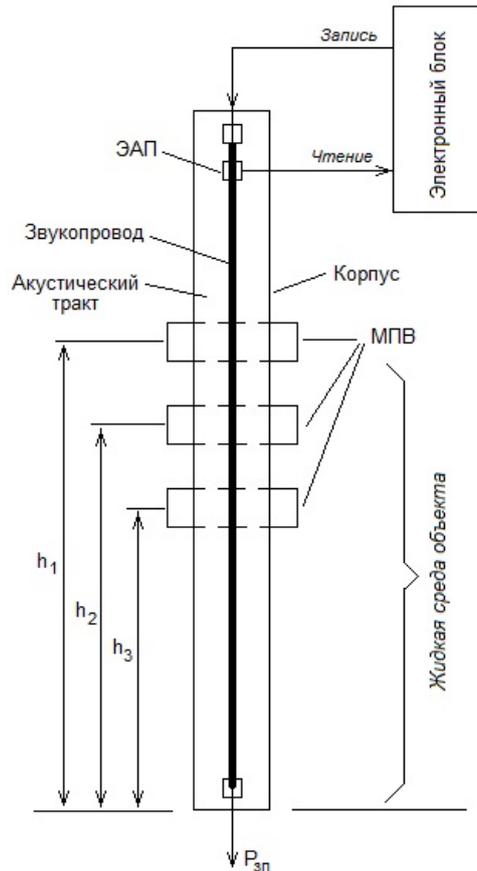


Рисунок 1 – Обобщенная схема МПУиП

В качестве инструмента для теоретического исследования выбран метод математического моделирования, обладающий известными достоинствами и недостатками.

Из приведенной структуры построения акустического тракта МПУ, МППл, МПУиП (рисунок 1) следует, что наиболее чувствительным элементом к возмущающим поперечным колебаниям со стороны подвижного объекта является прямолинейный струнный, стержневой или трубочный [3] звукопровод. При этом, он с обоих концов закреплен и, обычно, продольно напряжен с усилием $P_{3п}$.

Под действием инерционных масс и возможных ударных воздействиях звукопровод может совершать поперечные колебания, фазовую скорость которых можно определить из известного выражения [4]:

$$V_{\phi} = \sqrt{E / \rho_{3п}} = 2 / d_{3п} \sqrt{P_{3п} / (\pi \rho_{3п})}, \quad (1)$$

где $E = P_{зп} / S_{зп} = 4P_{зп} / (\pi d_{зп}^2)$ – модуль 1-го рода, $S_{зп}, d_{зп}$ – площадь поперечного сечения и диаметр звукопровода, соответственно, $\rho_{зп}$ – удельная плотность материала звукопровода. При этом, выполняется известное условие связи резонансных частот $f_{i,рез}$ с длиной волны λ_B свободных колебаний прямолинейного звукопровода длиной L

$$L = n\lambda_B / 2, n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Учитывая, что звукопровод представляет собой сплошное цилиндрическое тело, он может колебаться с разными собственными (резонансными, характеристическими) частотами f_c гармонических и негармонических колебаний [1,4], т.е. с учетом (1) и (2) имеем:

$$f_c = \frac{n}{2L} V_\Phi = \frac{n}{L d_{зп}} \sqrt{\frac{P_{зп}}{\pi \rho_{зп}}}, n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

На рисунках 1 и 2 приведены результаты моделирования собственных частот f_c и основной резонансной частоты $f_{1,рез}$ МПУ по выражению (3) при $L = 1.0$ м и $\rho_{зп} = 0.78 - 0.87$ кг/мм².

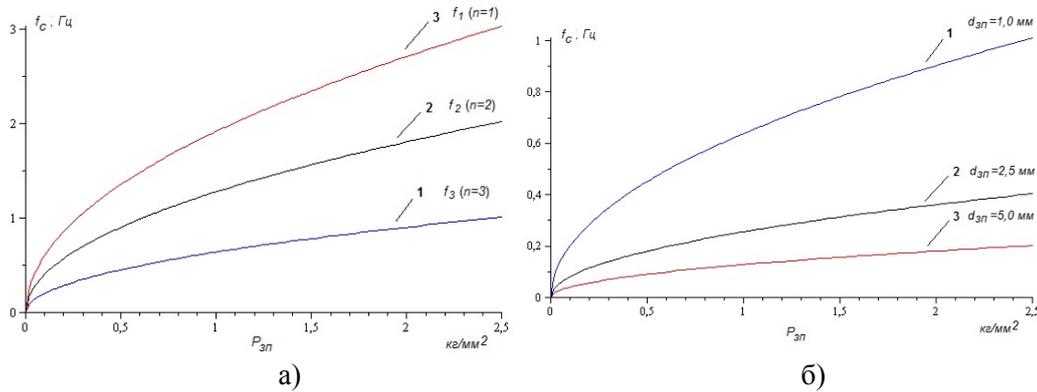


Рисунок 2 – Изменение собственных частот $f_c = \{f_1, f_2, f_3 \dots\}$ МПУиП при растягивающих усилиях $P_{зп}$ звукопровода: а) на разных гармониках f_1, f_2, f_3 б) для разных диаметров $d_{зп}$ звукопроводов

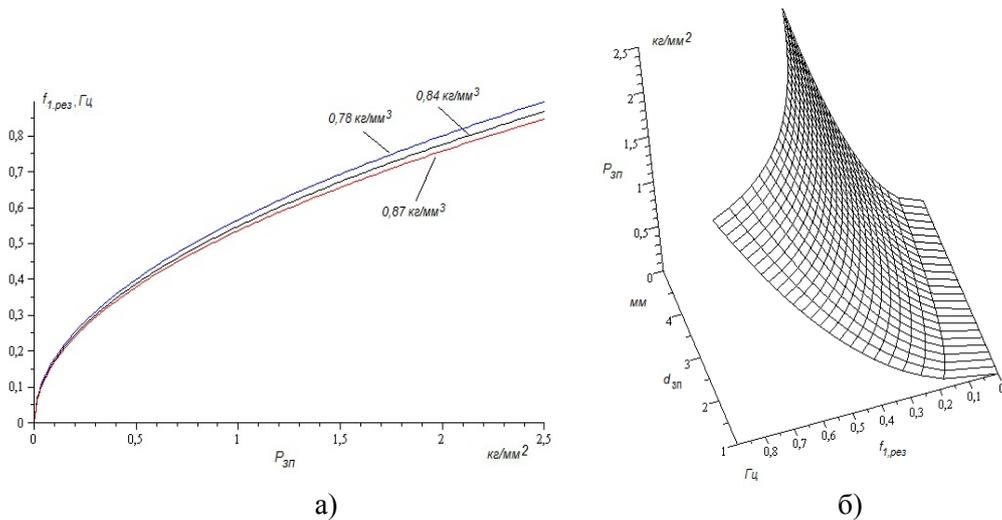


Рисунок 3 – Изменение основной резонансной частоты $f_{1.рез}$ МПТУиП при растягивающих усилиях $P_{зп}$ звукопровода: а) для разной плотности материалов и б) разных диаметров $d_{зп}$ звукопроводов

Из выражения (3) следует, а также это видно из рисунка 3.б, что с увеличением массы m_1 звукопровода и его дополнительной массы m_2 акустического тракта МПУ, изменением температуры ΔT° окружающей среды, понижается основная резонансная частота по закону:

$$f_{1.рез} = n \sqrt{\frac{P_{зп}}{\pi \Delta L d_{зп} (m_1 + m_2)}}, n = 1, \quad (4)$$

где $\Delta L = L(1 + \alpha_T \Delta T^\circ)$, – изменение первоначальной длины L звукопровода с температурным коэффициентом α_T расширения при воздействиях тепловых полей.

Таким образом, результаты теоретических исследований показали, что увеличение диаметра и массы звукопровода МПУ, его длины приводит к снижению основной резонансной частоты. В тоже время, увеличение принудительных продольных напряжений в его среде, наоборот, вызывает повышение основной резонансной частоты. При этом, помимо основной резонансной частоты звукопровода имеют место резонансы на более высоких частотах. Эти обстоятельства необходимо учитывать при установке МПУ, МППл или МПУиП на динамические объекты, вибрационные частоты которых могут находиться в диапазонах от 0,5 Гц до 100 Гц или 8000 Гц. Необходимо также знать, что создание в среде звукопровода значимых продольных напряжений может существенно изменить первоначальные значения магнитострикционных и электрических параметров МПУ, привести к разрушению акустического тракта [5-7] и сделать его неработоспособным.

Список литературы

1. Ультразвук. Маленькая энциклопедия/ Под ред. И.П. Голяминой. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
2. Белов, К.П. Магнитострикционные явления и их технические приложения. – М.: Наука, 1987. – 160 с.
3. Демин, С.Б. Магнитострикционные системы для автоматизации технологического оборудования. Монография. – Пенза, Изд-во ПГУ, 182 с.
4. Журавлев, В.Ф. Прикладные методы в теории колебаний/ В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов. – М.: Наука, 1988. – 328 с.
5. Белов, К.П. Упругие, тепловые и электрические свойства металлов. – М.: Гостехиздат, 1951. – 315 с.
6. Лившиц, Б.Г. Физические свойства металлов и сплавов/ Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий. – М.: Металлургия, 1980. – 380 с.
7. Калинин, Е.Н. Математическое моделирование факторов влияния на параметры магнитострикционных приборов [Текст]/ Е.Н. Калинин, Е.С. Демин, С.Б. Демин// – XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2011, – №3. – С.161-167.

УДК 519.711.3

ББК 22.19.7

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ УРОВНЕМЕРОВ

© **Э.В. Карпухин**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© **Е.С. Дементьева**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© **В.П. Батаев**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

COMPUTATIONAL EXPERIMENTS OF MAGNETIC FIELDS MAGNETOSTRICTIVE LEVEL METER

© **E.V. Karpukhin**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **E.S. Dementeva**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **V.P. Bataev**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье описана последовательность проведения вычислительного эксперимента магнитных полей накладных магнитострикционных преобразователей уровня (МПУ) для байпасных систем со сложной геометрией акустического тракта. При проведении исследований были использованы разработанный, а затем и модифицированный авторами комплекс программ «Моделирование МПУ», ориентированный на взаимодействие с системой MATLAB. Осуществляется подробный анализ результатов эксперимента, на основании которого, предлагаются конкретные шаги по улучшению параметров рассматриваемого класса приборов. Приводятся доказательства адекватности полученных математических моделей путем сравнения их с известными аналогами и данными реальных физических экспериментов.

Ключевые слова: магнитострикционные преобразователи уровня для байпасных систем, вычислительный эксперимент, математические модели

The article describes the sequence of computing experiment the magnetic fields of overhead magnetostrictive level transmitters (LPA) for the bypass systems with complex geometry of the acoustic path. In conducting research were used developed and then modified by the authors set of programs "Modeling LPA", focused on the interaction with MATLAB system. Carried out a detailed analysis of the experimental results, based on which, proposes concrete steps to improve the parameters of this class of devices. Proofs received adequacy of mathematical models by comparing them with the known analogues and the data of actual physical experimentation.

Key words: magnetostrictive level transmitters for the bypass systems, numerical simulation, mathematical models

Магнитоотрицательные преобразователи уровня (МПУ) накладного типа для байпасных (бесконтактных) систем нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Наиболее эффективными является использование подобных приборов, акустический тракт которых обладает сложной геометрией, что позволяет существенно повысить точность и быстродействие, как самих приборов, так и в целом САУ на их основе. Поэтому улучшение параметров байпасных МПУ является важной и актуальной задачей, решение которой может быть осуществлено методами математического моделирования [2-4].

В статье приводятся результаты вычислительного эксперимента по моделированию выходных информационных параметров и магнитных полей накладных МПУ на акустических волнах кручения для байпасных систем с использованием разработанного комплекса программ «Моделирование МПУ» [5].

За основу взята известная конструкция накладного МПУ для байпасных систем со сложной геометрией акустического тракта, изображенная на рисунке 1 [2,3].

После решения системы разностных уравнений магнитного поля исследуемого МПУ с помощью разработанного, а затем модифицированного авторами программного комплекса [5], и обработки полученных данных в среде MATLAB была получена картина распределения магнитного поля в расчетной области (рисунок 1), показанная на рисунке 2.

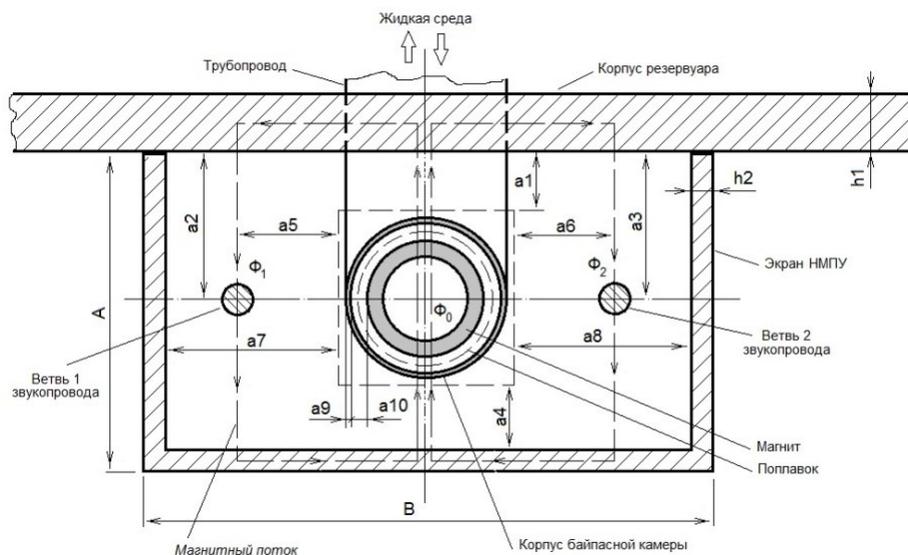


Рисунок 1 – Расчетная схема МПУ для байпасных систем

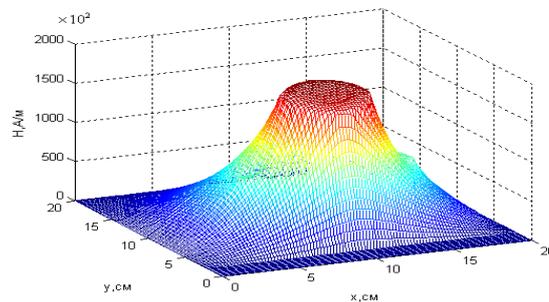


Рисунок 2 – Зависимость напряженности магнитного поля МПУ накладного типа со сложной геометрией акустического тракта от координат

Как известно [1,4], модели магнитных полей МПУ, полученные с помощью CMM ELCUT или ANSYS, могут служить для проверки адекватности результатов вычислительного эксперимента и подтверждения правильности работы программного комплекса «Моделирование МПУ». Для этого рассмотрим плоскую картину зависимости напряженности результирующего магнитного поля от координат точек расчетной области (рисунок 3), полученную авторами ранее [3].

Как следует из сопоставления изображений на рисунках в [4] и [2,3], значения напряженности результирующего магнитного поля МПУ накладного типа для байпасных систем, полученные с помощью CMM ELCUT аналогичны значениям, рассчитанным программным комплексом «Моделирование МПУ». Сравнение числовых данных свидетельствует о максимальном отклонении значений напряженности не более чем на 4%. Схожие результаты были получены при проведении физического эксперимента магнитных полей МПУ накладного типа для байпасных систем на промышленном предприятии. Это доказывает адекватности результатов вычислительного эксперимента расчета магнитных полей МПУ накладного типа для байпасных систем, найденных с помощью комплекса программ «Моделирование МПУ».

Про моделируем поведение напряженности магнитного поля кольцевого постоянного магнита МПУ накладного типа для байпасных систем вблизи рабочей точки на поверхности ветвей U-образного звукопровода при использовании в качестве магнитных материалов сплавов NdFeB, E7B6 и АЛЬНИКО.

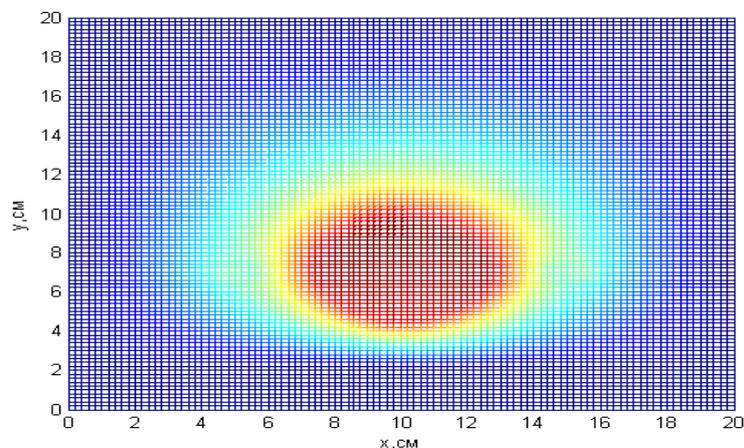


Рисунок 3 – Вид сверху картины результирующего магнитного поля постоянного магнита МПУ накладного типа

Данные сплавы отличаются значениями коэрцитивной силы H_c , остаточной индукции B_r , а также величиной плотности магнитной энергии. Причем материал NdFeB обладает большой коэрцитивной силой $H_c \geq 800 \text{ кА/м}$, а материалы E7B6 и АЛЬНИКО значительно слабее и H_c для них составляет порядка 100–200 кА/м. Результаты такого моделирования показаны на рисунке 4.

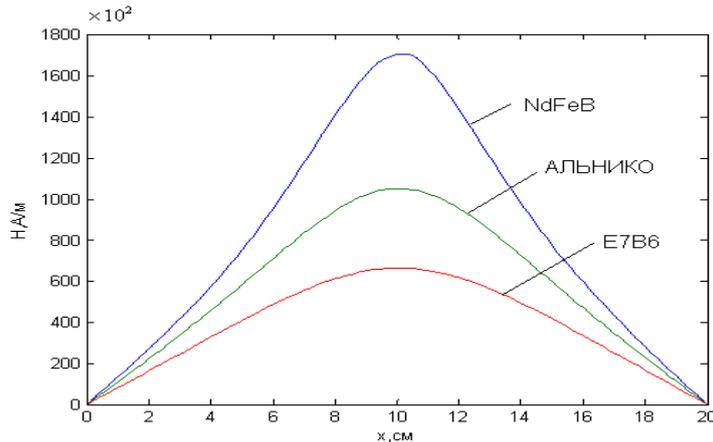


Рисунок 4 – Зависимость напряженности магнитного поля постоянного магнита МПУ в рабочей точке от координаты при использовании материалов с различной коэрцитивной силой

Анализ результатов этого вычислительного эксперимента (рисунок 4) с применением методики, изложенной в [3], показывает, что для возбуждения ультразвуковой волны в рабочей точке, обладающей необходимой энергией для уверенного считывания сигнальным ЭАП достаточно использования постоянного магнита с коэрцитивной силой $H_c = 150 - 200 \text{ кА/м}$, при условии, что технологические расстояния $a5, a6$ находятся в диапазоне (2-10)мм. Выбор магнита с большей коэрцитивной силой в данном случае нецелесообразен. Однако, увеличение коэрцитивной силы постоянного магнита может применяться в качестве компенсации увеличения обозначенных расстояний.

Исследуем влияние амплитуды I импульсов тока записи $i_x(t)$ на результирующее магнитное поле МПУ накладного типа для байпасных систем. Указанная зависимость приведена на рисунке 5.

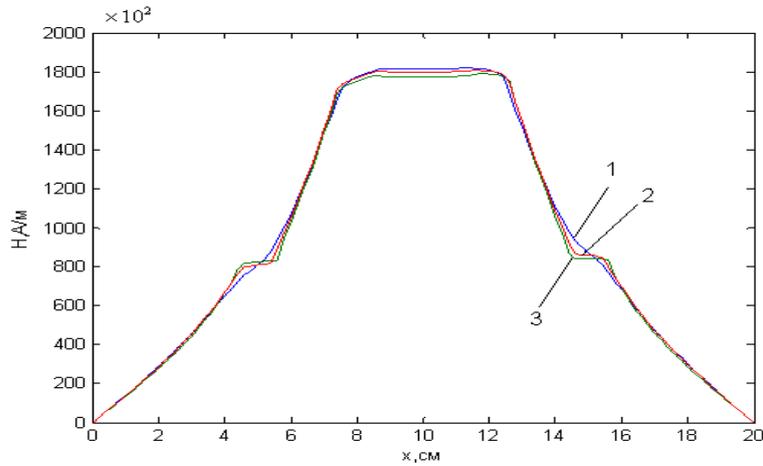


Рисунок 5 – Влияние амплитуды I импульсов тока записи $i_x(t)$ на результирующее магнитное поле: 1 – $I = 0,125$ А, 2 – $I = 0,25$ А, 3 – $I = 0,5$ А

Как видно из полученной зависимости (рисунок 5) результирующее магнитное поле МПУ накладного типа в соответствии с известными данными [1,4], позволяет формировать ультразвуковые волны в среде звукопровода при амплитуде тока записи $I \geq 0,25$ А, что вполне соответствует полученным ранее результатам.

Оценим далее влияние различных факторов и параметров конструкции МПУ накладного типа для байпасных систем на значение выходных информационных параметров сигнального ЭАП. При этом будем полагать, что из дестабилизирующих факторов на звукопровод действует растягивающее усилие, т.к. это вполне соответствует действительности при расположении МПУ накладного типа на технологическом объекте. Дополнительно будем изменять материал постоянного магнита МПУ, с целью нахождения прямой зависимости коэрцитивной силы магнита H_c на выходные сигналы. Результаты такого моделирования показаны на рисунке 6.

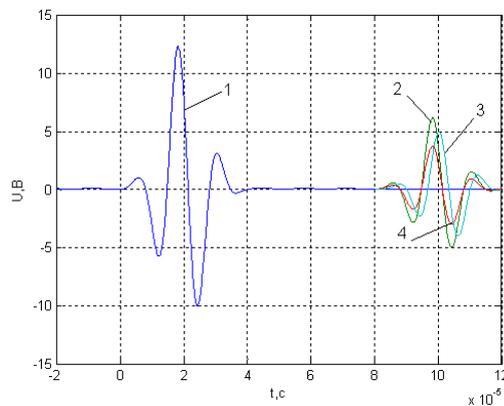


Рисунок 6 – Влияние растягивающего усилия и материала постоянного магнита на выходные сигналы МПУ накладного типа

В ходе моделирования, по звукопроводу каждый раз подавался импульс тока записи, наводящий на выводах сигнального ЭАП ЭДС индукции амплитудой $U = 12$ В, изменяющейся по закону, показанному на рисунке 6(1). При отсутствии растягивающих усилий и использовании в качестве материала постоянного магнита сплава АЛЬНИКО, выходной сигнал имел амплитуду $U = 5,5...6$ В, а при выборе сплава Е7В6 – $U = 4,8...5$ В. Вид этих сигналов показан на рисунке 6 (2) и (4) соответственно. Амплитуды сформированных сигналов являются вполне допустимыми для уверенного распознавания управляющим устройством в составе САУ [4]. Причем, отметим, что ультразвуковые волны кручения, сформированные при участии магнитов из разных материалов, ограничили почти одинаковый временной участок длительностью $t_x \approx 80$ мкс.

Моделирование выходных информационных сигналов МПУ накладного типа при наличии растягивающих усилий, приложенных к звукопроводу, показало отставание во времени и уменьшение амплитуды выходного сигнала (рисунок 6 (3)). Сигнал запаздывал во времени на величину $\Delta t_x \approx 4$ мкс, и его амплитуда уменьшилась до $U \approx 5$ В вместо $U = 5,5...6$ В, как было без растягивающего усилия.

Таким образом, выявленная особенность существенно влияет на точность работы МПУ накладного типа для байпасных систем и должна быть учтена при конструировании реальных преобразователей.

Таким образом, проведенные с помощью разработанного программного комплекса «Моделирование МПУ» вычислительные эксперименты магнитных полей и выходных информационных параметров позволили подтвердить адекватность разработанных математических моделей и эффективность предложенных численных методов. В ходе исследований были установлены оптимальные параметры постоянных магнитов и соотношения геометрических размеров конструкции МПУ. Также была установлена степень влияния различных дестабилизирующих факторов на форму выходных сигналов МПУ. Все это позволило создать МПУ накладного типа для байпасных систем с улучшенными характеристиками, которые нашли свое применение на промышленных предприятиях.

Список литературы

1. Демирчян К.С. *Машинные расчеты электромагнитных полей* / К.С. Демирчян, В.Л. Чечурин. – М.: Высш. шк., 1986. – 240 с.
2. Карпухин Э.В. *Исследование байпасной измерительной системы с магнитострикционным уровнем методом математического моделирования* / Д.А. Мокроусов, Э.В. Карпухин, С.Б. Дёмин, Е.С. Дёмин // *Современные проблемы науки и образования: Электронный журнал*. – 2014. – № 4. – URL: www.science-education.ru/118-13765 (дата обращения – 06.10.2015 г.).
3. Карпухин Э.В. *Комплекс программ для расчета параметров магнитострикционных преобразователей уровня накладного типа со сложной геометрией акустического тракта* / Д.А. Мокроусов, Э.В. Карпухин, С.Б. Дёмин, В.С. Дятков // *Современные проблемы науки и образования: Электронный журнал*. – 2014. – № 3. – URL: www.science-education.ru/117-13707 (дата обращения – 06.10.2015 г.).

4. Карпухин Э.В. Способ повышения эффективности расчета параметров магнотрипционных преобразователей уровня с использованием программных комплексов / Э.В. Карпухин, Е.С. Дементьева, Ю.С. Кулькова // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 5-12. – С. 902-906.
5. Карпухин Э.В. Программа моделирования выходных параметров МПУ (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2014660406 от 07.10.14). / Д.А. Мокроусов, Э.В. Карпухин, Е.С. Дёмин // *Опубликовано в ОБПБТ №11 (97) 20.11.2014*.
6. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Дарченко Т.В., Володин В.А. Анализ распределения и моделирование магнитных полей двухкоординатных магнотрипционных наклономеров. // *Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации*. 2013. №3. -306-310.
7. Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Родионов С.В. Математическое моделирование и расчет магнитных полей магнотрипционных преобразователей угловых перемещений, содержащих сплошной постоянный магнит. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Пенза: ПензГТУ, 2015. № 3 (25). С. 169-175.

УДК 004.622: 004.043

ББК 30

МОДЕЛИ ДАННЫХ АРХИВА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

- © **Н.П. Будун**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **В.В. Пикулин**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **А.П. Ремонтов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **В.С. Юранов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **К.Н. Лысенко**, ОАО НПП «Химмаш-Старт» (г. Пенза, Россия)

DEVELOPMENT OF MODELS TO CREATE ARCHIVE DATABASE FOR DESIGN AND TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION

- © **N.P. Budunov**, Penza State Technological University (Penza, Russia),
- © **V.V. Pikulin**, Penza State Technological University (Penza, Russia),
- © **A.P. Remontov**, Penza State Technological University (Penza, Russia),
- © **V.S. Yuranov**, Penza State Technological University (Penza, Russia),
- © **K.N. Lysenko**, OJSC Khimmash-Start (Penza, Russia)

В статье представлены результаты анализа и разработки вариантов реляционных моделей для создания базы данных конструкторско-технологической и организационно-экономической документации, формируемой при исполнении заказов на изготовление механических изделий; разработанные модели обеспечивают вариативность для генерации базы данных указанного назначения с учетом требований заказчика.

Ключевые слова: Конструкторско-технологическая документация, архив документации, база данных документации.

The article presents the results of the analysis and designing relational data models to create database design-technological and organizational-economic documentation generated in the performance of orders for manufacturing of mechanical products; the model developed provides variability to generate the database on the specified destination subject to the requirements of the customer.

Key words: Design and technological documentation, archive documentation, database documentation.

E-mail: nbudunov@mail.ru, pvv@penzgtu.ru, remontov@mail.ru, rudolf123@yandex.ru, lis105@yandex.ru

Разработка конструкторско-технологической документации (КТД) на предприятиях машиностроительного профиля выполняется в настоящее время с использованием различных средств автоматизированного проектирования [1, 2]. Для повышения эффективности этого процесса по показателям производительности труда и снижения себестоимости продукции целесообразно создание интегрированной информационной системы с использованием базы данных (БД) проектов и локальной вычислительной сети (ЛВС) [3]. При этом с целью сокращения издержек на создание и эксплуатацию автоматизированной информационной системы (АИС) КТД необходимо учитывать особенности организации процесса разработки КТД на конкретном предприятии, наличие на предприятии технического и программного обеспечения для разработки КТД.

Если значительная часть разработок КТД выполняется на основе аналогов, то важную роль играет наличие соответствующим образом организованного общедоступного (для разработчиков) архива КТД с возможностью быстрого поиска прототипа. Кроме того, следует учитывать, что при выполнении работ по заказам процесс разработки КТД связан с формированием ряда организационных, экономических и других документов. Поскольку трудоемкость процесса выполнения заказов складывается из K различных составляющих (подпроцессов), зависящих от сложности изделий

$$T = \sum_{i=1}^K T(n)_i,$$

где n – количество разнотипных элементов конструкции изделия (номенклатура деталей и сборочных единиц изделия).

Зависимости $T(n)_i$ имеют различный характер, как правило, линейный для организационно-экономических процессов и экспоненциальный для проектных работ (с учетом итераций)

$$T(n) = ae^{bn},$$

где a, b – константы, значения которых зависят от многих организационно-технических факторов. Поэтому в первую очередь целесообразно анализировать возможности сокращения трудоемкости процессов разработки КТД. При использовании прототипов КТД, имеющихся в общедоступном для проектировщиков архиве, трудоемкость процессов разработки КТД заметно снижается (рисунок 1). При этом величина снижения трудоемкости зависит, естественно, и от состава выполняемых проектов (таблица 1), в частности, при увеличении доли сложных проектов сокращение трудоемкости увеличивается примерно линейно (рисунок 2):

$$\delta_{Т,КТД} = CZ_{КТД} + d,$$

где C, d – коэффициенты уравнения регрессии,

$Z_{КТД}$ – условный номер комплекта проектов (таблица 1).

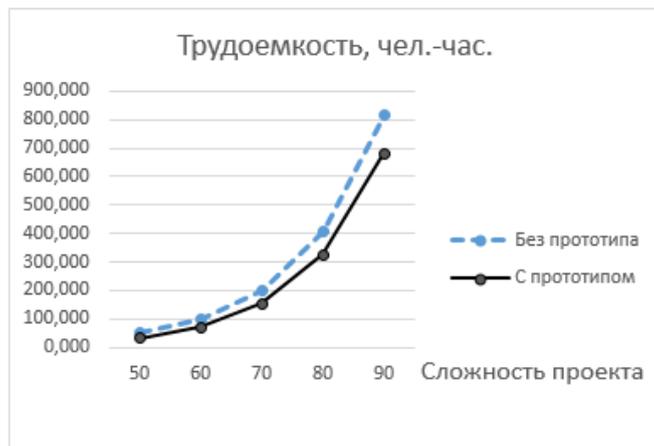


Рисунок 1 – Зависимость трудоемкости работ от уровня сложности проекта (по номенклатуре комплектующих)

Таблица 1 – Данные о комплектах проектов

Номер комплекта проектов	Уровень сложности проекта (по номенклатуре комплектующих)	Доля изделий заданного уровня сложности в комплекте проектов				
		0,2	0,1	0,4	0,2	0,2
1.	50	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2.	60	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2
3.	70	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2
4.	80	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4
5.	90	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4

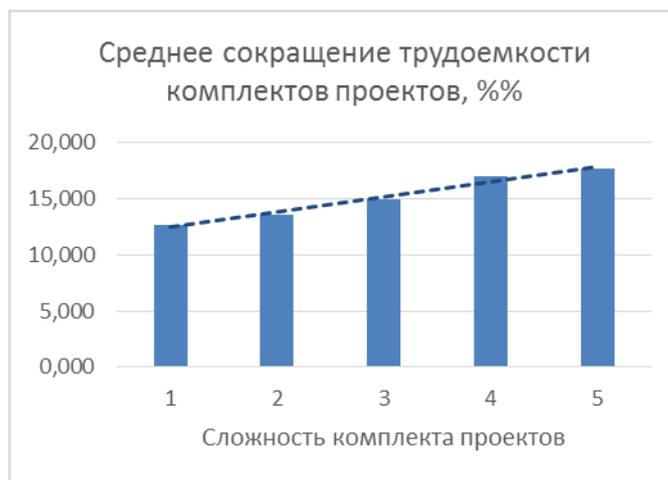


Рисунок 2 – Зависимость средней доли снижения трудоемкости работ от уровня сложности проекта (по номенклатуре комплектующих)

В статье представлены результаты анализа процесса разработки КТД по заказам и предлагаются модели данных предметной области для создания БД, обеспечивающей хранение, поиск и последующее представление данных о раз-

личных документах, связанных с заказами на изготовление КТД, и, собственно, КТД по различным реквизитам, значения которых задаются пользователем.

Процесс исполнения заказов на предприятии сопровождается подготовкой документов и данных, которые следует разделить на три группы:

1. Общие идентификационные данные заказа.
2. Данные текстовых документов по видам и/или этапам работ.
3. Графические документы (конструкторская документация, подготовленная с использованием ПО).

В первую группу входят сведения о предприятиях (заказчике и исполнителе, включая соисполнителей), общие сведения о заказе (назначение изделия, место его установки, назначение ответственного за выполнение работ сотрудника, сведения о важных для выполнения договора событиях с указанием дат).

Содержание второй группы данных зависит от технологии подготовки, хранения и последующего использования текстовых документов по заказам; возможны следующие варианты технологии:

1. Использование файлов (оригинальных или по шаблону) в формате текстового редактора, хранение копий на бумажных носителях. Преимущество перед неавтоматизированной работой только за счёт использования шаблонов для подготовки документов. Недостатки: неэффективная работа (поиск, копирование и т.п.) с документами;

2. То же, что и п. 1, до момента хранения. Далее — сканирование документов и формирование pdf- или jpg-файлов, сохраняемых в поименованных и структурированных (по датам, заказам и т.п.) каталогах. Достоинства: сокращение времени на обработку документов. Недостатки: отсутствие взаимосвязей документов, относящихся к одному заказу, и необходимость применения функций операционной системы для поиска необходимых данных;

3. То же, что и п. 2, но с регистрацией идентификационных данных файлов в базе данных. Достоинства: работа в специализированной информационной среде, обеспечивающей удобное формирование и поиск документов с помощью запросов к базе данных, использующих значения реквизитов документа (наименование предприятия-заказчика, сроки выполнения заказа, классификационные признаки изделий и т.п.).

Подготовка документов и хранение значений их реквизитов в БД системы. Наиболее производительный и надёжный вариант работы с документацией. Обеспечивается возможность формирования документа в электронном формате и твёрдой копии (формы документов должны быть типизированы, для подготовки документа каждого типа в автоматизированной системе должны иметься экранные формы). Возможно совмещение этого варианта с предыдущим.

Третья группа документов (конструкторская документация в файлах в формате используемой графической системы и, при необходимости, на бумажных носителях) может быть связана с комплектом текстовых документов по заказу средствами базы данных с помощью ссылок на каталоги, где сохраняются комплекты КД по заказам; тем самым может быть достигнуто сокращение затрат времени на поиск необходимых конструкторских документов (при поиске прототипа, при необходимости внесения изменений и т.п.).

Рассмотрим варианты реляционных моделей данных для указанных групп документов по заказу.

В составе общих идентификационных данных заказа необходимо учесть возможное участие в выполнении работ по заказу предприятий-соисполнителей, для этого разработаны два варианта модели общих данных:

1. С отдельным учётом заказчиков и соисполнителей.
2. С общим учётом заказчиков и соисполнителей (с использованием одной сущности – «Контрагенты») и указанием ролей сторонних организаций.

Для представления в БД АИС общих идентификационных данных заказа разработана реляционная модель, включающая следующие сущности:

- «Bank» – банки, в которых открыты банковские счета предприятий для взаиморасчетов по заказам);
- «Company» – предприятия-заказчики;
- «Predpr» – предприятие-исполнитель заказов;
- «Order» – заказ на изготовление изделий;
- «Chief» – сотрудники предприятия-исполнителя, которые могут быть назначены руководителями работ по выполнению;
- «OrderChief» – сотрудник – руководитель работ по заказу;
- «Place» – местонахождение объекта, где должно размещаться изделие, которое будет изготовлено по какому-либо заказу;
- «OrderPlace» – местонахождение объекта по конкретному заказу;
- «EventDate» – даты событий, учитываемых для заказа (рисунок 3).

Между этими сущностями в рассматриваемой предметной области имеются отношения «многие ко многим» (M:N): заказы – сотрудники; заказы – местонахождения объектов.

Для реализации указанных пар отношений M:N путём перехода к отношениям «один ко многим» использованы «промежуточные» сущности:

- «OrderChief» (сотрудник - руководитель работ по заказу);
- «OrderPlace» (местонахождение объекта по конкретному заказу);

Отношения «один ко многим» (1:N) имеются между сущностями: заказы – даты событий; предприятие-исполнитель – заказы; предприятия-заказчики – заказы; банки – предприятие-исполнитель; банки – предприятия-заказчики (рисунок 1). Если заказчиков и соисполнителей учитывать отдельно, между заказами и предприятиями-соисполнителями существует отношение «многие ко многим» (M:N), следовательно, для перехода к третьей нормальной форме [4] следует использовать дополнительную промежуточную сущность, представляющую связь предприятий-соисполнителей с конкретными заказами. Для этого в модель данных включены сущности для представления предприятий-соисполнителей: «KontrAgent» и «KA_Order» («Контрагенты по заказу»), выделенные цветом на рисунке 3.

Достоинство данной модели – простота сопровождения данных по заказам при наличии соисполнителей, т.к. не требуется дополнительная фильтрация данных при выборе соисполнителей; недостаток – возможное дублирование данных в случае, если одни и те же предприятия могут выступать в роли заказчиков и соисполнителей.

Второй вариант модели общих идентификационных данных заказа (с общим учётом заказчиков и соисполнителей и указанием ролей сторонних организаций) основан на включении в реляционную модель сущности «Роли контрагентов» (сторонних предприятий). Если одни и те же предприятия могут

выступать в роли заказчиков и соисполнителей, то между сущностями «Контрагенты» и «Роли контрагентов» имеется отношение «многие ко многим».

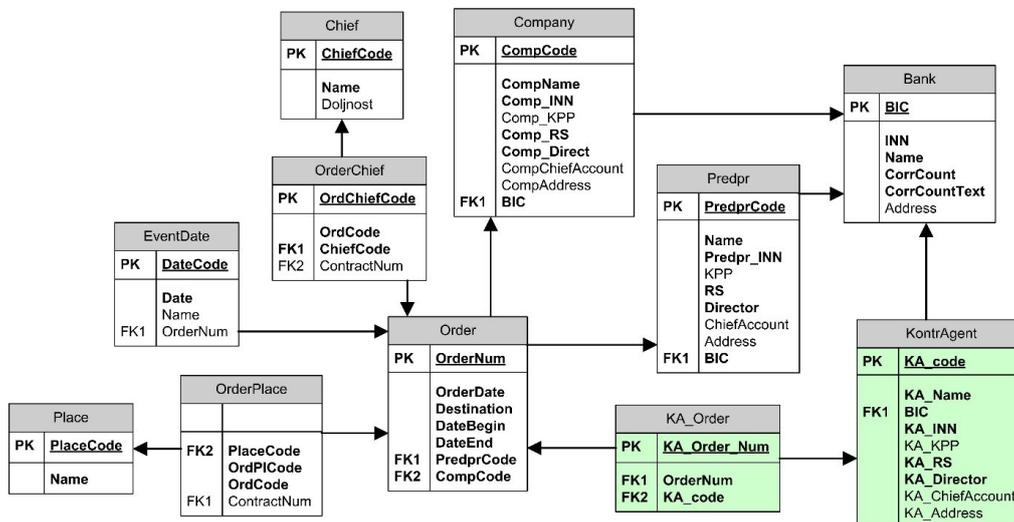


Рисунок 3 – Модель общих идентификационных данных заказа с разделным учетом заказчиков и соисполнителей

Для реализации этого отношения в модель включается сущность «Роль контрагента по заказу» (KA_Role_Order), которая находится в отношениях N:1 с сущностями «KontrAgent» и «KA_Role», а также с таблицей «Order» («Заказы»), рисунок 4. Этот вариант модели общих идентификационных данных по заказу устраняет недостаток предыдущей модели (дублирование данных в случае, если одни и те же предприятия могут выступать в роли заказчиков и соисполнителей), рисунок 4.

Выполнение работ по заказу предусматривает оформление значительно-го количества текстовых документов различного типа, которые могут быть классифицированы по различным признакам:

- по стадиям и этапам выполнения работ (по временным интервалам);
- по направлению работ (организационно-распорядительная деятельность, решение финансово-экономических вопросов, подготовка технологической документации, материально-техническое обеспечение производства, производство изделий, испытания изделий);
- по назначению (приказы и распоряжения, планы-графики, договоры, ведомости и другие).

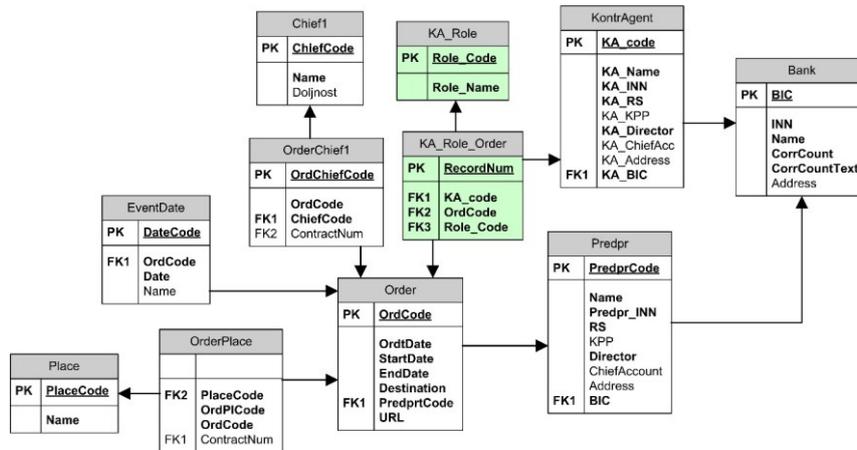


Рисунок 4 – Модель общих данных с учетом ролей сторонних организаций (заказчик и соисполнители)

При этом можно использовать систему произвольных классификаторов для документов (названия классификационных признаков пользователи могут задавать, например, на основе стандартов предприятия) или зафиксировать для классификации документов основные направления работ и использовать такую «жесткую» классификацию.

Для использования трёх видов классификаторов для текстовых документов разработана реляционная модель (рисунок 5), в которой идентификационные данные каждого текстового документа включают три классификационных признака:

- отношение к стадии работ (сущность «Work_Stage»);
- принадлежность к работам определённого направления или назначения (сущность «Vid_Rabot»);
- тип документа по назначению (сущность «DocType»).

Такая модель позволит пользователю составлять наборы названий признаков в соответствии с принятыми нормативными документами; в общем случае названия классификационных признаков могут быть произвольными.

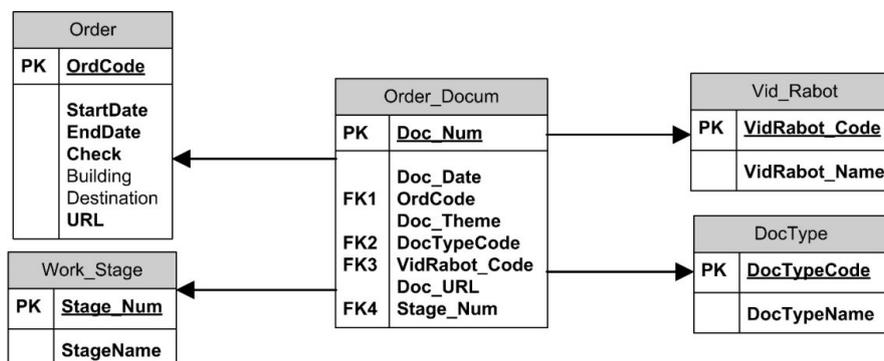


Рисунок 5 – Модель для представления текстовых документов с использованием трёх классификаторов с произвольными наименованиями признаков

Состав данных о конструкторской документации на изделия, которые изготавливаются по заказу, предусматривает, что по одному заказу может быть изготовлено несколько изделий, отдельных сборочных единиц и отдельных деталей. Реляционная модель для представления указанных данных должна включать следующие сущности: Order (заказы), Product (изделия), Unit (сборочная единица), Detail (деталь); три последние сущности должны иметь атрибуты со ссылкой на размещение соответствующих файлов КД на сервере АИС. Между этими сущностями в рассматриваемой предметной области имеются отношения «многие ко многим» (M:N): заказы – изделия, заказы – сборочные единицы, заказы – детали, изделия – сборочные единицы, изделия – детали, сборочные единицы – детали. Для реализации указанных пар отношений M:N путём перехода к отношениям «один ко многим» использованы сущности: Order_Prod (состав изделий по заказу), UnitContent (состав деталей сборочной единицы), ProdUnit (состав сборочных единиц изделия), Prod_detail (состав деталей изделия вне сборочных единиц), OrderDetail (состав деталей для комплекта поставки вне сборочных единиц и вне изделия), Order_Unit (состав сборочных единиц для комплекта поставки вне изделия), рисунок 6.

Если необходимо использовать ссылку изделий на каталог продукции предприятия, то должна быть добавлена модель, представляющая трёхуровневый каталог (рисунок 7); при этом должно быть установлено отношение 1:N между сущностью «КаталогУровень_3» и сущностью «Prod» (продукция).

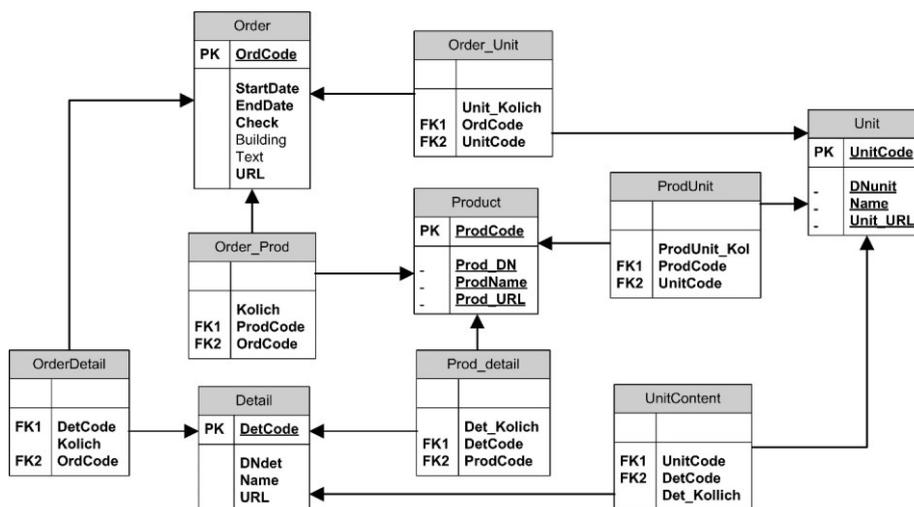


Рисунок 6 – Модель для представления сведений о конструкторских документах с учетом различных вариантов комплекта поставки изделий по заказу



Рисунок 7 – Реляционная модель классификатора изделий

Разработанные модели данных обеспечивают вариативность для генерации БД АИС указанного назначения с учетом требований заказчика АИС, предъявляемых к пользовательским интерфейсам и функциям программного обеспечения. Применение подобных БД позволит сократить трудоемкость работ по формированию конструкторско-технологической и организационно-экономической документации при исполнении заказов на изготовление механических изделий в среднем на 10 – 20% в зависимости от сложности проектов.

Список литературы

1. САПР CAD \ CAM \ CAE [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rucadcam.ru/> (дата обращения 01.03.16). – Загл. с экрана.
2. Лоцман-PLM [Электронный ресурс]. – Компания АСКОН [сайт], М., 1989–2016. – Режим доступа: <http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=167&prpid=889>, свободный (дата обращения 28.02.16). – Загл. с экрана.
3. Информационные технологии в управлении предприятием НОУ ИНТУИТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/4115/1230/lecture/>. – Загл. с экрана.
4. Шигина Н.А. Разработка базы данных: Учебное пособие. – Пенза, изд-во ПГТА, 2005. – 104 с.

УДК 621.398;681.5; 658.562

ББК 32

СЕТЬ РАДИОМАЯКОВ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРОМ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ИГР

© **Е.К. Таранцев**, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)

© **С.В. Тумасов**, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)

THE NETWORK OF RADIO BEACONS WITH SPREAD SPECTRUM FOR EXTREME GAMES

© **E.K. Tarantsev**, Penza State University (Penza, Russia)

© **S.V. Tumasov**, Penza State University (Penza, Russia)

Статья посвящена планированию радиосети маяков с заданной площадью покрытия в лесной местности. Для увеличения дальности связи при ограниченной мощности передатчиков применяется технология расширения спектра с использованием шумоподобных сигналов (ШПС).

Ключевые слова: радиосеть, ШПС.

The article investigates the planning of radio beacons network for a given coverage area in the forest. To increase coverage range in the case of limited transmitter power the direct sequence spread spectrum (DSSS) technology is used.

Key words: radio network, DSSS, spread spectrum.

E-mail: taranzev@yandex.ru

Экстремальные игры на природе всегда привлекали активных и жизнерадостных людей. Такие игры сводятся к выполнению заданий и поиску контрольных точек на местности со сложным рельефом. Факт нахождения точки

обычно закрепляется фотографией либо нахождением тайника или кодового слова. Эволюция экстремальных игр шла от «казаков-разбойников» к спортивной радиопеленгации («охота на лис») и привела в начале двухтысячных к городским экстремальным играм Epcounter, Orange Race и др. Игры постоянно развиваются и впитывают в себя самые современные технологии.

Развертывание сети радиомаяков позволит вести мониторинг игры в реальном времени в сети Интернет, учитывать статистику об эффективности прохождения маршрутов командами. Для этого каждой команде должен выдаваться уникальный электронный ключ, который при контакте с маяком передает номер команды на сервер. Технически задача сводится к получению информации о времени, координатах и ID игрока маяком, достоверной передаче информации через радиосеть серверу, обработке данных на сервере и отображении состояния игрового процесса в виде веб-страницы (рисунок 1).

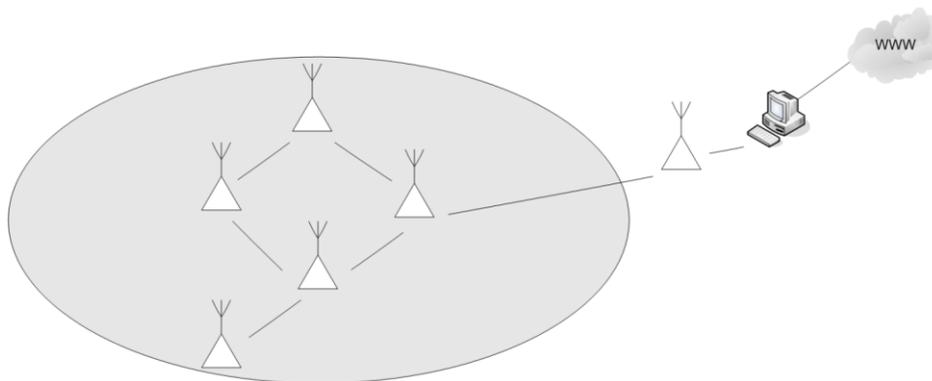


Рисунок 1– Структура игровой сети

К радиосети маяков предъявляются следующие требования:

- площадь покрытия до 20x20 км со сложным рельефом и лесом;
- время жизни сети — до 48 часов;
- высокая скорость развертывания сети;
- низкая стоимость радиомаяка.

Сеть радиомаяков может быть реализована с использованием встраиваемых модулей сотовой связи. Это даст возможность размещать маяки независимо друг от друга на любых расстояниях. Недостатками данного решения являются слабое покрытие сотовой связи в лесных массивах, необходимость приобретения большого количества sim-карт, а также постоянные расходы на трафик.

В работе предлагается развертывание сети радиомаяков на базе радиомодулей, работающих в нелицензируемых диапазонах электромагнитной волн. Этот вариант не требует материальных затрат на поддержание работы сети. Дальность связи в радиосети зависит от множества факторов: топология сети, диапазона работы, мощности передатчиков, чувствительности приемников, шумовой обстановки в эфире, характеристик трассы распространения волн и других факторов. Проведем ориентировочный расчет минимального числа маяков для перекрытия зоны 20x20 км.

Определим топологию беспроводной сети. Наиболее простой в реализации является топология сети типа “звезда”. Однако, такая топология ограничивает размеры игрового поля дальностью связи маяк-сервер. Кроме того, весьма вероятно попадание маяка в зону радиотени от сервера при развертывании сети на сложном рельефе. Учитывая сказанное выше, логично строить сеть по ячеистой топологии (mesh-сеть). Такая сеть отличается высокой отказоустойчивостью. В mesh-сети узлы соединены по принципу “каждый с каждым”, данные ретранслируются от соседних узлов к удаленным участникам. При добавлении нового узла к сети требуется, чтобы хотя бы один из соседних узлов был доступен. Маршрутизация в сети осуществляется автоматически, потому что каждый узел при подключении к сети автоматически узнает свою роль. Если какой-то узел выходит из строя, маршрут между узлами автоматически перестраивается. Таким образом, размеры игрового поля ограничиваются лишь числом узлов сети.

Выберем частотный диапазон из числа нелицензируемых диапазонов (Таблица 1).

Таблица 1– Распространенные диапазоны радиоволн

Диапазон	Частота	Ширина полосы частот	Максимальная мощность
LPD433	433 МГц	1,675 МГц	0,01 Вт
PMR446	446 МГц	0,1 МГц	0,5 Вт
868(UHF)	868 МГц	0,5 МГц	0,025 Вт
2400(S)	2400 МГц	83,5 МГц	0,1 Вт

Выходную мощность TX_power установим в соответствии с таблицей 1, где представлены максимально допустимые решениями ГКРЧ мощности передатчиков для нелицензируемых диапазонов. Определим выходную мощность передатчика TX_power равной 10 мВт (10 дБм) в соответствии с разрешенной мощностью для LPD433.

За ширину полосы канала BW возьмем 25 кГц (аналогично с LPD433).

Чувствительность приемника RX_sensitivity рассчитаем по формуле [1]:

$$RX_sensitivity [дБ] = -174 + 10\log_{10}(BW) + NF + SNR, (1)$$

где BW — ширина полосы сигнала (Гц), NF — коэффициент шума приемника (дБ), SNR — отношение сигнал-шум на входе демодулятора приемника для обеспечения требуемой вероятности безошибочного приема.

За коэффициент шума приемника возьмем значение коэффициента шума входного LNA усилителя за вычетом ослабления полосового фильтра, получим NF = 5 дБ. За минимальное соотношение SNR на входе приемника возьмем значение 10 дБ, соответствующее вероятности битовых ошибок 10^{-3} при некогерентном приеме ASK модуляции. Таким образом, получим чувствительность приемника: $RX_sensitivity [дБ] = -174 + 44 + 5 + 10 = -115$ дБ.

Для оценки бюджета радиолинии воспользуемся формулой:

$$Link_margin [дБ] = TX_power - RX_sensitivity + ANT_gain - Sum_loss [2],$$

где: TX_power – выходная мощность, дБм; RX_sensitivity – чувствительность приемника, дБм; ANT_gain – совокупный коэффициент усиления приемной и передающей антенны, дБи; Sum_loss — затухание сигнала на радиотрассе, дБ.

Суммарный коэффициент усиления антенны ANT_gain возьмем равным 6 дБ, что соответствует двум четвертьволновым вибраторам (штыревым

антеннам). Таким образом, получаем бюджет радиотрассы Link_margin трассы без учета затухания сигнала на радиотрассе равным: Link_margin [дБ] = 10 дБм + 115 дБ + 6 дБ = 131 дБ. Оставим запас по мощности на замирания равным 31 дБ, получим бюджет трассы 100 дБ.

Определим максимальную длину трассы для такого бюджета. Зависимость ослабления сигнала от длины волны в свободном пространстве определяется формулой Фрииса:

$$\text{Path_loss [дБ]} = 20\log_{10}(4 \times \pi \times d / \lambda), \quad (3)$$

где: d – расстояние между передатчиком и приемником радиосигнала, м;
 λ – длина волны, м.

Так как сеть будет разворачиваться в лесу, то передаваемый сигнал, будет дополнительно ослабляться за счет растительности. Исследованию вопроса распространения радиоволн в лесу посвящено большое число работ. Эффекты многолучевого распространения, поглощения излучения растительностью, изменения поляризации приводят к значительно большему ослаблению и искажению передаваемого сигнала по сравнению с открытым пространством. Рекомендации по расчету ослабления радиосигнала растительностью даны в [2]. Теоретически дополнительное ослабление растительностью определяется следующей формулой:

$$A_{ev} [\text{дБ}] = [1 - \exp(-d \times \gamma / A_m)], \quad (4)$$

где: d – длина участка трассы, проходящей по лесу, м; γ – погонное ослабление для очень коротких трасс, проходящих через растительный массив, дБ/м; A_m – максимальное ослабление для одного приемопередатчика при определенном типе и дальности распространения в растительности, дБ.

Максимальное ослабление определяется формулой:

$$A_{ev} [\text{дБ}] = A_1 f^\alpha, \quad (5)$$

где f – рассматриваемая частота.

В соответствии с рекомендациями международного союза электросвязи по расчету ослабления сигналов растительностью используются следующие значения $A_1 = 1,37$ дБ; $\alpha = 0,42$.

Суммарное ослабление сигнала при распространении в лесистой местности определяется следующей формулой:

$$\text{Sum_loss [дБ]} = \text{Path_loss} + A_{ev}. \quad (6)$$

Ниже представлен график зависимости затухания сигнала от расстояния между передатчиком и приемником в смешанном лесу. График для диапазона 446 МГц дублирует график для 433 МГц, поэтому не приводится.

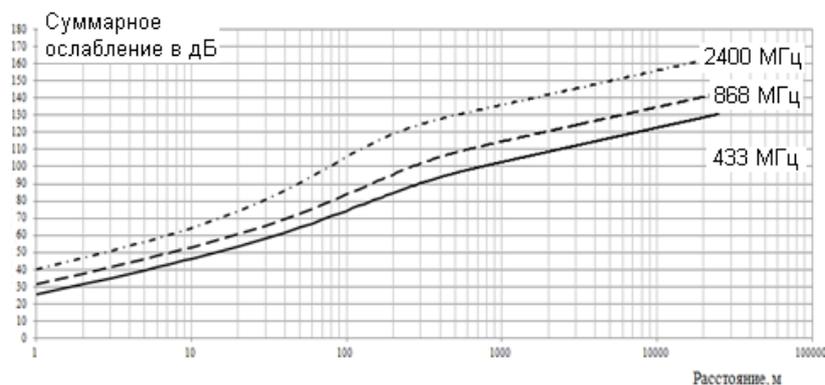


Рисунок 2 – Суммарное ослабление сигнала в лесу

Исходя из чувствительности приемника – 115 дБм и выходной мощности передатчика 10 дБм по рисунку 1 следует максимальная дальность связи в лесу: 700 метров для диапазона 433 МГц, 250 метров для диапазона 868 МГц, и 60 метров для диапазона 2,4 ГГц. Учитывая характер местности, правила использования диапазонов, радиосеть маяков должна работать в диапазоне LPD433.

Рассчитаем число станций, необходимых для перекрытия территории 20x20 км. $N = (20 / 0,7)^2 = 816$ станций.

Одним из возможных путей увеличения дальности связи между маяками при ограниченной выходной мощности является прямое расширение спектра сигналов псевдослучайной последовательностью, которые получили название – шумоподобные сигналы (ШПС). Использование ШПС позволяет увеличить дальность передачи информации при той же выходной мощности за счет расширения полосы и применения корреляционной обработки.

Усиление ШПС рассчитывается по следующей формуле:

$$G, \text{ дБ} = 10 \log_{10}(N_{\text{шпс}}), \quad (7)$$

где $N_{\text{шпс}}$ – размер базы ШПС, символов.

Увеличение базы сигнала в 1000 раз позволит получить усиление при обработке сигнала 30 дБ [3]. При этом скорость передачи сократится в 1000 раз и составит 25 бит/с.

Реализация приемника ШПС сигнала с базой 1000 при отсутствии канала синхронизации является достаточно сложной технической задачей, решаемой обычно на ПЛИС. Но при наличии канала синхронизации коррелятор вырождается в сумматор и может быть реализован на микроконтроллере. В результате чувствительность приемника возрастет на 30 дБ за счет снижения скорости передаваемой информации, что составит 147 дБ.

Исходя из чувствительности приемника 147 дБм и выходной мощности передатчика 10 дБм по рисунку 1 следует максимальная дальность связи в лесу: 23120 м для диапазона 433 МГц, 5810 метров для диапазона 868 МГц, и 500 метров для диапазона 2,4 ГГц.

Формула для суммарного ослабления не учитывает кривизну земной поверхности. Загоризонтная связь в УКВ диапазонах возможна за счет переотражений, но здесь не рассматривается. Поэтому дальность связи с радиомаяками для диапазона 433 МГц будет ограничена расстоянием до радиогоризонта:

$$r = 3,57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (8)$$

где h_1 и h_2 — высоты подвеса антенн приемника и передатчика.

При установке антенн на высоте 1,5 м, максимальное расстояние между маяками составит около 8,7 км. Сделаем поправку на неровности рельефа и сократим расстояние между маяками до 5 км. Тогда число станций, необходимых для перекрытия территории 20x20 км составит: $N = (20 / 5)^2 = 16$ станций.

Таким образом, теоретически показана возможность покрытия участка леса радиосетью маяков с ограниченной выходной мощностью. Для обеспечения необходимой дальности связи между маяками предлагается использовать шумоподобные сигналы в виде псевдослучайной последовательности, которые характеризуются расширением спектра. Для реализации радиоприемника необходимо использовать корреляционную обработку, которая дает существенное увеличение отношения сигнал-шум.

Приведен расчет количества узлов радиосети для игровой сети, построенной на основе шумоподобных сигналов.

Список литературы

1. Пушкарев О. Использование диапазонов 433 и 868 МГц в системах промышленной телеметрии // *Электронные компоненты* №2, 2012. – С. 42–48.
3. Ослабление сигналов растительностью // *Рекомендация МСЭ–R P.833–8* – 2013. – Женева, 2014. – 29 С.
4. Диксон Р.К. Широкополосные системы // Москва: Изд-во «Связь», 1979. – 304 С.
5. Ушенина И.В., Елизаров В.Н., Варнавский В.А. Реализация распределенного цифрового фильтра с настраиваемыми параметрами на микросхемах программируемой логики. // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. №3. С.80.

УДК 621.382
ББК 30

ВОЗМОЖНОСТИ СОХРАНЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОГО АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА МАТРИЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ С ПОВЫШЕНИЕМ КОЛИЧЕСТВА КАНАЛОВ

© **И.В. Ушенина**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© **И.И. Сальников**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

POSSIBILITIES OF KEEPING THE PERFORMANCE FOR A MULTI-CHANNEL ADAPTIVE FILTER WITH MATRIX ARCHITECTURE WHEN INCREASING THE NUMBER OF CHANNELS

© **I.V. Ushenina**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **I.I. Salnikov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье показано, что производительность многоканального адаптивного фильтра с матричной архитектурой, реализованного на ПЛИС, определяется количеством каналов и порядками фильтров в каналах. Приведены некоторые результаты исследования зависимости производительности от указанных параметров. Рассмотрены способы сохранения производительности фильтра, исследована их эффективность применительно к матричной архитектуре.

Ключевые слова: многоканальный адаптивный фильтр, вычислительный блок, временной анализ, топологические ограничения

This paper shows that for FPGA-implemented multi-channel adaptive filter with matrix architecture, the performance is defined by the orders of channels' filters and by the number of channels themselves. Some investigation results of performance dependency on these parameters are given. The paper also discusses the methods of keeping the filter performance high, and researches the effectiveness of these methods for matrix architecture.

Key words: multi-channel adaptive filter, processing block, timing analysis, area constraints

E-mail: iv123@yandex.ru; iis@penzgtu.ru.

Адаптивный фильтр (АФ) с алгоритмом наименьших средних квадратов и предварительной фильтрацией опорного сигнала (filtered-reference least

mean square, FXLMS) является основой контроллеров большинства систем активного подавления акустического шума (АПШ) [1-3]. Для многоканальных систем АПШ, необходимых, например, при подавлении шума в замкнутых пространствах или создания локальных «зон тишины», должен использоваться многоканальный АФ [1-4].

В большинстве случаев для реализации АФ используются сигнальные процессоры [1-3]. Однако для реализации контроллеров многоканальных систем АПШ, содержащих в каждом из каналов фильтры высокого порядка, производительности сигнальных процессоров может оказаться недостаточно. В [5] показано, что альтернативой сигнальным процессорам являются ПЛИС, и предложена реализуемая на ПЛИС архитектура многоканального АФ в виде матрицы вычислительных блоков. Преимущество матричной архитектуры заключается в сбалансированном соотношении объемов параллельных и последовательных вычислений, которое подобрано с учетом особенностей ресурсов ПЛИС.

В упрощенном виде предложенная архитектура представлена на рисунке 1 [6]. На рисунке приняты обозначения: J – число строк матрицы, равное количеству опорных микрофонов системы; K – число столбцов матрицы, равное количеству излучателей компенсирующих шум сигналов; X_j – блоки памяти, хранящие отсчеты опорных сигналов [1-3]; S_k – блоки памяти, хранящие коэффициенты фильтров оценок путей компенсации в каналах [1-3]; B_{kj} – собственно вычислительные блоки, содержащие по две ячейки цифровой обработки сигналов (ЦОС-ячейки) и по два блока памяти; Y_k – компенсирующие сигналы. Отсчеты сигналов ошибки от M опорных микрофонов системы АПШ [1-3] хранятся в общем для всех вычислительных блоков блоке памяти [5], не показанном на рисунке.

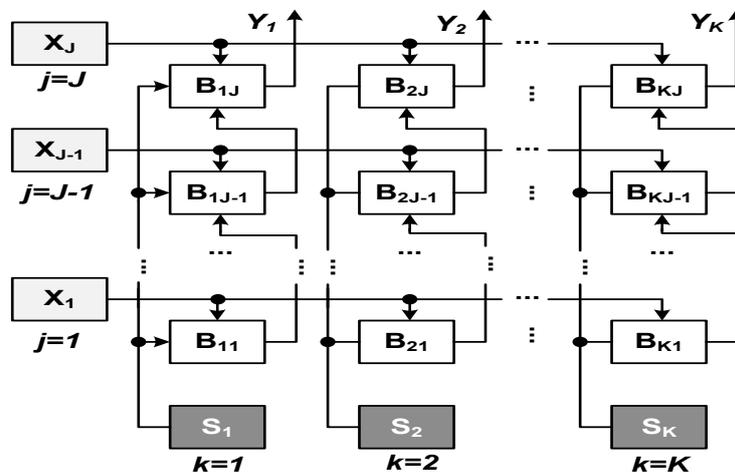


Рисунок 1 – Архитектура многоканального АФ в виде матрицы вычислительных блоков

Недостатком реализации АФ на ПЛИС может оказаться существенное снижение его производительности (максимальной тактовой частоты) с повышением количества каналов и порядков фильтров в каналах (N). Это связано со способом реализации программируемых соединений между логическими ресурсами ПЛИС, а также с возрастанием коэффициентов разветвления по выходу элементов-источников сигналов.

Мерами сохранения производительности устройств, реализуемых на ПЛИС, являются конвейеризация сигналов, т.е. размещение на пути их следования цепочек триггеров, и разветвление, т.е. подача одних и тех же сигналов на несколько триггеров с целью снижения коэффициента разветвления каждого из них. Кроме того, повышения производительности устройства можно добиться за счет удачного размещения на кристалле фрагментов устройства (топологических ограничений проекта).

В настоящей работе выполняется оценка эффективности перечисленных выше мер для сохранения производительности многоканального АФ матричной архитектуры при увеличении количества каналов и/или порядков фильтров в каналах. Достигнутый уровень производительности сравнивается с максимальной тактовой частотой логических ресурсов ПЛИС, использованных для реализации АФ.

Производительность отдельных вычислительных блоков. Вычислительные блоки содержат по два блока памяти, один из которых хранит коэффициенты АФ, а другой – $N+1$ наборов по M значений отсчетов j -го опорного сигнала, отфильтрованного M фильтрами-оценками [5]. Аппаратно блоки памяти реализуются на блочном ОЗУ ПЛИС с размерами блоков 36 кбит. Возрастание N и/или M означает увеличение количества блоков ОЗУ, требуемых для хранения коэффициентов фильтров и результатов фильтрации [5,6], а значит, увеличение размера вычислительных блоков и снижению их производительности. Каждый дополнительный блок памяти резко увеличивает площадь, занимаемую вычислительным блоком (рисунок 2). При этом объем программируемой логики, заключенный на этой площади, значительно превышает потребности вычислительного блока.

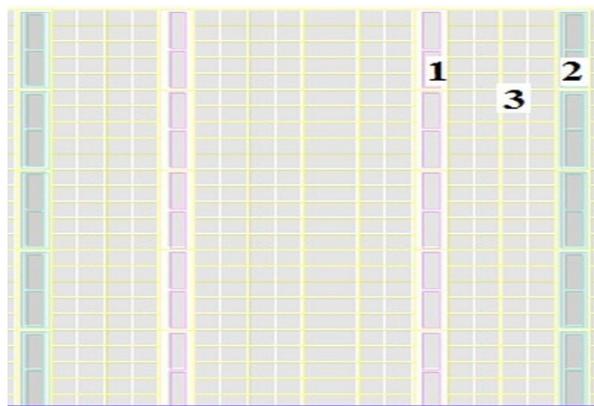


Рисунок 2 – Топология фрагмента кристалла FPGA. 1 – ЦОС-ячейки, 2 – блочная память; 3 – программируемая логика

Максимальная производительность вычислительного блока определяется быстродействием ЦОС-ячеек и блоков памяти. У ПЛИС Xilinx 7 серии [7], на которых создавался проект многоканального АФ, блоки памяти характеризуются меньшим быстродействием, поэтому далее будем ориентироваться на максимальную тактовую частоту этих устройств, которая в нужном режиме работы составляет от 447 МГц [8] до 528 МГц [9].

В [5] показано, что более резкое повышение размеров вычислительных блоков связано с возрастанием M . В таблице 1 приведены результаты временного анализа проекта вычислительного блока при $N=1024$ и варьировании M .

Проект реализован на ПЛИС XC7A200T-3 семейства Artix 7, блоки памяти которых имеют максимальную рабочую частоту 447 МГц. На проект наложены временные ограничения [10], соответствующие этой частоте.

Таблица 1 – Максимальные рабочие частоты вычислительного блока при различных значениях M

M	2	6	12	24	32	64
f_{\max} , МГц	447	447	447	446	400	337

Ситуация с избытком логических ресурсов, заключенных между столбцами блоков памяти, еще усугубляется при размещении столбца вычислительных блоков. Несмотря на автономное выполнение вычислений в каждом блоке, k -й компенсирующий сигнал получается в результате суммирования J его составляющих, рассчитанных блоками k -го столбца (рисунок 1). Суммирование осуществляется ЦОС-ячейками вычислительных блоков, объединенных в цепочку, причем каждая последующая ячейка добавляет к накопленной сумме еще одну составляющую. Для сохранения высокой производительности вычислений ЦОС-ячейки цепочки должны располагаться в столбце на соседних позициях [11]. С использованием топологических ограничений блоки памяти размещаются вокруг ЦОС-ячеек. Таким образом, площадь кристалла ПЛИС приходится распределять не между отдельными вычислительными блоками, а между целыми столбцами блоков (рисунок 3).

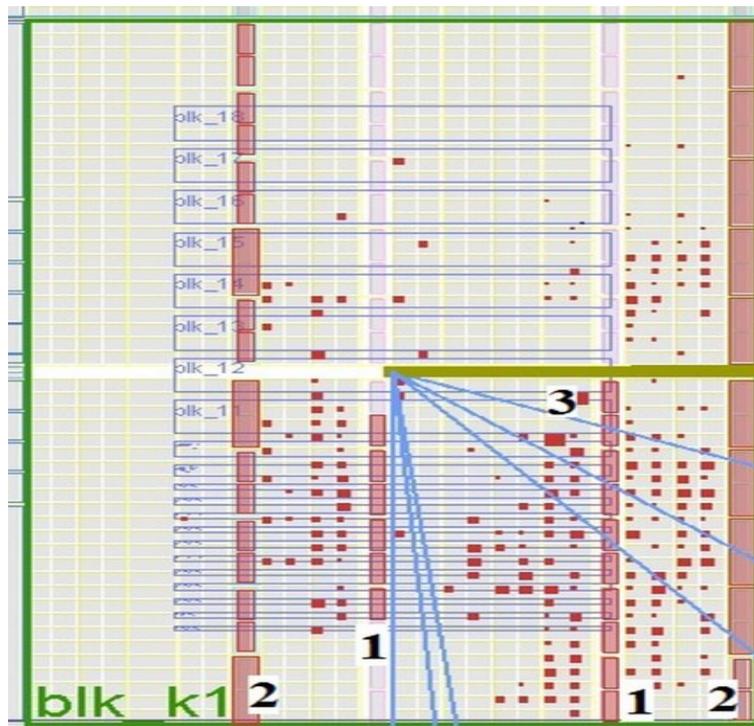


Рисунок 3 – Пример размещения элементов столбца вычислительных блоков при $J = M = 8$; $N = 1024$. 1 – занятые ЦОС-ячейки, 2 – занятые блоки памяти, 3 – занятые элементы конфигурируемых блоков

Из вышеизложенного следует, что с повышением M или N удерживать производительность вычислительных блоков на максимуме становится все сложнее. Поскольку коэффициенты разветвления внутри вычислительных блоков невысокие, для сохранения производительности следует конвейеризировать сигналы, размещая триггеры равномерно вдоль пути их следования. Необходимость этой меры может быть определена по результатам временного анализа проекта, в ходе которого выявляются «критические» цепи.

Производительность архитектуры АФ в целом. Для иллюстрации зависимости производительности многоканального АФ от размерности матрицы вычислительных блоков приведем в таблице 2 результаты временного анализа проекта АФ при различных соотношениях $K \times J$ для $N=1024$ и $M=12$ при реализации на ПЛИС Xilinx 7 серии. Топологические ограничения на проект не накладывались.

Из таблицы ясно, что производительность массива вычислительных блоков с ростом его размеров стремительно падает. Это связано, в первую очередь, с необходимостью доставки к каждому блоку одного и того же набора сигналов, в который входят сигналы управления и адресные сигналы.

Таблица 2 – Зависимость производительности (максимальной тактовой частоты) массива вычислительных блоков от его размерности

	ПЛИС	Размер массива, $K \times J$				
		2x2	4x4	6x6	8x8	10x10
f_{op_max} , МГц	XC7A200T-3	409	324	268	241	220
	XC7K325T-3	528	421	367	317	289
	XC7VX415T-3	504	421	325	303	304

К тому же, каждая строка вычислительных блоков обрабатывает общий входной сигнал (рисунок 1), и все вычислительные блоки обращаются к одному и тому же блоку памяти, содержащему сигналы ошибки. С увеличением количества вычислительных блоков обеспечить их компактное размещение и сохранить высокую производительность становится невозможно.

С учетом архитектуры многоканального АФ предложена структура трассировки сигналов, общих для всех вычислительных блоков, в виде дерева регистров (рисунок 4). От источника (формирователя) сигналы поступают на центральный регистр, от него – на несколько других регистров, и т.д. В итоге к каждому вычислительному блоку поступают сигналы от собственного регистра – одновременно с другими блоками. На рисунке 4 представлено дерево, соответствующее АФ из восьми столбцов. Предложенная трассировочная структура снижает задержки распространения не только за счет конвейеризации и разветвления сигналов, но и за счет появления возможности размещения «ветвей» дерева ближе к «своим» вычислительным блокам – приемникам сигналов.

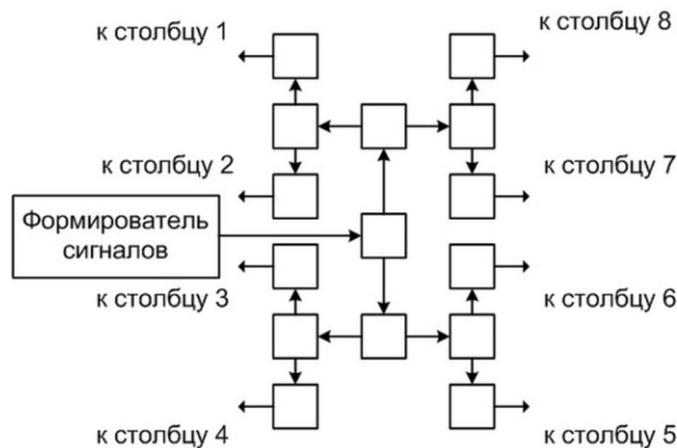


Рисунок 4 – Древоподобная структура трассировки сигналов к вычислительным блокам при $K=8$

Реализация и временной анализ проектов многоканального АФ для различных сочетаний M , K , J и N (до $M = K = J = 8$ и $N = 1024$) показывают, что добавление к проекту дерева регистров для трассировки управляющих сигналов позволяет сохранить производительность АФ на максимальном для данной ПЛИС уровне. Так, например, реализация на ПЛИС XC7K325T-3 многоканального АФ с параметрами $M = K = J = 8$, $N = 1024$ без принятия мер сохранения производительности обеспечивает максимальную тактовую частоту 342 МГц. Добавление дерева регистров поднимает тактовую частоту до 528 МГц, что соответствует временным характеристикам блоков памяти ПЛИС.

Дальнейшее повышение значений параметров АФ приводит к снижению его производительности даже при принятии вышеперечисленных мер. Это связано с увеличением расстояний между элементами как внутри блоков, так и между ними. Тем не менее, производительность АФ при принятии данных мер значительно выше, чем при их отсутствии. Например, для проекта АФ с параметрами $M = 32$; $K = J = 8$, $N = 1024$, реализуемого на ПЛИС XC7K410T-3 при настройках по умолчанию, максимальная тактовая частота составляет 162 МГц; добавление к проекту топологических ограничений на размещение вычислительных блоков и дерева регистров (рисунок 4) поднимает тактовую частоту до 347 МГц.

Более эффективное сохранение производительности в случаях, аналогичных последнему, возможно при конвейеризации сигналов внутри каждого вычислительного блока и вставке дополнительных триггеров в «ветви» дерева регистров (рисунок 4). Количество триггеров, используемых для конвейеризации, очевидно, придется подбирать индивидуально для каждой комбинации M , K , J и N .

Таким образом, увеличение количества каналов АФ и размеров вычислительных блоков приводит к снижению производительности АФ в связи с увеличением задержек распространения сигналов – как между элементами внутри блоков, так и между блоками. Топологические ограничения, накладываемые на размещение столбцов вычислительных блоков многоканального АФ, и добавление к схеме проекта дерева регистров для конвейеризации и разветвления сигналов позволяет значительно улучшить производительность АФ, а в ряде случаев – достигнуть производительности, соответствующей скоростным характеристикам логических элементов ПЛИС.

Список литературы

1. Kuo S.M., Morgan D.R. *Active noise control system algorithms and DSP implementations*. John Wiley & Sons, 1996.
2. Elliott S. *Signal processing for active control*. Academic Press, 2000.
3. Hansen C.H, et al. *Active control of noise and vibration*. – 2nd ed. CRC Press, 2012.
4. D.R. Morgan and D.A. Quinlan, "Local silencing of room acoustic noise using broadband active noise control," *Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, 1993. *Final Program and Paper Summaries.*, 1993 *IEEE Workshop on IEEE*, 1993.
5. Ушенина И.В. Способы реализации на ПЛИС многоканальных адаптивных КИХ-фильтров для систем активного подавления акустического шума // *Цифровая обработка сигналов*. – 2015. – № 4. – с.49-54.
6. Ушенина И.В. Оптимизация топологии матричной структуры многоканального адаптивного фильтра, реализуемого на микросхемах программируемой логики // *Научная дискуссия: вопросы технических наук. сб. ст. по материалам XLII междунар. науч.-практ. конф.* – 2016. – № 1(31). – с.65-71.
7. Xilinx documentation. 7 Series FPGAs Overview [электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds180_7Series_Overview.pdf (дата обращения 10.04.2016)
8. Artix-7 FPGAs Data Sheet: DC and AC Switching Characteristics, http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds181_Artix_7_Data_Sheet.pdf
9. Kintex-7 FPGAs Data Sheet: DC and AC Switching Characteristics, http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds182_Kintex_7_Data_Sheet.pdf
10. Ушенина И.В. Использование временных ограничений PERIOD и OFFSET при проектировании цифровых устройств на ПЛИС фирмы Xilinx // *Компоненты и технологии*. – 2013. - №5(142). – с. 97-106.
11. 7 series DSP48E1 Slice User Guide, http://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug479_7Series_DSP48E1.pdf

АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 004.771

ББК 30

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПРИ УДАЛЕННОМ ПОДКЛЮЧЕНИИ ПО СЕТИ ИНТЕРНЕТ К РАБОЧЕМУ СТОЛУ ВИРТУАЛЬНОЙ МАШИНЫ ЧАСТНОГО ОБЛАКА ПЕНЗГТУ¹

© А.А. Воронцов, Пензенский государственный технологический университет
(Пенза, Россия)

RESEARCH OF CHANGE OF SPEED AT REMOTE CONNECTION ON THE INTERNET TO THE DESKTOP OF THE VIRTUAL COMPUTER OF THE PRIVATE CLOUD TO PENZGTU

© А.А. Vorontsov, Penza State Technological University (Penza Russia)

Целью работы является проведение исследований изменения быстродействия при удаленном подключении по сети интернет к рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ. Выполнен анализ изменения быстродействия оперативной памяти и процессора трех компьютеров с качественно различными конфигурациями устройств. На основании исследований в заключении делаются соответствующие выводы и рекомендации о возможности использования облачных технологий на устройствах пользователей.

Ключевые слова: удаленный рабочий стол, виртуальная машина, исследование быстродействия, облачные технологии, частное облако, частное облако ПензГТУ, исследования кафедры ВМиС.

The work purpose is to research the changes of speed when connecting remotely over the Internet to the desktop of the virtual machine private cloud PenzGTU. The analysis of changes in memory and processor speed three computers with qualitatively different configurations of devices. Based on studies in custody draw conclusions and recommendations about the possibility of the use of cloud technology on users' devices.

Key words: remote Desktop, a virtual machine, the performance study, cloud, private cloud, a private cloud PenzGTU, Research Department of VMiS

E-mail: Aleksander.Vorontsov@gmail.com

Облачные технологии – это различные аппаратные и программные средства, которые предоставляются пользователю для реализации своих целей, задач, проектов. Все операции с данными происходят не на компьютере пользователя, а на сервере в сети.

Существует три вида услуг, предоставляемых пользователю или клиенту с помощью облачных технологий:

1. инфраструктура как услуга (IaaS) - предоставление клиенту вычислительных ресурсов по его запросу, на которых клиент имеет возможность запустить и развернуть произвольное программное обеспечение, включающее в себя приложения и операционные системы;

¹ Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания высшим учебным заведениям (проект № 3036).

2. платформа как услуга (PaaS) – предоставление облачной платформы для развертывания программного обеспечения, поддерживаемых облачным провайдером;

3. программное обеспечение как услуга (SaaS) – предоставление в пользование заказчику приложений, развернутых на облачной инфраструктуре провайдера.

Каждая из услуг может быть реализована в сфере образования, последняя из них (SaaS), уже эффективно реализуется в частном облаке Пензенского государственного технологического университета (ПензГТУ) в образовательном процессе. Для реализации этой услуги на сервере создаются виртуальные машины, содержащие программное обеспечение, необходимое студенту в процессе обучения.

Так как облачные технологии позволяют работать на устройствах пользователей с различной конфигурацией, то вопрос, связанный с анализом изменения их быстродействия в процессе и до подключения к “облаку”, является актуальным. Исследованию изменения быстродействия при работе с удаленными рабочими столами виртуальных машин частного облака ПензГТУ на компьютерах с различными конфигурациями устройств посвящена данная статья.

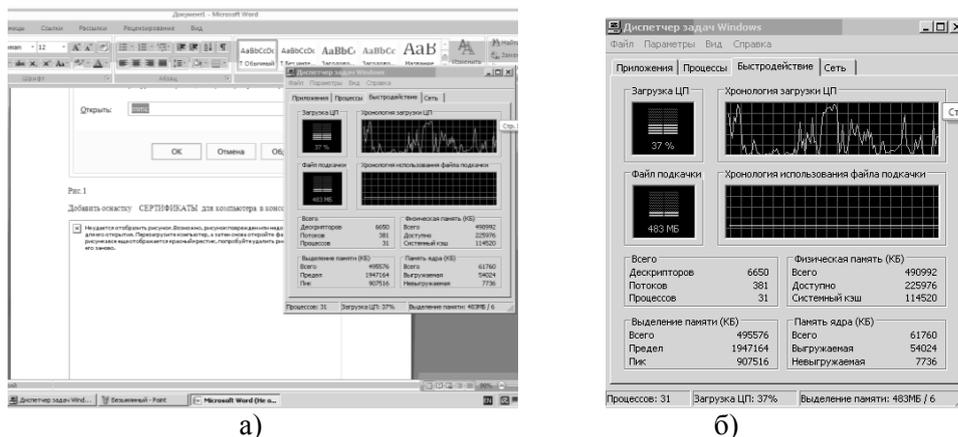


Рисунок 1 – Определение быстродействия компьютера до подключения компьютера к удаленному рабочему столу а) рабочий стол компьютера и б) увеличенное изображение загрузки устройств

Оценка изменения быстродействия компьютера при работе по сети интернет с удаленным рабочим столом виртуальной машины частного облака ПензГТУ выполнялась на трех компьютерах, качественно отличающихся друг от друга по конфигурации.

Первый вычислительный эксперимент выполнялся на относительно “слабом” компьютере под управлением 32 разрядной ОС Windows XP с одноядерным процессором Intel(R) Celeron(R) 2,80 GHz, оперативной памятью DDR емкостью 512 Мб, интегрированной видеокарты содержащей 96,0 Мб видеопамати и жестким диском емкостью 80 Гб (рисунок 1). Работа на компьютере с указанными характеристиками с большинством существующих на сегодняшний день приложений [1-3] крайне утомительна из-за постоянных длительных задержек ответа системы в процессе работы. Так, при одновременной работе с программой Paint и Microsoft Word, в соответствии с рисунками 1а и 1б, загрузка процессора достигала 100% и

составляла в среднем 37%. Для работы с указанными программами было задействовано 483 мегабайта оперативной памяти.

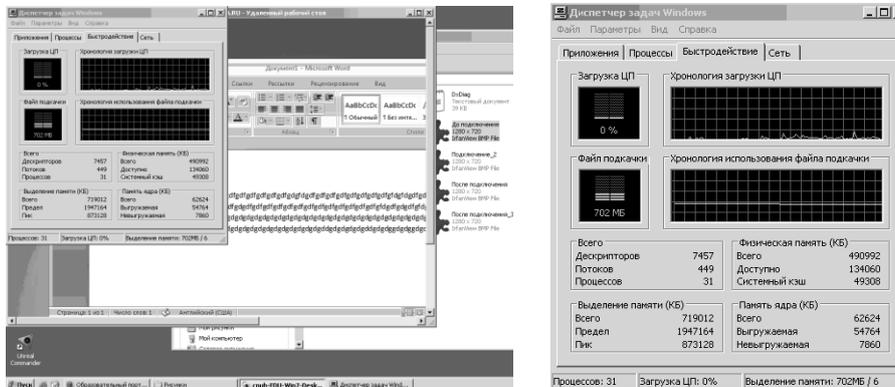


Рисунок 2 – Определение быстродействия компьютера после подключения компьютера к удаленному рабочему столу виртуальной машины Win7 а) удаленный рабочий стол и б) увеличенное изображение загрузки процессора и оперативной памяти

После подключения к удаленному рабочему столу виртуальной машины с названием Win7 (рисунок 2), произошло резкое снижение загрузки процессора, в среднем до 4%, то есть более чем в 9 раз даже при нескольких одновременно запущенных на виртуальной машине программах. Загрузка оперативной памяти с использованием файлов подкачки составила 702 мегабайта, то есть увеличилась примерно на 45%.

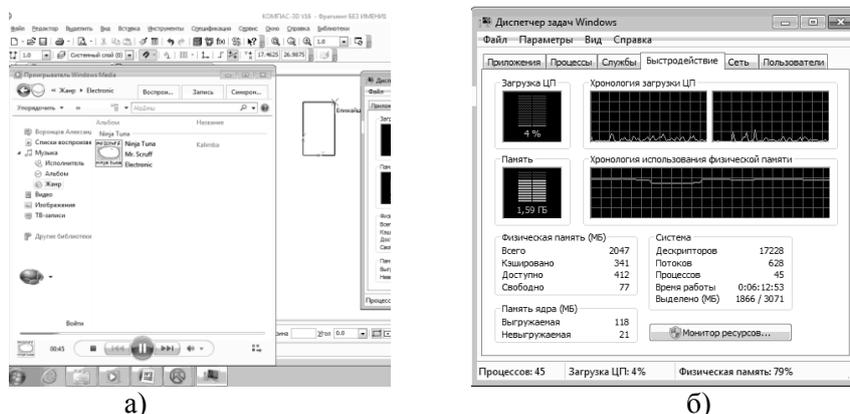


Рисунок 3 – Определение быстродействия после подключения компьютера к удаленному рабочему столу виртуальной Win7 а) удаленный рабочий стол и б) увеличенное изображение загрузки процессора и оперативной памяти виртуальной машины

Увеличение загрузки оперативной памяти связано с увеличением количества обрабатываемых процессов. Для того чтобы объяснить причину резкого снижения загрузки процессора, рассмотрим быстродействие самой виртуальной машины при запуске в ней нескольких программ одновременно.

Так, при одновременном запуске программ Компас-График 3D 16 версии, текстового редактора Word и проигрывателя Windows Media (рисунок 3), загрузка процессора виртуальной машины составила в среднем 2% при загрузке оперативной памяти 1,59 Гб. При этом, загрузка процессора и оперативной памяти компьютера пользователя остались практически неизменными.

Анализ рисунков 2 и 3, позволяет сделать вывод, что все вычисления выполняются на сервере, а по сети интернет передаются лишь результаты вычислений, произведенных на виртуальной машине. Этим и обусловлено резкое снижение загрузки процессора устройства пользователя. Это также означает, что пользователь имеет возможность работать с программным обеспечением, работа которого из-за системных требований не возможна на устройстве пользователя.

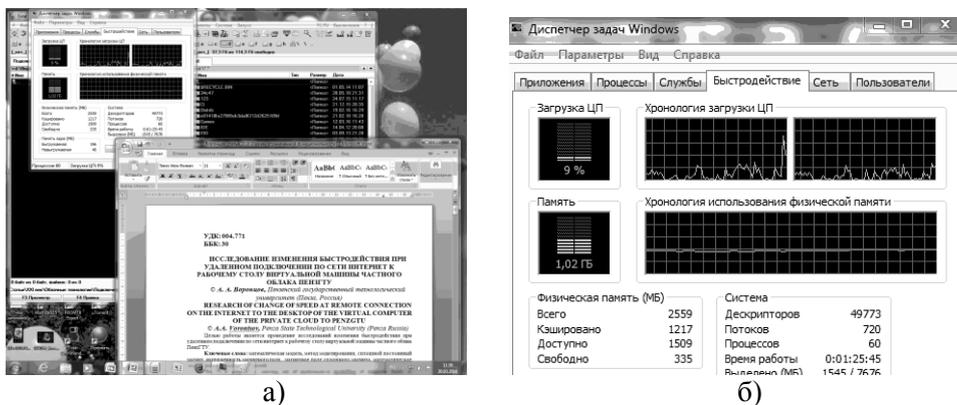


Рисунок 4 – Определение быстродействия до подключения компьютера к удаленному рабочему столу а) рабочий стол компьютера и б) увеличенное изображение загрузки устройств

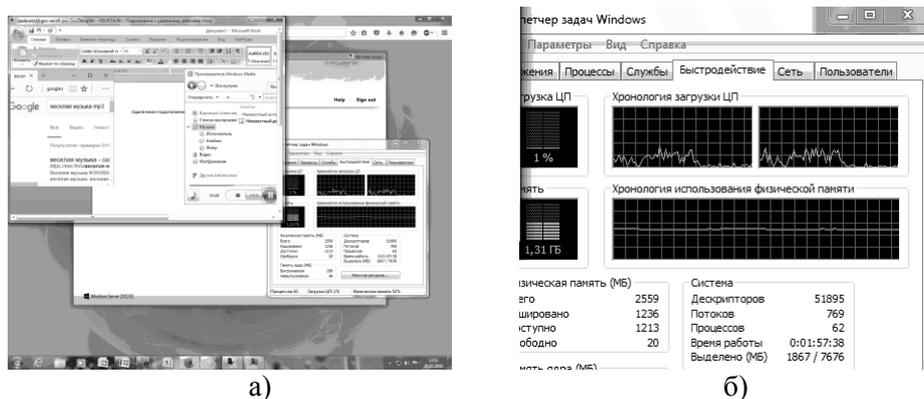


Рисунок 5 – Определение быстродействия компьютера после подключения компьютера к удаленному рабочему столу а) удаленный рабочий стол и б) увеличенное изображение загрузки устройств

Для второго вычислительного эксперимента использовался компьютер под управлением 64 разрядной ОС Windows 7 с двухядерным процессором AMD Athlon(tm) 64 с частотой работы каждого ядра по 2ГГц (3800+), оперативной памятью DDR 2 емкостью 2 Гб, внешней видеокартой 256,0 Мб и жестким диском емкостью 500Гб. Загрузка процессора и оперативной памяти при работе

в 64-разрядной ОС Windows 7 в текстовом редакторе Word 2007 и запущенном файловом менеджере Total Commander v.8.01 составляла в среднем 9% и 1,02 гигабайта соответственно (рисунок 4).

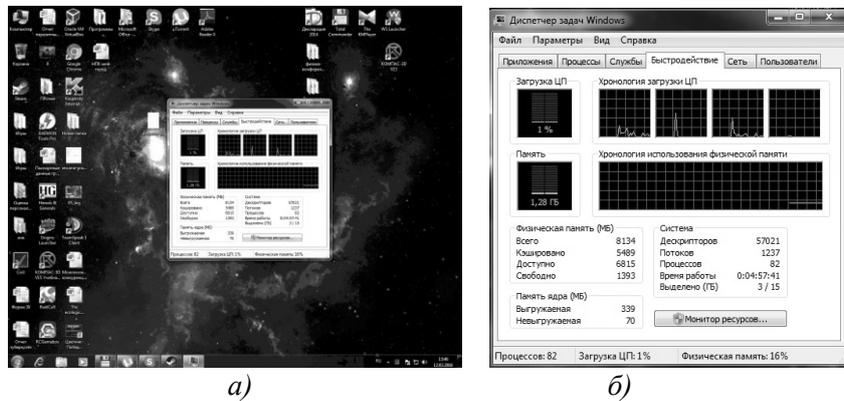


Рисунок 6 – Определение быстродействия до подключения компьютера к удаленному рабочему столу компьютера а) рабочий стол компьютера и б) увеличенное изображение загрузки устройств

После подключения к виртуальной машине и запуска текстового редактора Word 2007 в ней (а не на ПК пользователя), а также браузера и проигрывателя Windows Media (рисунок 5), загрузка процессора резко снизилась в среднем до 1% (в 9 раз), а оперативной памяти увеличилась до 1,31Гб (приблизительно на 30%). То есть полученные в результате второго эксперимента результаты качественно совпадают с результатами первого эксперимента.

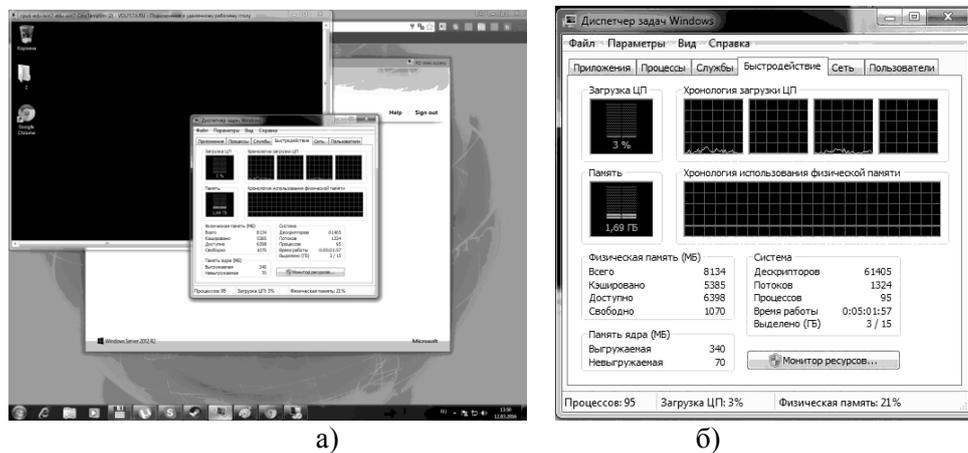


Рисунок 7 – Определение быстродействия после подключения компьютера к удаленному рабочему столу а) удаленный рабочий стол и б) увеличенное изображение загрузки процессора и оперативной памяти

Третий вычислительный эксперимент выполнялся на компьютере, содержащем четырехядерный процессор AMD A8 6600K, с частотой работы каждого ядра по 4,2 ГГц; видеокарту Radeon HD 7750 (3 Гб видеопамати), оперативной памятью DDR3 емкостью 8 Гб фирмы Kingston, с частотой работы 800 МГц и жесткий диск емкостью 5 Тб.

Загрузка процессора и оперативной памяти до подключения к удаленному рабочему столу виртуальной машины частного облака ПензГТУ составляли в среднем 2% и 1,28 Гб соответственно (рисунок 6). После подключения (рисунок 7) загрузка процессора немного снизилась, но в среднем также составила 2%, загрузка оперативной памяти увеличилась до 1,69 Гб, то есть приблизительно на 32%.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы: работа с удаленными рабочими столами виртуальных машин частного облака наиболее эффективна на устройствах старых и устаревающих модификаций с возможностью подключения к сети интернет. Независимо от характеристик устройства пользователя, в процессе работы с частным облаком происходит снижение загрузки процессора и увеличение загрузки оперативной памяти.

Независимо от параметров устройства, с помощью которого производится подключение, облачные технологии позволяют пользователю работать с программным обеспечением, как отсутствующем на устройстве пользователя, так и работа с которым была бы невозможна из-за высоких системных требований.

В заключении необходимо отметить результат про скорость интернет-соединения и израсходованный трафик.

1. Входящая скорость интернет соединения для трех вычислительных экспериментов составляла 9056 Кбит/сек, 2596 Кбит/сек и 9,9 Мбит/сек соответственно, а исходящая – 10519 Кбит/сек, 3254 Кбит/сек и 2,81 Мбит/сек соответственно.

2. За время работы с виртуальными машинами (около 1 часа работы) было израсходовано приблизительно 50 Мегабайт интернет-трафика.

Список литературы

1. Бершадская Е.Г. Анализ технологий поддержки научных исследований. [Текст] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2015. № 3 (25). С. 11-17.

2. Сальников И.И. Размерная селекция бинарных изображений локальных объектов при анализе аэрофотоснимков. [Текст]// Телекоммуникации. – М.: Наука и технологии. 2015. № 2. С. 17-23.

3. Мартышкин А.И. Комплекс программ для определения характеристик диспетчеров задач многопроцессорных систем с использованием приоритетных стохастических сетей массового обслуживания [Текст] / Р.А. Бикташев, А.И. Мартышкин, Н.Г. Востоков// Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 13.

УДК 519.872.2, 519.872.5
ББК 22.171

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТЕВЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
УПРАВЛЕНИЯ ОДИНОЧНЫМИ КРИТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ
В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ**

© *А.И. Мартышкин, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*

© *Е.А. Карасева, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*

**RESEARCH NETWORK MATHEMATICAL MODELS OF MANAGEMENT
OF SINGLE CRITICAL RESOURCES IN MULTIPROCESSOR SYSTEMS**

© *A.I. Martyskin, Penza State Technological University (Penza Russia)*

© *E.A. Karaseva, State Technological University (Penza Russia)*

Работа посвящена исследованию методов управления доступом множества процессов, выполняющихся на множестве процессоров, к одному общему ресурсу в многопроцессорной системе. Предлагаются модели управления одиночными критическими ресурсами (семафорами и мониторами) в многопроцессорных системах. Результатами исследования являются выражения для определения оптимального метода доступа к данным в многопроцессорных системах. В конце работы сделаны выводы.

Ключевые слова: математическое моделирование, общий ресурс, критическая секция, семафор, монитор, многопроцессорная система.

The work deals with the access control methods for multiple processes running on multiple processors to a single shared resource in a multiprocessor system. We offer single critical resource management model (semaphores and monitors) in multiprocessor systems. The results of the study are to determine the expression of the optimal method of accessing data in multiprocessor systems. At the end of the work, conclusions are made.

Key words: mathematical modeling, common resource, a critical section, semaphore, monitor, multiprocessor system.

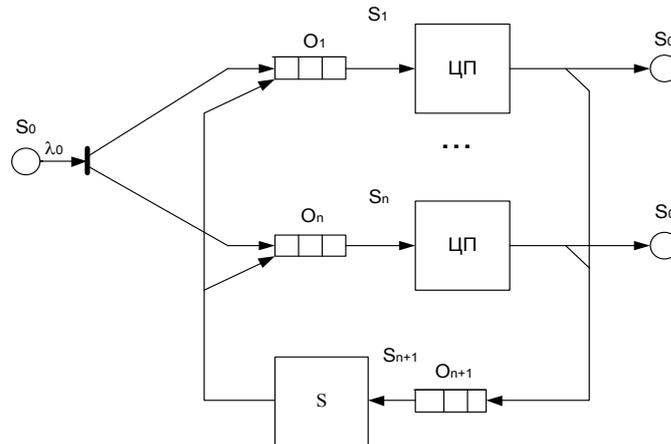
E-mail: Alexey314@yandex.ru

Потребность в высокопроизводительных средствах обработки информации привела к созданию многопроцессорных систем (МПС) с массовым параллелизмом. Все ресурсы таких вычислительных систем (ВС) являются разделяемыми. Огромные возможности МПС могут быть использованы и раскрыты только при применении эффективных методов и средств организации процессов решения задач. При проектировании новых МПС необходимо определить эффективность вариантов реализации. Одним из основных критериев эффективности является производительность. Наименее затратный путь для оценки эффективности ВС – провести моделирование. Исследованию и оценке производительности МПС посвящены работы [1,2,3].

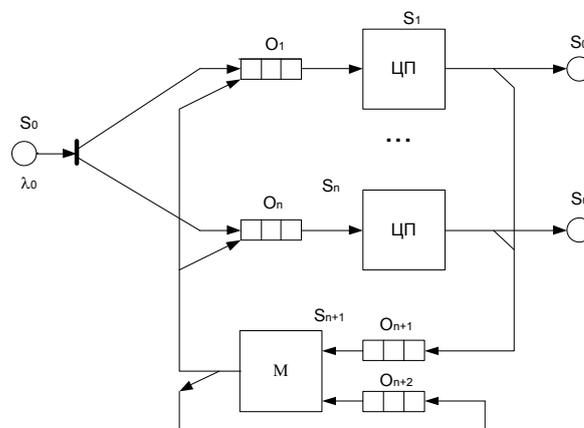
Необходимость применения методов аналитического моделирования ВС объясняется существованием задержек вычислительного процесса из-за ограниченности ресурсов. Более всего этому явлению подвержены МПС, где ресурсы разделяются не только между устройствами, как в однопроцессорных ВС, но и между несколькими процессорами (ЦП), претендующими на доступ к ним. Аналитические модели, основанные на сетях массового обслуживания, предназначены для исследования вероятностно-временных характеристик ВС [4]. При использовании этого математического аппарата часто удается быстро получить

аналитические модели для решения достаточно широкого круга задач исследования МПС.

Для оценки потерь производительности из-за конфликтов за доступ к общему ресурсу рассмотрены две модели: с механизмом доступа на основе семафора (рисунок 1) и с механизмом доступа на основе монитора (рисунок 2).



*Рисунок 1 – Схема модели n-процессорной системы на основе доступа к одиночному общему ресурсу посредством механизма семафора
Здесь: ЦП_n – n процессоров; S – семафор (ОР)*



*Рисунок 2 – Схема модели n-процессорной системы на основе доступа к одиночному общему ресурсу посредством механизма монитора
Здесь: ЦП_n – n процессоров; M – монитор (ОР), O_{n+2} – очередь заблокированных процессов*

Модели представлены в виде разомкнутой сети массового обслуживания (РСМО), состоящей из n (S_1, \dots, S_n) одноканальных систем массового обслуживания (СМО), моделирующих ЦП, и одноканальной СМО (S_{n+1}), моделирующей механизм доступа к ОР [5, 6]. Причем СМО S_0 выступает в качестве источника задач (процессов), которые могут формироваться, например, терминалами пользователей. СМО S_0 выступает также в качестве поглотителя обслуженных сетью задач. Для удобства в статье будем считать, что время выполнения запроса v_i в каждом ЦП распределено по экспоненциальному закону.

Это распределение позволит получить результаты заведомо хуже реальных значений, что в свою очередь позволит сделать оценку полученных результатов сверху.

Определение исходных данных для моделирования. Одним из наиболее сложных моментов в моделировании является определение исходных данных, которые формируются на основе архитектурных особенностей, где временные характеристики различны.

Для работы исходные данные формировались следующим образом:

- на основе теоретических данных [7];
- на основе данных, полученных в результате использования программ, производящих измерение времени переключения контекста и скорости работы семафоров.

Таким образом, получено, что время доступа к семафору в пользовательском пространстве составляет 50 мкс.

Время обслуживания в ЦП взято из расчета: от значения, соизмеримого с минимальным временем доступа к семафору, до числа много большего максимального времени доступа к ресурсу. В числовом значении получаем: от 50 мкс до 600 мкс.

Анализ влияния числа ЦП на производительность МПС.

Исходные данные: число процессорных узлов в СМО $K = 2 \dots 12$; время обслуживания задачи одним ЦП $\nu = 600$ мкс; время обслуживания заявок ОР $\nu = 150$ мкс. Интенсивность потока запросов при моделировании менялась следующим образом $0,0000005 \% * (\text{число ЦП})$.

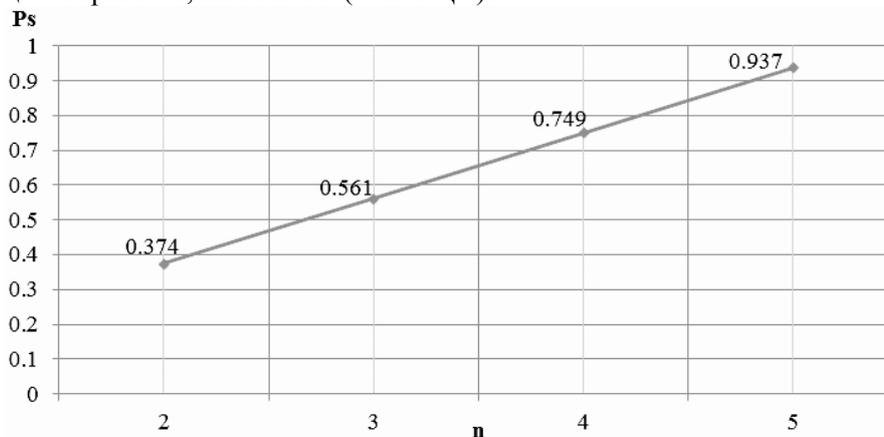


Рисунок 3 – Результаты исследования влияния числа ЦП на производительность МПС, здесь: n – число ЦП; P_s – коэффициент загрузки семафора

Узким местом в рассматриваемой МПС является ОР. При потоке заявок $65 * 10^{-7}$ задач/мкс ОР не справляется с количеством обращений – $P_s > 1$, резко возрастает время ожидания семафора.

Анализ влияния времени доступа к ОР на производительность МПС.

Исходные данные: число ЦП в РСМО $K = 2 \dots 12$; время обслуживания задачи одним ЦП $\nu = 600$ мкс; время обслуживания заявок ОР $\nu = 50 \dots 250$ мкс.

Интенсивность потока запросов при моделировании менялась следующим образом $0,0000005 \% * (\text{число ЦП})$.

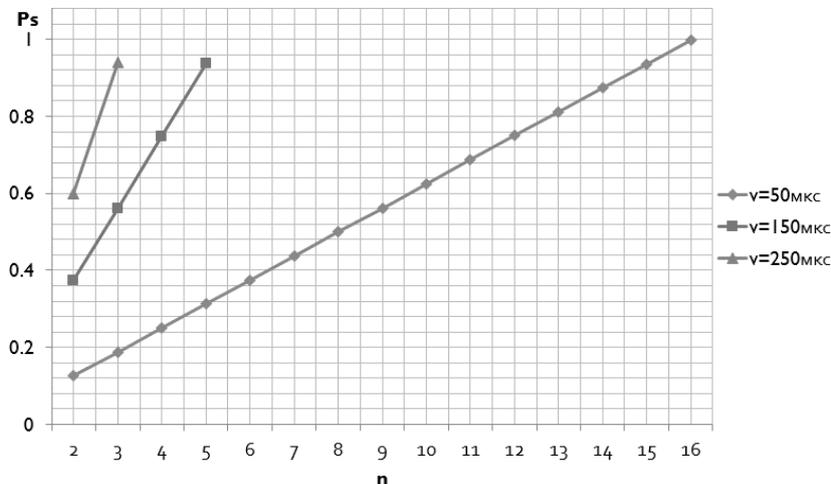


Рисунок 4 – Результаты исследования влияния времени доступа к ОР на производительность МПС

Здесь: n – число ЦП; P_s – коэффициент загрузки семафора; v – время обслуживания семафора

При увеличении времени доступа к семафору с 50 мкс до 250 мкс время ожидания увеличивается в 92 раза (при 11 ЦП — W_s равно 18,9 мкс при $V_s = 50$ мкс и 1736,1 мкс при 250 мкс соответственно). Коэффициент загрузки также растет, достигает 1 при 8 ЦП в системе с $V_s = 250$ мкс, тогда как в системе с $V_s = 50$ мкс при 8 ЦП $P_s=0,2$.

В целом результаты моделирования показывают, что выбор наиболее оптимального метода управления доступом к ОР, влияющий на время доступа, влияет на производительность всей МПС в целом.

В МПС при ожидании доступа к ОР происходит увеличение времени обработки в ЦП на величину равную времени ожидания ОР [8]. При этом вероятен непроизводительный простой ЦП более одного цикла. Для анализа подобного поведения МПС были исследованы модели управления доступом с одиночным ОР, где в каждом цикле увеличивается время обслуживания ЦП ($V_{cp_{n-1}} + W_{s_{n-1}}$)

$$V_{cp_n} = V_{cp_{n-1}} + W_{s_{n-1}} \quad (1).$$

Исходные данные: число ЦП в модели $K = 4$; время обслуживания задачи одним ЦП $v = 50; 600$ мкс; время обслуживания задачи ОР $v = 50; 250$ мкс.

Результаты моделирования показали, что время ожидания освобождения монитора значительно выше времени ожидания семафора, что увеличивает время ответа МПС, спин-блокировка является наименее трудоемкой на всем диапазоне изменения нагрузки. При этом результаты моделирования подтверждают, что спин-блокировку наиболее целесообразно использовать для процессов, часто обращающихся к ОР, время обработки на ЦП которых невелико. Основным недостатком такого метода являются затраты на предварительное программирование, значительно усложняющие его использование. При использовании монитора затрачивается более длительное время на ожидание его освобождения, однако та-

кой метод наиболее прост и предпочтительнее в использовании и может применяться для процессов, имеющих длительную обработку в ЦП.

Для определения критерия выбора оптимального метода доступа к одиночному ОР проведено исследование различных времен обслуживания в ЦП и в семафоре. При этом вычислялось отношение коэффициента загрузки семафора P_s к коэффициенту загрузки ЦП P_{cp} :

$$Z = P_s / P_{cp} \quad (2)$$

Проанализировав 4-процессорные системы с разными временами обслуживания в ЦП и семафоре, а также приняв во внимание выводы, сделанные выше, получаем, что для определения оптимального метода доступа к данным необходимо, чтобы коэффициент Z лежал в пределе

$$0,4 * K < Z < 1 * K \quad (3).$$

Итак, для 4-процессорной системы имеем $1,6 < Z < 4$, для 8-процессорной системы: $3,2 < Z < 8$.

Анализ полученных в результате моделирования характеристик позволил выявить особенности организации управления критическими ресурсами, их узкие места, сделать выводы о производительности МПС при ее различных организациях.

Разработанные сетевые модели выполняют следующие задачи:

- выбор оптимального метода управления доступом к одиночному критическому ресурсу МПС;
- возможность производить оценку характеристик МПС и их подсистем без построения реального макета;
- выбор наиболее оптимальных вариантов проектируемых систем без построения реальной системы;
- легкая модификация моделей обеспечивает соответствие необходимой конфигурации исследуемой системы.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания высшим учебным заведениям (проект № 2398).

Список литературы

1. Бершадская Е.Г. Анализ технологий поддержки научных исследований // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 3 (25). – С. 11-17.
2. Бикташев Р.А. Модели оценки производительности средств синхронизации параллельных процессов // Вопросы радиоэлектроники. – 2010. – № 5. – Т. 3. – С. 21-29.
3. Мартышкин А.И. Исследование подсистем памяти с буферизацией транзакций на моделях массового обслуживания // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2011. – № 3. – С. 124-131.
4. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
5. Мартышкин А.И., Карасева Е.А. Математические модели для качественной оценки производительности семафоров многопроцессорных вычислительных систем // Инновации в науке. – 2015. – № 50. – С. 40-45.
6. Мартышкин А.И., Карасева Е.А. Аппаратная поддержка катализатора для реализации механизма очередей сообщений в многопроцессорных

- вычислительных системах // *Технические науки – от теории к практике.* – 2015. – № 51. – С. 40-44.
7. Михалев В. Результаты тестов производительности QNX Neutrino. // *Современные технологии автоматизации: Научно-технический журнал.* 2012. №2. С. 82-88.
 8. Мартышкин А.И. Исследование алгоритмов планирования процессов в системах реального времени // в сборнике *Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов сборник статей XIII Всероссийской научно-технической конференции.* Под ред. И.И. Сальникова. Пенза, 2015. – С. 118-124.

УДК 004.383.3
ББК 32.971.32-02

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И НАЗНАЧЕНИЯ ЗАДАЧ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ¹

© Д.С. Мартенс-Атюшев, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)

RESEARCH OF PLANNING AND PURPOSE TASKS SUBSYSTEM OF RECONFIGURABLE COMPUTATIONAL SYSTEM FOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING

© D.S. Martens-Atushev, Penza State Technological University (Penza Russia)

Целью работы является проведение исследования архитектуры реконфигурируемой вычислительной системы, включающей подсистему планирования и назначения задач. Проводится отладка и тестирование разработанной системы. В работе для математических расчетов используется метод разомкнутых сетей массового обслуживания, математический аппарат которого уже разработан и достаточно описан. Описание функционирования системы на аппаратном уровне производится на языке VHDL. В заключении приведены полученные результаты и выводы.

Ключевые слова: реконфигурируемая система, система массового обслуживания, математическая модель, планировщик, аппаратная реализация.

The aim of the article is a study of the architecture of the reconfigurable computing system that includes a subsystem of planning and task assignments. Performed debugging and testing of the developed system. For mathematical calculations we use the method of open queueing networks, mathematical apparatus already developed and sufficiently described. Description of the functioning of the system at the hardware level is done using VHDL language. Finally presents the results and conclusions.

Key words: reconfigurable system, queueing system, mathematical model, scheduler, hardware implementation.

E-mail: Novoselich93@mail.ru

Одной из основных проблем высокопроизводительных вычислений является планирование и назначение задач центральным процессорам (ЦП). Традиционно используемая программная реализация функций диспетчеризации способствует увеличению временных затрат на синхронизацию процессов. Для разрешения данной ситуации существует два подхода: аппаратная реализация функций планиро-

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 16-07-00012 А).

вания процессов с общей и индивидуальной на каждый ЦП очередью задач, модели которых были рассмотрены в [1, 2] и в [3,4, 5] соответственно.

Для решения поставленной задачи, в статье рассмотрен планировщик с общей очередью задач (стратегия разделения во времени). Исследование осуществляется как совокупность моделирования на системах массового обслуживания и аппаратного решения, реализованного с помощью языка описания аппаратуры VHDL и создания файла прошивки для отладочной платы. Разработанное VHDL- описание планировщика включено в проект по разработке реконфигурируемой вычислительной системы (РВС) [6].

Математическое моделирование, основанное на положениях теории массового обслуживания, позволяет получить ёмкую статистику по результатам вероятностно-временных значений модели. Рассматриваемая сетевая модель (рисунок 1) для исследования подсистемы планирования и назначения задач с разделением во времени состоит из обслуживающего многоканального процессорного узла и одноканального, которым, собственно, и является сам планировщик. Требование на обслуживание, которое поступает из источника S_0 с интенсивностью λ_0 , назначается в любом ЦП. Для получения результатов в работе используется равновероятное распределение задач, что позволяет обойти перегрузку системы при простаивании некоторых ЦП. Так как очередь имеет ограниченное число мест, то при ее переполнении часть заявок будут приостанавливаться и ожидать своего обслуживания или в порядке поступления в систему, или в соответствии с приоритетом. Следовательно, интенсивность потока задач очереди O_1 будет равна $\lambda_1 = \lambda_0 + \lambda_2$. Очередь формирующаяся перед планировщиком не превышает число ожидающих ЦП, то есть, $n-1$ задача будет ожидать в очереди O_2 пока предыдущая задача пребывает на обслуживании, тогда интенсивность из O_2 составит $\lambda_2 = \lambda_1 - \lambda_0$.

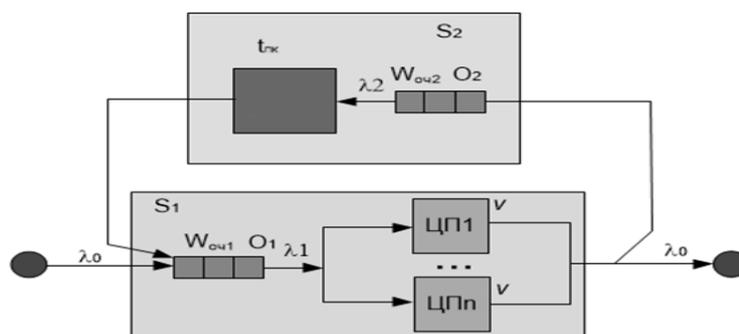


Рисунок 1 – Исследуемая модель системы

В рассматриваемой сетевой модели использованы очереди типа *FIFO*, использующие меньше системных ресурсов и простых в реализации. Однако, увеличение нагрузки на систему влечет за собой увеличение среднего времени ожидания обслуживания. Математическое выражение для времени ожидания в очередях системы, для рассмотренной модели, а также полученное, согласно исследований в работах [1, 8]

$$W = \frac{W_{оч1}}{P_{10}} + \frac{W_{оч2} \cdot P_{12}}{P_{10}} = \frac{W_{оч1} + W_{оч2} \cdot P_{12}}{P_{10}}, \quad (1)$$

где $W_{оч1}$ – время ожидания обслуживания в очереди O_1 ; $W_{оч2}$ – время ожидания обслуживания в очереди O_2 ; P_{10} – вероятность выхода обработанной задачи из системы; P_{12} – вероятность принятия задачи на дообработку.

Время пребывания задачи в системе (время отклика) рассчитывается по следующему выражению, полученному из [2,7]

$$U = \frac{W_{оч1} + \nu}{P_{10}} + \frac{P_{12} \cdot (W_{оч2} + t_{ПК})}{P_{10}} = \frac{W_{оч1} + \nu + P_{12} \cdot (W_{оч2} + t_{ПК})}{P_{10}}. \quad (2)$$

где $W_{оч1}$ – время ожидания обслуживания в очереди O_1 ; $W_{оч2}$ – время ожидания обслуживания в очереди O_2 ; P_{10} – вероятность выхода обработанной задачи из системы; P_{12} – вероятность принятия задачи на дообработку; $t_{ПК}$ – время переключения контекста задачи планировщиком; ν – время обработки задачи в ЦП.

С развитием микроэлектронных технологий стало возможным применение новых архитектурных решений для повышения производительности вычислительных систем (ВС). В последние годы все чаще можно наблюдать, как различные ВС строятся без применения традиционных ЦП. Взамен их для повышения гибкости системы используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС).

Данное решение применяется и для аппаратной поддержки планировщика, входящего в состав проекта РВС, представляющего собой устройство, состоящее из 4 реконфигурируемых ЦП, реализованных на ПЛИС для цифровой обработки сигналов (рисунок 2).

Реализация всей системы на ПЛИС позволяет достаточно быстро перестраивать устройство под различные классы задач. Более подробное описание РВС было рассмотрено в [6, 8, 9].

Рассмотрим более подробно аппаратную реализацию планировщика, проектирование которого было осуществлено с помощью языка *VHDL* в САПР *QuartusII*. Разработанная структура (рисунок 3) состоит из следующих блоков.

Блок генерации задач (*block_task_manager*) для моделирования постоянной передачи планировщику идентификаторов задач, готовых к выполнению. Блок передает новые идентификаторы задач через равные промежутки времени и сообщает об этом блоку управления очередь, что способствует имитации потока задач.

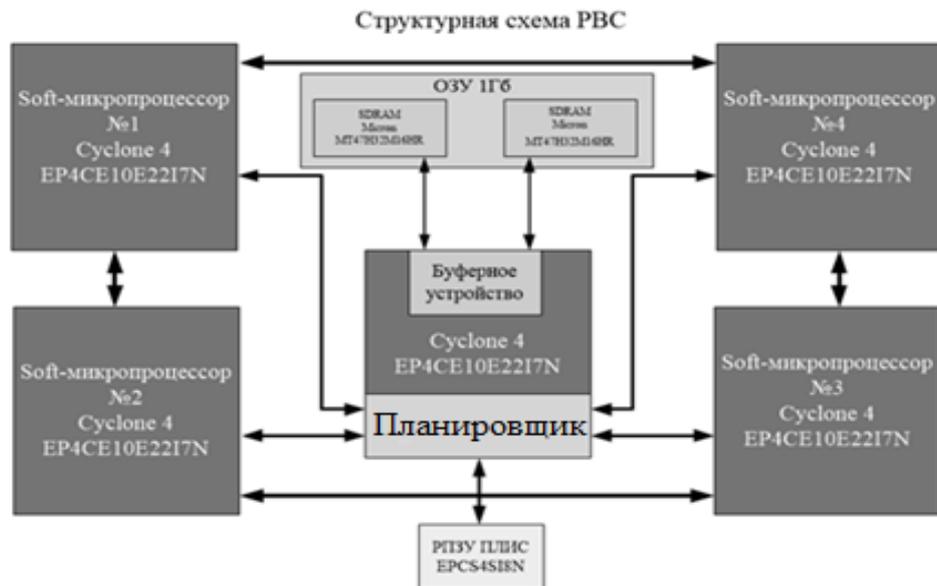


Рисунок 2 – Структура исследуемой РВС

Блок управления очередью задач (*block_upr_ocher*) – принимает идентификаторы задач в систему. Вычисляет, есть ли свободное место в очереди задач, если таковое имеется, передает идентификатор новой задачи в блок очереди *FIFO*. Еще одной его функцией является выборка идентификатора задачи из очереди (по принципу *FIFO*) для обслуживания в свободном ЦП.

Блок очереди хранения задач *FIFO* (*fifo_2*). Принцип его работы следующий, по сигналу запроса от блока управления очередью помещает идентификатор новой задачи в конец списка или извлекает идентификатор задачи из вершины списка для передачи его в ЦП.

Процессорный блок (*block_processor*) имитирует работу ЦП. Предназначен для выработки сигналов интерфейса «процессор-планировщик». Когда идентификатор задачи получен, имитируется отключение блока от планировщика, чтобы ЦП перешел к её обслуживанию. Данная функция реализована в виде счетчика, отсчитывающего такты во время обработки задачи. Когда счетчик отсчитает требуемое количество тактов, блок сообщает планировщику о том, что он свободен, и готов к дальнейшей работе.

Блок синхронизации (*block_dispatcher*) – самый значимый блок в устройстве. Используется для анализа информации о том: есть ли ожидающие задачи в системе, и есть ли свободные ЦП, которые можно назначить для обработки этих задач. Данный блок осуществляет взаимодействие с каждым ЦП в системе и отвечает за передачу идентификатора задачи свободному ЦП, выбранному для обслуживания в соответствии с определенной схемой приоритетов.

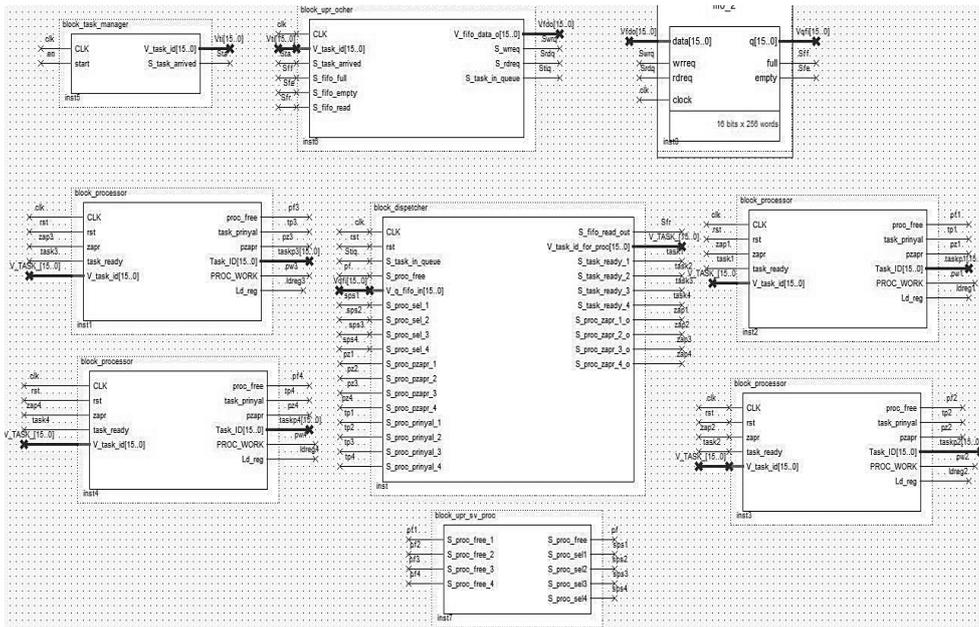


Рисунок 3 – Схема проекта, созданного в САПР QuartusII

Моделирование разработанного проекта на языке VHDL, проводилось с помощью ModelSim-Altera 10.0с. После компиляции была запущена симуляция проекта, где были получены временные диаграммы работы РВС (рисунок 4).

Диаграмма показывает, что идентификатор поступившей задачи под номером A255 передается на обработку в ЦП под номером 4(taskp4), после чего ЦП выставил сигнал о том, что принял задачу на обработку(tr4). ЦП под номером 4 оказался занятым, поэтому следующий идентификатор задачи A25B принят на обработку в третий ЦП. Подобно четвертому ЦП, третий выставил сигнал(tr3) о том, что приступил к обслуживанию задачи.

По результатам моделирования видно, что первым для обслуживания текущей задачи назначен четвертый ЦП, следом назначается третий ЦП, и так далее. Это обусловлено схемой приоритетов от выполнения задач в системе, т.е. от четвертого ЦП к первому.

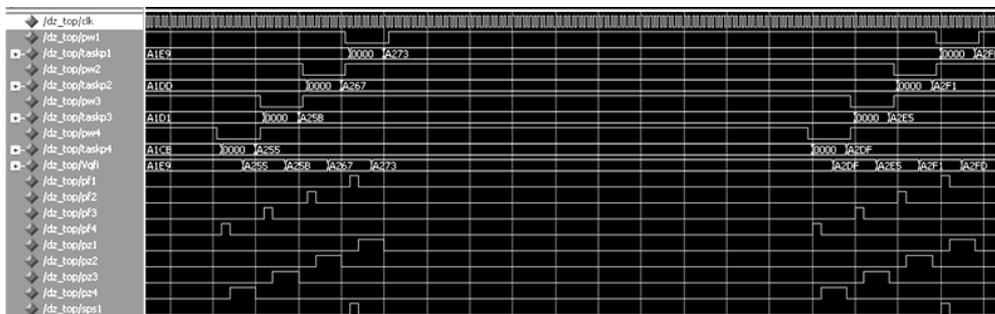


Рисунок 4 – Временные диаграммы работы системы в среде моделирования ModelSim-Altera 10.0с

Таким образом, в статье приводятся результаты разработки математической модели РВС. Получены выражения для определения вероятностно-временных характеристик исследуемой модели. Разработано VHDL-описание подсистемы планирования и назначения задач, что позволяет рассмотреть работу РВС в режиме реального времени [10-12]. В ходе проведенного исследования выявлено, что планировщик успевает принимать и назначать все поступающие задачи. Он не перегружается ни на каком отрезке времени, способен обрабатывать и более интенсивный поток задач.

Список литературы

1. Бикташев Р. А., Мартышкин А. И. Моделирование диспетчеров задач многопроцессорных систем // *Успехи современного естествознания*. – 2012. – № 6. – С. 83-85.
2. Мартышкин А. И. Исследование диспетчеров задач многопроцессорных систем на моделях массового обслуживания // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Научно-методический журнал*. Пенза: Пенз. гос. технол. академия. – 2012. – № 5. – С. 139-146.
3. Мартышкин А.И. Расчет вероятностно-временных характеристик многопроцессорной вычислительной системы с диспетчером задач со стратегией разделения во времени и беспriorитетной дисциплиной обслуживания // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2014. – №3 (19) – С. 145-151.
4. Мартышкин А.И. Математическое моделирование диспетчеров задач со стратегией разделения в пространстве с однородным входящим потоком и ограниченной очередью // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2015. – №3 (25). – С. 135-142.
5. Мартышкин А.И., Воронцов А.А., Валова О.О. Математическое моделирование диспетчеров задач с пространственным разделением с неоднородным потоком задач на обслуживание и ограниченной длиной очереди // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2015. – №3 (25). – С. 142-149.
6. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Разработка реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала // *Технические науки – от теории к практике*. – 2015. – № 52. – С. 50-58.
7. Martyshkin A.I., Yasarevskaya O.N. *Mathematical modeling of Task Managers for Multiprocessor systems on the basis of open-loop queuing networks* // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2015. – V. 10. – N. 16. – P. 6744-6749.
8. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Реконфигурируемый вычислительный кластер для цифровой обработки сигнала // в сб.: *Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов сборник статей XIII Всероссийской научно-технической конференции*. Под ред. И.И. Сальникова. Пенза, 2015. – С.112-117.
9. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Разработка и исследование реконфигурируемого вычислительного кластера для цифровой обработки сигнала // *Современные информационные технологии*. – 2015. – № 21. – С. 190-195.
10. Мартышкин А.И. Исследование алгоритмов планирования процессов в системах реального времени // в сборнике *Современные методы и средства*

обработки пространственно-временных сигналов сборник статей XIII Всероссийской научно-технической конференции. Под ред. И.И. Сальникова. Пенза, 2015. – С. 118-124.

11. Сальников И.И. Критерии отнесения устройств и систем обработки информации к интеллектуальным // *XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, – 2012. – № 1 (5). – С. 11-15.
12. Сальников И.И. Структура принятия решения по выбору цифрового средства реализации алгоритма в информационно-технической системе / О.С. Литвинская, И.И. Сальников // *Фундаментальные исследования*. – 2010. – №12. – С. 111-118.

УДК 519.872.2, 519.872.5
ББК 22.171

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ
МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ
МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ¹**

© *А.И. Мартышкин, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*

**RESEARCH OF DISTRIBUTED TASK MANAGER OF MULTIPROCESSOR
SYSTEMS BASED QUEUING NETWORKS**

© *A.I. Martyshkin, Penza State Technological University (Penza Russia)*

Работа посвящена исследованию диспетчера задач со стратегией разделения в пространстве многопроцессорной системы. Приводится методика исследования многопроцессорных систем с распределенными диспетчерами задач с дисциплинами обслуживания FIFO. Предлагаются уточненные модели для оценки вероятностно-временных характеристик диспетчеров, учитывающие перераспределение потоков задач с целью выравнивания загрузки процессора. Результатами исследования являются выражения для расчета времени отклика в рассматриваемой многопроцессорной системе. В конце работы сделаны выводы.

Ключевые слова: математическое моделирование, диспетчер задач, разделение в пространстве, дисциплина обслуживания, многопроцессорная система.

The work deals with the Task Manager with the strategy of separation in the space of a multiprocessor system. The technique of research of multiprocessor systems with distributed task manager with FIFO service disciplines. We offer refined model for estimating probability-time characteristics of the controllers, taking into account the redistribution of flow problems in order to equalize the processor load. The results of the study are expressions for calculating the response time of the multiprocessor system under consideration. At the end of the work given some conclusions.

Key words: mathematical modeling, task Manager, separation in space, discipline maintenance, multiprocessor system.

E-mail: Alexey314@yandex.ru

Известны два основных способа построения диспетчеров задач (ДЗ) в высокопроизводительных многопроцессорных системах (МПС): с разделением во времени [1, 2] и разделением в пространстве [3]. В МПС с общим ДЗ имеет место

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-00012).

недостаток организации, из-за чего падает показатель производительности всей МПС. Основной «камень преткновения» проявляется в конфликтах, возникающих при запросе ДЗ в том, что только определенный процессор (ЦП) общается с глобальной очередью готовых к обслуживанию задач, на что затрачивается время. Более того, ЦП чтобы получить новую задачу, необходимо вступить во взаимодействие с ДЗ, на что опять-таки расходуется время. В определенный момент в МПС при наличии свободных ЦП не обрабатываются ждущие задачи по причине того, что ДЗ не успевает обслужить их все. Выходом из этой ситуации может послужить другая организация ДЗ – с индивидуальными очередями задач к ЦП, о чем более подробно пойдет речь в данной статье. Существует большое число дисциплин планирования в системах реального времени [4], в соответствии с которыми происходит формирование очереди ожидающих обработки задач. В настоящей статье применяется дисциплина FIFO, находящая сегодня широкое применение на практике из-за своей простоты и доступности.

Математическая модель диспетчера задач со стратегией разделения в пространстве (с индивидуальными очередями на обслуживания к ЦП) состоит из совокупности одноканальных систем массового обслуживания (СМО) [5] (S_1, \dots, S_m) (рисунок 1). Каждая СМО имитирует обслуживание в ДЗ и на ЦП (S_1, S_2, \dots, S_m). Из источника S_0 поступают потоки требований на обслуживание λ_0 , и поглощает обслуженные задачи. В статье распределение задач выбрано равновероятное для приближенной оценки реального процесса, чтобы избежать перегрузки МПС, когда все задачи будут стремиться обслуживаться на одном или ряде ЦП, а часть ЦП будут простаивать. Перед ДЗ образуются конечные очереди. При этом ДЗ не только организуют очереди к ЦП в МПС, но и балансирует загрузку по определенному проектировщиками системы алгоритму. В соответствие с этим, задачи могут извлекаться из i -й очереди более загруженного ЦП и с конкретной вероятностью помещаться в очередь наименее загруженного j -го ЦП.

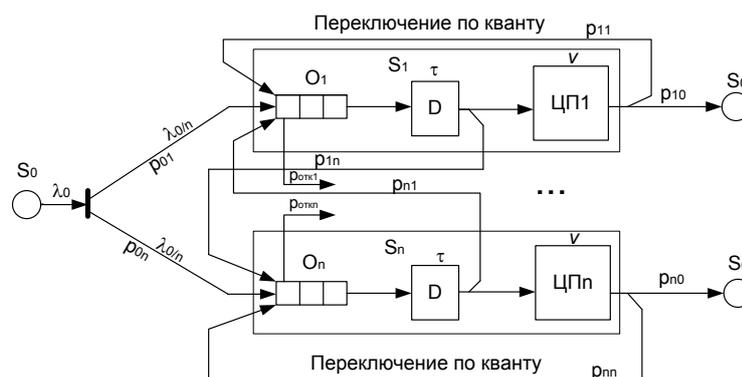


Рисунок 1 – Схема модели многопроцессорной системы с диспетчерами задач со стратегией разделения в пространстве

На вход каждой очереди МПС поступает поток задач с интенсивностью $\lambda_{00} = \lambda_0 / n$. Интенсивность обслуживания ДЗ потока задач равна μ_D . Задача, поступившая в момент, когда ДЗ занят, становится перед ним в очередь и ожидает обслуживания. Примем, что независимо от количества поступающих задач на вход

очереди ДЗ, она не в состоянии разместить более r -задач, причем одна обслуживается, а $(r-1)$ находятся в состоянии ожидания. Задачи, не принятые в требуемую очередь ожидания, направляются в другую, менее загруженную очередь [6].

В работах [6,7] были определены основные характеристики рассматриваемого типа ДЗ. Здесь определим выражение для времени ожидания обслуживания задач в системе. Получим математические выкладки для определения среднего числа задач (S), как находящихся в очереди, так и обслуживающихся. Можно решить эту задачу так: примем общее число задач в системе S как сумму задач, стоящих в очереди B и задач, непосредственно обслуживающихся Ω . Тогда $S=B+\Omega$.

В соответствии с работой [6] получим

$$S = M[S] = M[Z] + M[\Omega] = Lоч_{cp} + \varpi, \quad (1)$$

где $Lоч_{cp}$ – среднее число находящихся в очереди задач;

ϖ – среднее число обслуживающихся задач.

Величина $Lоч_{cp}$ определена в [6], найдем величину ϖ .

Ввиду того, что ДЗ в рассматриваемой части сетевой модели один, величина Ω может принимать значения 0 или 1. Значение 0 она принимает, если

ДЗ свободен. Вероятность этого составит $P_0 = \frac{1-\psi}{1-\psi^{m+2}}$. Значение 1 она при-

нимает, если ДЗ занят обслуживанием. Эта вероятность равна $P_0 = \frac{\psi - \psi^{m+2}}{1 - \psi^{m+2}}$.

С учетом выражений, полученных в [6] и приведенных в статье, имеем математическое ожидание числа обслуживающихся задач

$$\varpi = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot (1 - P_0) = \frac{\omega - \omega^{m+2}}{1 - \omega^{m+2}}$$

Итак, среднее число задач, ожидающих и обслуживающихся ДЗ, составит

$$Z = Lоч_{cp} + \frac{\omega - \omega^{m+2}}{1 - \omega^{m+2}}, \quad (2)$$

Рассчитаем среднее время ожидания задачи, которая поступает в МПС в определенный момент времени, в очереди перед ДЗ $t_{ож}$. С вероятностью P_0 ДЗ свободен и время ожидания равно нулю. С вероятностью P_1 задача попадет в СМО и будет ожидать обслуживания в течение времени $1/\mu_D$. С вероятностью P_2 перед нашей задачей в очереди будет находиться еще одна и время ожидания в среднем составит $2/\mu_D$, и так далее. При $k=r+1$ новая задача застанет ДЗ занятым обслуживанием и ещё r задач, стоящих в очереди, время ожидания тоже будет равно нулю, т.к. задача не помещается в данную очередь. Согласно работ [6] средняя латентность задачи составит

$$\bar{t}_{ож} = \frac{1}{\psi \cdot \mu_D} \cdot LОч_{ср} = \frac{LОч_{ср}}{\lambda_{00}} \quad (3)$$

Теперь оценим время нахождения задачи в подсистеме системы «очередь-ДЗ-ЦП». Определим $W_{СМО}$ как время пребывания задачи в СМО. Это время находится из суммы ряда параметров $W_{СМО} = T_{ож} + T_{обслДП} + T_{обслЦП}$, где $T_{ож}$ – время ожидания обслуживания в очереди перед ДЗ; $T_{обслДП}$ – время обработки задачи ДЗ, $T_{обслЦП}$ – время обработки на ЦП.

По теореме сложения математических ожиданий $t_o = M[W_{СМО}] = M[T_{ож}] + M[T_{обслДП}] + M[T_{обслЦП}]$ [6]. Для данной работы $M[T_{ож}] = \bar{t}_{ож}$, $M[T_{обслДП}] = Q_{отн} \cdot \bar{t}_{обслДП} = \frac{Q_{отн}}{\mu_D}$, $M[T_{обслЦП}] = \mu_{ЦП}$, отсюда находим с учетом выкладок в работе [8]

$$W_{СМО} = T_{ож} + T_{обслДП} + T_{обслЦП} = \frac{LОч_{ср}}{\lambda_{00}} + \frac{Q_{отн}}{\mu_D} + \mu_{ЦП} \quad (4)$$

По полученным выражениям и с применением разработанных программ было проведено исследование МПС с ДЗ со стратегией разделения в пространстве. Результаты показали, что рассматриваемые ДЗ при наихудших условиях нагрузки можно использовать вплоть до систем мягкого реального времени, т.к. латентность не превышает 15 мкс, что соотносится со многими существующими сегодня системами реального времени (СРВ), например, *LinuxRT* [8].

Полученные результаты аналитического моделирования проверены имитационным моделированием, что дает подтверждение адекватности разработанной методики проведения исследования диспетчеров задач со стратегией разделения в пространстве.

Однако имеется солидный недостаток организации ДЗ со стратегией разделения в пространстве перед ДЗ со стратегией разделения во времени [9]. ДЗ с разделением во времени гарантирует, что задача непременно обслужится на одном из ЦП, т.к. сам полностью обеспечивает этот процесс. В случае, когда ряд ЦП не смогут обеспечивать обработку задач, «выйдут из строя» ДЗ при назначении задач не будет принимать их во внимание, т.к. эти ЦП перестанут поддерживать интерфейс взаимодействия. В МПС с ДЗ со стратегией разделения в пространстве, ДЗ не контролирует процесс извлечения задач из очередей на обслуживание ЦП. Поэтому, если ряд ЦП «выйдет из строя», в их очереди в течение определенного времени будут поступать задачи, пока их количество не станет достаточно большим. В такой ситуации возникает необходимость в реализации дополнительного механизма контроля работоспособности ЦП диспетчером, чтобы своевременно обнаруживать неисправные ЦП, а также возможность перезаписи задач из очереди неработающего ЦП в другие очереди или переключение очередей между ЦП. Подобные механизмы увеличивают затрачиваемые системные ресурсы при организации ДЗ. Но это оправдывается существенным увеличением быстродействия МПС в целом.

Таким образом, были получены выражения для оценки латентности ДЗ и ЦП. Адекватность модели ДЗ со стратегией разделения в пространстве под-

тверждается имеющимися эталонными данными [8] и результатами, полученными на созданной имитационной модели. Погрешность полученных результатов не превышает 20%, что вполне удовлетворительно для оценки возможных вариантов реализации ДЗ в многопроцессорной операционной системе на эскизном этапе проектирования [9].

Рассмотренные модели ДЗ могут быть использованы при разработке новых операционных систем, в том числе операционных систем мягкого реального времени [10].

Список литературы

1. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Востоков Н.Г. Математическое моделирование диспетчеров задач для систем параллельной обработки на основе разомкнутых систем массового обслуживания // *В мире научных открытий*. – 2013. – № 6.1 (42) (Математика. Механика. Информатика). – С. 81–101.
2. Мартышкин А.И. Расчет вероятностно-временных характеристик многопроцессорной вычислительной системы с диспетчером задач со стратегией разделения во времени и беспriorитетной дисциплиной обслуживания // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2014. – № 3 (19) – С. 145-151.
3. Мартышкин А. И. Исследование диспетчеров задач многопроцессорных систем на моделях массового обслуживания // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2012. – № 5. – С. 139-146.
4. Мартышкин А.И. Исследование алгоритмов планирования процессов в системах реального времени // в сборнике *Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов сборник статей XIII Всероссийской научно-технической конференции*. Под ред. И.И. Сальникова. Пенза, 2015. – С. 118-124.
5. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
6. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А. Математическое моделирование диспетчеров задач со стратегией разделения пространства для параллельных вычислительных систем на основе разомкнутых сетей массового обслуживания // *Технические науки – от теории к практике*. – 2013. – № 26. – С. 36-42.
7. Мартышкин А.И., Воронцов А.А., Валова О.О. Математическое моделирование диспетчеров задач с пространственным разделением с неоднородным потоком задач на обслуживание и ограниченной длиной очереди // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2015. – №3 (25). – С. 142-149.
8. Михалев В. Результаты тестов производительности QNX Neutrino. // *Современные технологии автоматизации: Научно-технический журнал*. 2012. №2. С. 82-88.
9. Martyshkin A.I., Yasarevskaya O.N. Mathematical modeling of Task Managers for Multiprocessor systems on the basis of open-loop queuing networks // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2015. – V. 10. – N. 16. – P. 6744-6749.
10. Сальников И.И. Критерии отнесения устройств и систем обработки информации к интеллектуальным // *XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, – 2012. – № 1 (5). – С. 11-15.

УДК 004.925.86
ББК 30

**СПЛАЙН-ИНТЕРПОЛЯЦИЯ
ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

© Ю.Н. Косников, Пензенский государственный университет (Пенза, Россия)

© Хоанг Тхай Хо, Пензенский государственный университет (Пенза, Россия)

**SPLINE-INTERPOLATION
OF MOVEMENT TRAJECTORY OF A DYNAMIC OBJECT**

© Yu.N. Kosnikov, Penza State University (Penza, Russia)

© Hoang Thai Ho, Penza State University (Penza, Russia)

Описаны рабочая методика и программная реализация отображения пространственной траектории динамических объектов. Кривая траектории составляется с помощью интерполяции отсеками В-сплайна. Точное прохождение кривой через исходные опорные точки обеспечивается их заменой на новые опорные точки. Для повышения производительности алгоритма отображения используется метод конечных разностей.

Ключевые слова: мониторинг, траектория, динамический объект, В-сплайн, интерполяция, метод конечных разностей

The working technique and program realization of display of a spatial trajectory of dynamic objects are described. The curve of a trajectory is formed by means of interpolation by B-spline compartments. Exact passing of a curve through starting reference points is provided with their replacement by new reference points. For increase of productivity of algorithm of display the method of finite differences is used.

Key words: monitoring, trajectory, dynamic object, B-spline, interpolation, method of finite differences

E-mail: kosnikov@gmail.com

Системы диспетчерского мониторинга рассредоточенных в пространстве подвижных объектов являются составными частями метасистем различного назначения. К ним можно отнести системы контроля автодорожных и воздушных перевозок, системы автоматизации управления войсками, охранные системы. К задачам мониторинга в таких метасистемах относится представление диспетчеру достоверной информации о положении и параметрах движения объектов контроля в режиме реального времени (РВ). Отображение траектории движения объекта с привязкой к карте или плану окружающего пространства (местности) дает представление не только о текущем местоположении объекта, но и позволяет оценить реальный вариант достижения заданной точки пространства, а также оптимальность выбранного пути. Знание траектории движения объекта позволяет при необходимости повторить его путь или проанализировать его этапы [1,2].

В случае диспетчерского мониторинга объектов их местоположение засекается с определенной периодичностью, например, по данным установленных на объектах GPS-навигаторов. Моменты съема данных о местоположении могут следовать с достаточно большим периодом, так как задача мониторинга не является единственной задачей метасистемы и не может занимать все ее вычислительные ресурсы. В результате последовательно во времени для каждого объекта образуется набор характерных (опорных) точек местоположения, последовательность которых определяет траекторию движения объекта. Для ее визуализации требуется решать задачу интерполяции в режиме реального времени.

1. Интерполяционные методы построения пространственных траекторий

Соединение опорных точек траектории прямолинейными отрезками дает самый простой вид интерполяции – линейную (кусочно-линейную) интерполяцию. Ее достоинствами являются простота алгоритма и его высокая производительность. Однако при редком съеме данных о координатах объекта траектория принимает вид ломаной линии. Для каких-то приложений это вполне допустимо, но при отображении траектории с привязкой к местности ломаный вид создает искаженное представление о поведении объекта и может вызвать у диспетчера недоверие к результату мониторинга. В то же время на этапе отображения (рисования) линии траектории необходимо использовать именно кусочно-линейное представление, визуализация которого поддерживается графической системой компьютера. Например, в графической библиотеке OpenGL для этого служит пара команд `glBegin – glEnd` с параметром `GL_LINE_STRIP` [3]. Это означает, что для повышения достоверности отображения и последующей аппаратной поддержки рисования траектория должна представляться гладкой кривой линией с возможностью разбиения ее большое количество линейных участков.

Традиционные методы интерполяции полиномами Ньютона, Лагранжа, Чебышева в рассматриваемом случае не дают удовлетворительного результата, так как сложны в вычислительном отношении и дают осцилляции полученной кривой при большом числе узлов интерполяции. Гладкую форму результирующей кривой без осцилляций дают методы кусочной сплайн-интерполяции, однако и они не свободны от недостатков. Рациональные сплайны характеризуются повышенной вычислительной сложностью, В-сплайны и бета-сплайны в общем случае не проходят через опорные точки, сплайны Безье требуют определения дополнительных узловых точек, задающих направления касательных в узлах интерполяции [4]. В литературе, например [5], указывается, что, вводя новые опорные точки, можно заставить кривую В-сплайна проходить через исходные опорные точки, однако рабочая методика определения новых опорных точек в известной литературе отсутствует.

Желание использовать для отображения траектории объекта В-сплайновую интерполяцию обусловлено повышенной гладкостью В-сплайновой кривой и отсутствием дополнительных условий гладкой стыковки ее отрезков. В статье предлагаются алгоритм и реализация В-сплайновой интерполяции криволинейной траектории с ее точным прохождением через опорные точки.

2. В-сплайновая интерполяция траектории с точным прохождением через опорные точки

Сплайновая кривая составляется из отрезков, каждый из которых описывается четырьмя опорными точками. При переходе к следующему отрезку для его построения используются три опорные точки предыдущего отрезка и одна новая опорная точка. Параметрическое описание В-сплайнового отрезка кривой с номером i , построенного на четырех опорных точках RP_{i-1} , RP_i , RP_{i+1} , RP_{i+2} , которые заданы векторами координат $\mathbf{p}_j = [x_j \ y_j \ z_j]$, где $j=(i-1), i, (i+1), (i+2)$, в матричной форме имеет вид

$$\mathbf{r} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{P}^T, \quad (1)$$

где $\mathbf{r} = [x \ y \ z]$ – вектор координат текущей точки отрезка;

$\mathbf{T} = [t^3 \ t^2 \ t \ 1]$ – вектор степеней параметра t , $t \in [0, 1]$;

$\mathbf{P} = |\mathbf{p}_{i-1} \mathbf{p}_i \mathbf{p}_{i+1} \mathbf{p}_{i+2}|$ – матрица, элементами которой являются векторы координат опорных точек;

$$\mathbf{M} \text{ – базисная матрица В-сплайна: } \mathbf{M} = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Параметр t определяет шаги вдоль отсека. Количество промежуточных точек отсека зависит от дискретности задания t . При изменении параметра в интервале $[0,1]$ формируется отсек кривой, начинающийся в окрестности т. RP_i и оканчивающийся в окрестности т. RP_{i+1} , но в общем случае не проходящий через эти точки. Чтобы решить задачу точной интерполяции, нужно ввести новые опорные точки RP_i^* , RP_{i+1}^* , такие, что отсек пройдет через точки RP_i , RP_{i+1} . Условием такого прохождения является система уравнений, полученная подстановкой в выражение (1) значений $t=0$ и $t=1$:

$$|x_i \quad y_i \quad z_i| = |0 \ 0 \ 0 \ 1| \cdot \mathbf{M} \cdot |\mathbf{p}_{i-1} \ \mathbf{p}_i^* \ \mathbf{p}_{i+1}^* \ \mathbf{p}_{i+2}|^T,$$

$$|x_{i+1} \quad y_{i+1} \quad z_{i+1}| = |1 \ 1 \ 1 \ 1| \cdot \mathbf{M} \cdot |\mathbf{p}_{i-1} \ \mathbf{p}_i^* \ \mathbf{p}_{i+1}^* \ \mathbf{p}_{i+2}|^T,$$

где \mathbf{p}_i^* , \mathbf{p}_{i+1}^* – векторы координат новых опорных точек.

Полученную систему уравнений можно записать в координатной форме, разделив слагаемые с «новыми» (k^*) и исходными (k) координатами (k^* , $k=x,y,z$). Так, для $i=1$ получится система из двух уравнений с двумя неизвестными

$$4k_1^* + k_2^* = 6k_1 - k_0,$$

$$k_1^* + 4k_2^* = 6k_1 - k_2,$$

дающая однозначное решение. Для получения двух отсеков кривой необходимо использовать 5 опорных точек. Для нахождения новых опорных точек в этом случае используется система уравнений

$$4k_1^* + k_2^* + 0 \cdot k_3^* = 6k_1 - k_0,$$

$$k_1^* + 4k_2^* + k_3^* = 6k_2,$$

$$0 \cdot k_1^* + k_2^* + 4k_3^* = 6k_3 - k_4.$$

В общем случае на множестве RP , включающем N опорных точек,

$$RP = \{RP_0, RP_1, RP_2, \dots, RP_{N-2}, RP_{N-1}\},$$

можно построить $(N-3)$ отсека. Для нахождения их $(N-2)$ новых опорных точек можно записать в матричной форме систему уравнений:

$$\mathbf{M1} \cdot \mathbf{P}^* = \mathbf{M2}, \quad (2)$$

где \mathbf{P}^* – матрица векторов координат новых опорных точек:

$$(\mathbf{P}^*)^T = |\mathbf{p}_2^* \ \mathbf{p}_3^* \ \dots \ \mathbf{p}_{N-1}^*|;$$

$\mathbf{M1}$ – матрица коэффициентов при координатах новых опорных точек:

$$\mathbf{M1}_{(N-2) \times (N-2)} = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 4 \end{pmatrix},$$

$\mathbf{M2}$ – матрица свободных членов, включающих координаты исходных опорных точек:

$$\mathbf{M2}_{(N-2) \times 3} = \begin{pmatrix} (6x_1 - x_0) & (6y_1 - y_0) & (6z_1 - z_0) \\ 6x_2 & 6y_2 & 6z_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 6x_{N-3} & 6y_{N-3} & 6z_{N-3} \\ (6x_{N-2} - x_{N-1}) & (6y_{N-2} - y_{N-1}) & (6z_{N-2} - z_{N-1}) \end{pmatrix}$$

Решением (2) в матричной форме будет выражение

$$\mathbf{P}^* = (\mathbf{M1})^{-1} \cdot \mathbf{M2}. \quad (3)$$

Если можно найти обратную матрицу $(\mathbf{M1})^{-1}$, решение матричного уравнения (3) дает координаты новых опорных точек. Эти координаты дает и решение уравнения (2), например, методом Гаусса.

Составная кривая, состоящая из В-сплайновых отрезков, не проходит через первую и последнюю опорные точки. Для отображения траектории объекта это недопустимо. Приблизить кривую к названным точкам позволяет применение аппарата кратных опорных точек [3]. Его суть в том, что первая и последняя опорные точки в исходном наборе дублируются по два раза. Это означает, что для построения траектории, проходящей через N опорных точек, используется множество \overline{RP} из $(N+4)$ опорных точек:

$$\overline{RP} = \{\overline{RP}_0, \overline{RP}_1, \overline{RP}_2, \overline{RP}_3, \dots, \overline{RP}_{N+1}, \overline{RP}_{N+2}, \overline{RP}_{N+3}\}, \quad (4)$$

причем координаты точек $\overline{RP}_0, \overline{RP}_1$ равны координатам точки RP_0 , координаты точек $\overline{RP}_{N+2}, \overline{RP}_{N+3}$ равны координатам точки RP_{N-1} , а координаты остальных точек соответствуют координатам исходных опорных точек множества RP :

$$\overline{RP}_l = RP_{l-2} \text{ для } 2 \leq l \leq N+1.$$

При слежении за динамическим объектом набор опорных точек траектории непрерывно растет. Если каждый раз вычислять траекторию по всему имеющемуся набору опорных точек, то вычислительные затраты будут непрерывно расти. Тогда при контроле достаточно большого количества объектов режим реального времени будет нарушен. Это означает, что в вычислении траектории должно участвовать ограниченное подмножество опорных точек, которое будет обновляться с появлением каждой новой опорной точки. «Старая» часть траектории при этом будет сохраняться в памяти вычислительной системы и воспроизводиться повторно. Непрерывное обновление подмножества опорных точек приводит к некоторому изменению формы траектории на каждом шаге расчета, хотя точное прохождение

траектории через все опорные точки, безусловно, сохраняется. Допустимая степень изменения формы зависит от масштаба представления траектории. Она определяется количеством опорных точек, участвующих в вычислениях на каждом шаге, и определяется экспериментально.

3. Алгоритм повышенной производительности для отображения пространственной траектории

Нахождение текущей точки В-сплайновой кривой предполагает вычисление трех кубических функций параметра t , содержащих ресурсоемкие операции возведения в степень и перемножения. Вычислительная сложность В-сплайна может быть уменьшена путем применения аппарата конечных разностей [6]. Этот аппарат эффективно применяется для вычисления степенных полиномов степени n с помощью n операций суммирования. Вычисление степенной функции параметра $t f(t)$ идет по приращениям

$$\begin{aligned} \Delta_{t(m+1)}^0 &= \Delta_{tm}^0 + \Delta_{tm}^1, & \Delta_{t0}^0 &= f(t)|_{t=0}, \\ \Delta_{t(m+1)}^1 &= \Delta_{tm}^1 + \Delta_{tm}^2, & \Delta_{t0}^1 &= \Delta_t^1|_{t=0}, \\ \dots & (5) \\ \Delta_{t(m+1)}^{n-1} &= \Delta_{tm}^{n-1} + \Delta_{tm}^n, & \Delta_{t0}^{n-1} &= \Delta_t^{n-1}|_{t=0}, \\ \Delta_t^n &= \text{const}, \end{aligned}$$

где Δ_t^s – конечная разность порядка s ($s=0,1,2,\dots$) по параметру t , причем $\Delta_t^0 = f(t)$;

Δ_{t0}^s – начальное значение конечной разности (при $t=0$);

m – номер шага вычислений.

Для применения метода конечных разностей параметрическое описание В-сплайна (1) должно быть представлено в форме системы многочленов вида

$$k_i = a_{ki}t^3 + b_{ki}t^2 + c_{ki}t + d_{ki}, \quad (6)$$

где i – номер отсека кривой, $i=1,2,3,\dots$;

k – координата текущей точки отсека, $k=x,y,z$;

a,b,c,d – коэффициенты формы отсека.

Сравнение форм записи (1) и (6) в развернутом виде позволяет выразить коэффициенты формы через координаты опорных точек:

$$\begin{aligned} a_{ki} &= \frac{1}{6}(k_{i+2} - 3k_{i+1} + 3k_i - k_{i-1}), \\ b_{ki} &= \frac{1}{6}(3k_{i+1} - 6k_i + 3k_{i-1}), \\ c_{ki} &= \frac{1}{6}(3k_{i+1} - 9k_{i-1}), \\ d_{ki} &= \frac{1}{6}(k_{i+1} + 4k_i + k_{i-1}). \end{aligned} \quad (7)$$

Тогда конечноразностные формулы (5) для i -го отсека сплайна имеют вид

$$\Delta_{tki(m+1)}^{n-1} = \Delta_{tkim}^{n-1} + \Delta_{tkim}^n, \quad k = x, y, z, \quad (8)$$

а начальные значения участвующих в вычислениях конечных разностей определяются выражениями:

$$\begin{aligned}\Delta_{tki0}^0 &= k_i = d_{ki}; \\ \Delta_{tki0}^1 &= a_{ki}\delta_t^3 + b_{ki}\delta_t^2 + c_{ki}\delta_t; \\ \Delta_{tki0}^2 &= 6a_{ki}\delta_t^3 + 2b_{ki}\delta_t^2; \\ \Delta_{tki0}^3 &= 6a_{ki}\delta_t^3,\end{aligned}\tag{9}$$

где δ_t – величина шага вычислений.

С шагом δ_t на кривой вычисляются промежуточные точки. Они соединяются прямолинейными отрезками, благодаря чему возникает кусочно-линейная траектория. Ее визуальная плавность зависит от выбора δ_t . После нахождения начальных значений конечных разностей для очередного отсека кривой каждая его промежуточная точка вычисляется за три операции суммирования.

Укрупненный алгоритм построения криволинейной траектории движения объекта, основанный на интерполяции В-сплайновыми отсеками, замене исходных опорных точек на новые, применении кратных опорных точек и конечных разностей, состоит из следующих шагов:

- получение координат очередной опорной точки;
- ввод исходных данных: количества N и координат x_i, y_i, z_i ($i=0,1,\dots,N-1$) опорных точек, создание массива координат опорных точек в соответствии с множеством RP ;
- вычисление масштабных коэффициентов по координатным осям x, y и z сцены;
- создание массива коэффициентов в соответствии с матрицей $M1$;
- поиск новых опорных точек: решение системы уравнений (2) методом Гаусса;
- применение кратных опорных точек: создание нового массива координат опорных точек для В-сплайна в соответствии с множеством \overline{RP} ;
- вычисление коэффициентов формы В-сплайна по выражениям (7);
- вычисление промежуточных значений функций (6) методом конечных разностей (выражения (8),(9)).
- построение траектории по промежуточным точкам средствами графической библиотеки.

4. Программная реализация отображения траектории

Программа отображения пространственной траектории движения объектов написана на языке C^{++} . Главное окно программы приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Главное окно программы отображения траектории движения динамических объектов

В его левой части размещены средства ввода исходных данных и настройки параметров изображения, правая часть отведена под отображение подстилающей поверхности и траектории. В качестве подстилающей поверхности используются трехмерный рельеф, карта или результаты фотосъемки. Ракурс обзора и масштаб подстилающей поверхности выбираются пользователем. Траектория рисуется линией с заданными параметрами толщины и цвета, на ней показываются опорные точки.

На рисунке 2 представлены фрагменты окна программы с изображением пространственной траектории, построенной на 5 и 8 опорных точках. Визуальный анализ показывает, что общая часть траектории на этих рисунках практически идентична по форме. Это свидетельствует о незначительности геометрических искажений, возникающих при изменении набора опорных точек.

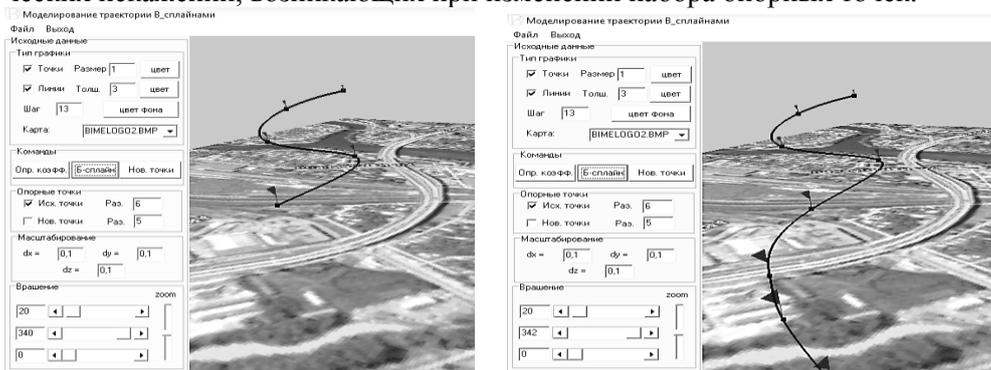


Рисунок 2 – Фрагменты окна программы с изображением пространственной траектории, построенной на 5 (а) и 8 (б) опорных точках

Таким образом, предложенный алгоритм сплайн-интерполяции пространственной траектории динамического объекта обеспечивает точное прохождение траектории через характерные точки движения объекта. Применение метода конечных разностей позволяет повысить производительность алгоритма от 3 до 10 раз в зависимости от длины отображаемой траектории и количества промежуточных точек, используемых для ее рисования. По данным эксперимента текущие изменения формы отображаемой траектории не снижают эргономичности ее представления.

Список литературы

1. Косников Ю.Н., Власов В.С. Геометрическое моделирование пространственных форм в проектировании интерфейса АСУ специального назначения // *Вопросы радиоэлектроники, серия «Системы отображения информации и управления спецтехникой»*, 2012, вып.1. – С.33–42.
2. Бибарсов А.Д., Власов В.С., Косников Ю.Н. Интерфейс мониторинга воздушной обстановки для систем управления ПВО // *Вопросы радиоэлектроники, серия «Общетехническая»*, 2011, Т. 1, № 2. – С. 77-84.
3. Ву М., Девис Т., Нейдер Дж., Шрайнер Д. *OpenGL. Руководство по программированию. Библиотека программиста. 4-е издание.* – СПб.: Питер, 2006. – 624 с.
4. Александрова Н.В., Зимин А.П., Косников Ю.Н., Хоанг Тхай Хо. Смешивающие функции в геометрическом моделировании и визуализации поверхностей свободных форм // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научное периодическое издание. Серия: Технические науки. Информационные технологии.* – Пенза: Изд-во ПГТУ, 2015, №03(25). – Т.1 – С.176 – 183.
5. Роджерс Д., Адамс Дж. *Математические основы машинной графики.* – М.: Мир, 2001. – 604 с.
6. Косников Ю.Н. Применение бикубических сплайнов в графических системах реального времени // *Вестник Саратовского государственного технического университета*, 2005, №4(9). – С.30–36.

УДК 28.19.31
ББК 22

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ В ОЦЕНКЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

© *М.А. Бармин, Пензенский государственный технологический университет*
(г. Пенза, Россия)

INTELLECTUAL CAPITAL IN THE EVALUATION OF COMPETITIVE COMPANIES

© *M.A. Barmin, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье представлен механизм прогнозирования получения продукции и/или услуг для различных групп факторов как в текущем, так и в плановом периодах. Проведены расчеты уровня интеллектуального капитала на примере предприятия по производству металлоконструкций.

Ключевые слова: уровень интеллектуального капитала, конкурентоспособность, механизм оценки, факторы.

The article presents a forecasting mechanism of obtaining of products and/or services for different groups of factors as in current and planning periods. The calculations of the level of intellectual capital on the example of enterprises for the production of metal.

Key words: the level of intellectual capital, competitiveness, evaluation mechanism, factors.

Главной задачей успешного функционирования предприятия является управление его конкурентоспособностью. Используя механизмы управления конкурентоспособностью, руководство предприятия получает возможность оценивать партнеров по рынку, исследовать и прогнозировать факторы внешней среды, выстраивать стратегические позиции производства.

Оценка конкурентоспособности предприятия может быть определен как совокупность показателей, характеризующих преимущества на рынке:

цена, качество продукции и/или предоставляемых услуг, финансово-хозяйственная деятельность, маркетинговая деятельность, производственная деятельность, инновационная деятельность, управление качеством, человеческие активы, инфраструктурные активы, интеллектуальная собственность, рыночные активы.

Процесс управления предприятием необходимо регламентировать, разработать набор правил и подходов, и на их основе механизмы оценки уровней управления конкурентоспособностью.

Одним из основных уровней, максимально влияющим на конкурентоспособность предприятия, является уровень интеллектуального капитала предприятия (УИК), так как, уровень развития человеческих ресурсов определяет материальное, экономическое, организационное и технологическое развитие предприятия.

В статье предполагается определить механизм оценки УИК на основе самодиагностики, который заключается в периодическом сравнении своих показателей УИК во времени. Такая модель позволит в динамике оценить УИК, определить факторы, влияющие на характер изменений.

Механизм оценки УИК предприятия включает в себя следующие этапы:

- 1) Определение групп ИК.
- 2) Определение факторов групп интеллектуального капитала (ИК).
- 3) Определение внутри группы значений факторов ИК в динамике (текущее значение, плановое значение).
- 4) Определение внутри группы факторов, с увеличением значений которых ИК предприятия повышается («прямые»), и наоборот («обратные»).
- 5) Вычисление индивидуальных значений факторов в группе.
- 6) Вычисление комплексных показателей ИК группы.
- 7) Вычисление интегральных показателей ИК с учетом весовых коэффициентов каждой из групп.
- 8) Определение добавленной стоимости в динамике.
- 9) Вычисление УИК, в динамике.

Механизм оценки УИК можно представить в виде алгоритма, представленного на рисунке 1. Ввод значений показателей факторов ИК (текущее значение фактора $F[i, \text{тек}]$, плановое значение фактора $F[i, \text{пл}]$), где i - номер фактора ИК группы, n - количество факторов в группе.

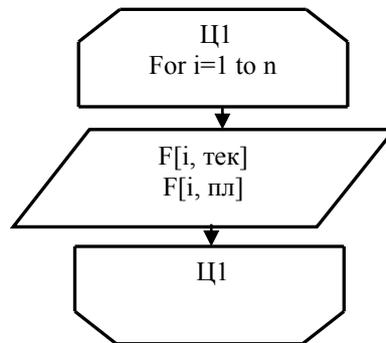


Рисунок 1 – Ввод значений показателей факторов

Алгоритм вычисления индивидуальных значений факторов $Y[i, \text{тек}]$, $Y[i, \text{пл}]$ в группе, где $F[i, t]$ – максимальное значение i -го фактора среди $F[i, \text{тек}]$ и $F[i, \text{пл}]$, представлен на рисунке 2.

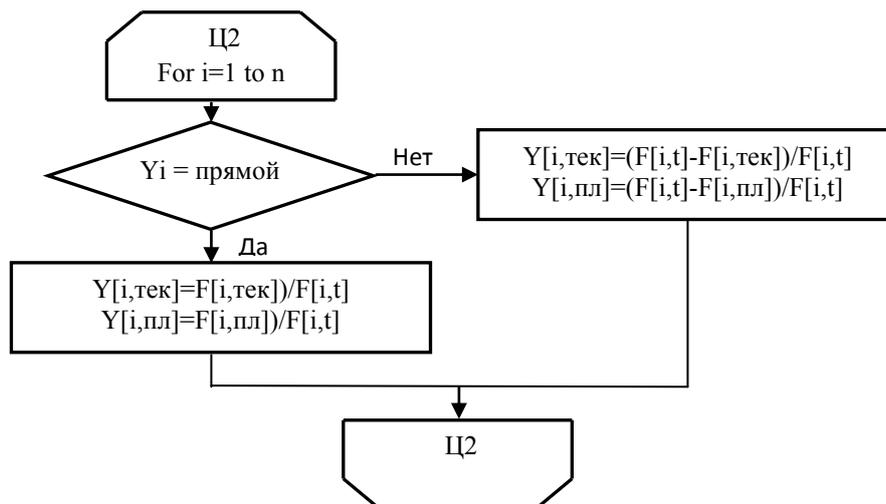


Рисунок 2 – Вычисление индивидуальных значений факторов

На рисунке 3 представлен алгоритм вычисления комплексных показателей ИК группы $K_k[j, \text{тек}]$, $K_k[j, \text{пл}]$, где j – номер группы, m – количество групп.

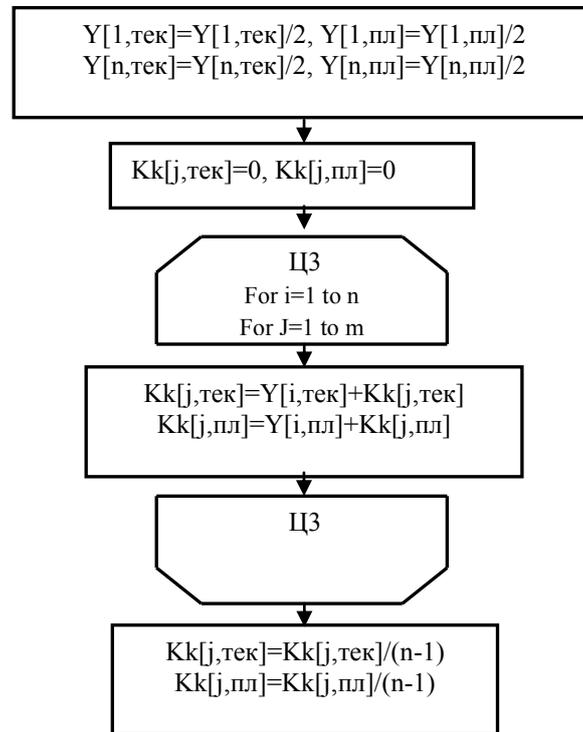


Рисунок 3 – Вычисление комплексных показателей ИК

Вычисление интегральных показателей ИК $Kk[m, \text{тек}]$ и $Kk[m, \text{пл}]$ производится с учетом весовых групповых коэффициентов α_i . Значение α_i определяется для каждой группы. Вычисление плановой добавленной стоимости $D_{\text{ст.пл.}}$, определяется с учетом значения среднегодового показателя уровня инфляции Кинф (рисунок 4). Уровень интеллектуального капитала (УИК) определяется при значении коэффициента предпочтений лица принимающего решение $\varepsilon = 0,5$, что позволяет учесть экономическую составляющую УИК в реальных условиях конкретности сравниваемых объектов, или объекты для различных временных значений.

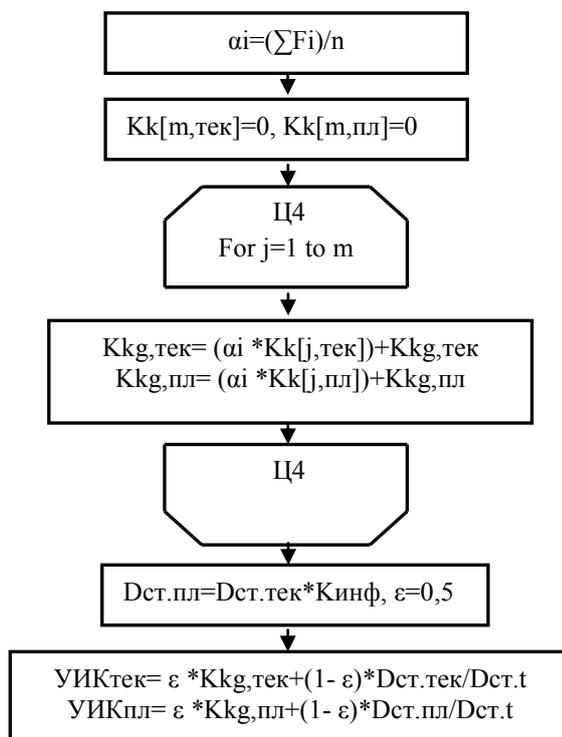


Рисунок 4 – Вычисление интегральных показателей ИК

Практическое применение данного механизма оценки УИК покажем на примере предприятия ОАО «МетСтрой», занимающегося производством и изготовлением металлоконструкций.

Для оценки УИК были определены 46 факторов, разбитых на 4 группы. Факторы, их значения в текущем и в плановом периодах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы оценки УИК предприятия ОАО «МетСтрой»

Группа ИК	Факторы ИК	ОАО «МетСтрой»	
		Текущее значение	Плановое значение
1. Человеческие активы	Относительное количество работников с ВО, %	33	34
	Количество работников с учеными степенями	2	2
	Относительное количество работников прошедших переподготовку/повышение квалификации, %	13	15
	Относительное кол-во работников получающих СПО/ВО, %	0,9	1
	Уровень средней заработной платы, тыс. руб	32,3	35,53
	Средний стаж работников предприятия	12	13
	Средний квалификационный разряд рабочих	5,1	5,2
	Среднее количество используемого библиотечного фонда предприятия	15	16
	Повышение квалификации и переподготовка, тыс. руб.	351	390
	Число высококвалифицированных специалистов с несколькими ВО	6	6
	Количество работников имеющих ноу-хау	3	3

	<i>Относительное количество административно-управленческого персонала, %</i>	39	38
	<i>Относительное количество высокотехнологичных рабочих мест, %</i>	23	20
	<i>Количество больничных дней</i>	841	720
	<i>Относительное количество нарушений трудовой дисциплины</i>	3,1	2,9
	<i>Количество несчастных случаев на производстве</i>	1	1
	<i>Относительная текучесть кадров</i>	6,2	5,5
	<i>Средний возраст работников</i>	53	51
2.Инфраструктурные активы	Наличие дорожной карты развития (1-да, 0-нет)	1	1
	Наличие корпоративной вычислительной сети	1	1
	Наличие сертифицированной системы менеджмента качества	1	1
	Наличие единой системы электронного документооборота	0	1
	Библиотечный фонд предприятия, тыс.экз	520	525
	Количество стандартов предприятия	15	17
	Наличие системы подготовки кадров по целевому направлению	0	1
	Количество совместных базовых кафедр с образовательными учреждениями	0	1
	Относительное количество работников, занятых в научных и социально-культурных мероприятиях предприятия, %	7,2	7,5
	Наличие официального сайта предприятия	1	1
<i>Относительное количество не автоматизированных рабочих мест, %</i>	49	33	
3.Интеллектуальная собственность	Количество патентов на изобретения	5	5
	Количество свидетельств на регистрацию БД	3	3
	Количество патентов на промышленные образцы	29	30
	Количество проданных лицензий	1	1
	Количество приобретенных лицензий	0	0
	Количество ноу-хау	3	3
	Количество используемого ПО (СПО, ППО, СУБД)	11	13
	<i>Количество потерянных секретов</i>	1	0
4.Рыночные активы	Количество торговых марок	2	2
	Количество постоянных клиентов	31	40
	Количество маркетинговых технологий	5	6
	Число договоров НИР и ОКР	1	1
	Число дистрибьюторов и дилеров предприятия	10	12
	Количество договоров на поставку	9	12
	Относительное количество уникальных просмотров официального сайта, %	56	65
	<i>Количество судебных разбирательств</i>	1	1
<i>Количество потерянных клиентов</i>	7	6	

В таблице 1 «обратные» факторы выделены курсивом. Жирным курсивом помечены планируемые или ожидаемые значения факторов будущих периодов.

Результат вычислений в группе «Человеческие активы» индивидуальных факторов, комплексных показателей ИК, весового группового коэффициента представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Результат вычислений ИК по группе «Человеческие активы»

Группа ИК	Факторы ИК	ОАО «МетСтрой»		Компл. пок.	
		Тек. зн.	Пл. зн.	Тек. зн.	Пл. зн.
Человеческие активы	Относительное количество работников с ВО, %	33,0	34,0	0,9706	1,0000
	Количество работников с учеными степенями	2,0	2,0	1,0000	1,0000
	Относительное количество работников прошедших переподготовку/повышение квалификации, %	13,0	15,0	0,8667	1,0000
	Относительное количество работников получающих СПО/ВО, %	0,9	1,0	0,9000	1,0000
	Уровень средней заработной платы, тыс. руб	32,3	35,5	0,9091	1,0000
	Средний стаж работников предприятия	12,0	13,0	0,9231	1,0000
	Средний квалификационный разряд рабочих	5,1	5,2	0,9808	1,0000
	Среднее количество используемого библиотечного фонда предприятия	15,0	16,0	0,9375	1,0000
	Затраты на повышение квалификации и переподготовку, тыс. руб.	351,0	390,0	0,9000	1,0000
	Число высококвалифицированных специалистов с несколькими ВО	6,0	6,0	1,0000	1,0000
	Количество работников имеющих ноу-хау	3,0	3,0	1,0000	1,0000
	Относительное количество административно-управленческого персонала, %	39,0	38,0	0,0256	0,0256
	Относительное количество высокотехнологичных рабочих мест, %	23,0	20,0	0,1304	0,1304
	Количество больничных дней	841,0	720,0	0,0000	0,1439
	Относительное количество нарушений трудовой дисциплины	3,1	2,9	0,0645	0,2000
	Количество несчастных случаев на производстве	1,0	1,0	0,0000	0,0000
	Относительная текучесть кадров	6,2	5,5	0,1129	0,1129
Средний возраст работников	53,0	51,0	0,0377	0,0377	
Весомость группы 0,391	Групповой комплексный показатель	0,6032	0,6548		

Результат вычислений в группе «Инфраструктурные активы» индивидуальных значений факторов, комплексных показателей ИК, весового группового коэффициента представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Результат вычислений ИК по группе «Инфраструктурные активы»

Группа ИК	Факторы ИК	ОАО «Мет-Строй»		Компл. пок.	
		Тек. зн.	Пл. зн.	Тек. зн.	Пл. зн.
Инфраструктурные активы	Наличие дорожной карты развития (1-да, 0-нет)	1	1	1,0000	1,0000
	Наличие корпоративной вычислительной сети	1	1	1,0000	1,0000
	Наличие сертифицированной системы менеджмента качества	1	1	1,0000	1,0000
	Наличие единой системы электронного документооборота	0	1	0,0000	1,0000
	Библиотечный фонд предприятия, тыс.экз	520	525	0,9905	1,0000
	Количество стандартов предприятия	15	17	0,8824	1,0000
	Наличие системы подготовки кадров по целевому направлению	0	1	0,0000	1,0000
	Количество совместных базовых кафедр с образовательными учреждениями	0	1	0,0000	1,0000
	Относительное количество работников, занятых в научных и социально-культурных мероприятиях предприятия, %	7,2	7,5	0,9600	1,0000
	Наличие официального сайта предприятия	1	1	1,0000	1,0000
	<i>Относительное количество не автоматизированных рабочих мест, %</i>	49	33	0,0000	0,3265
Весомость группы 0,239	Групповой комплексный показатель	0,6333	0,9663		

Результат вычислений в группе «Интеллектуальная собственность» индивидуальных значений факторов, комплексных показателей ИК, весового группового коэффициента представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Результат вычислений ИК по группе «Интеллектуальная собственность»

Группа ИК	Факторы ИК	ОАО «Мет-Строй»		Компл. пок.	
		Тек. зн.	Пл. зн.	Тек. зн.	Пл. зн.
Интеллектуальная собственность	Количество патентов на изобретения	5	5	1,0000	1,0000
	Количество свидетельств на регистрацию БД	3	3	1,0000	1,0000
	Количество патентов на промышленные образцы	29	30	0,9667	1,0000
	Количество проданных лицензий	1	1	1,0000	1,0000
	Количество приобретенных лицензий	0	0	0,0000	0,0000
	Количество ноу-хау	3	3	1,0000	1,0000
	Количество используемого ПО (СПО, ППО, СУБД)	11	13	0,8462	1,0000
	<i>Количество потерянных секретов</i>	1	0	0,0000	0,0000
Весомость группы 0,174	Групповой комплексный показатель	0,7590	0,7857		

Результат вычислений в группе «Рыночные активы» индивидуальных значений факторов, комплексных показателей ИК, весового группового коэффициента представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Результат вычислений ИК по группе «Рыночные активы»

Группа ИК	Факторы ИК	ОАО «Мет- «Мет- Строй»		Компл. пок.	
		Тек. зн.	Пл. зн.	Тек. зн.	Пл. зн.
Рыночные активы	Количество торговых марок	2	2	1,0000	1,0000
	Количество постоянных клиентов	31	40	0,7750	1,0000
	Количество маркетинговых технологий	5	6	0,8333	1,0000
	Число договоров НИР и ОКР	1	1	1,0000	1,0000
	Число дистрибьюторов и дилеров предприятия	10	12	0,8333	1,0000
	Количество договоров на поставку	9	12	0,7500	1,0000
	Относительное количество уникальных просмотров официального сайта, %	56	65	0,8615	1,0000
	<i>Количество судебных разбирательств</i>	1	1	0,0000	0,0000
	<i>Количество потерянных клиентов</i>	7	6	0,0000	1,0000
Весомость группы 0,196	Групповой комплексный показатель	0,69 42	0,87 5		

Результат вычислений интегральных показателей ИК с учетом весовых коэффициентов каждой из групп, значение коэффициента предпочтений лица принимающего решения, равное 0,5, значение добавленной стоимости на текущий период, и вычисленное значение добавленной стоимости в плановом периоде (с учетом среднегодового коэффициента уровня инфляции), представлены в таблице 6. Также в таблице 6 представлено значение УИК в текущем и плановом периодах.

Таблица 6 – Итоговые результаты УИК

Интегральный показатель ИК		
Интеллектуальный потенциал с учетом весов	0,6554	0,7951
Добавленная стоимость, млн. руб.	480	532,8
УИК при значении $\varepsilon=0,5$	0,7782	0,8976

На основе значений факторов текущего периода и планируемых значений факторов были проведены вычисления УИК предприятия до и после процессов модернизации системы использования кадрового потенциала. В результате вычислений УИК ОАО «МетСтрой» установлено, что он увеличился с 0,655 (текущее состояние) до 0,795 (плановое состояние). Увеличение значения УИК произошло в первую очередь за счет эффективного менеджмента и развития ИК по четырем направлениям: человеческие активы (относительное увеличение количества работников с высшим образованием, увеличения уровня средней заработной платы, увеличения затрат на повышение квалификации работников, сокращение административно-управленческого персонала и общего количества больничных дней, сокращение среднего возраста работников), инфраструктурные активы (создание единой системы электронного документооборота, совместных с ВУЗами базовых кафедр, сокращение количества неав-

томатизированных рабочих мест), интеллектуальной собственности (увеличение количества патентов на промышленные образцы, сокращение потерянных секретов), рыночных активов (увеличение числа постоянных клиентов и договоров на поставку продукции и услуг, увеличение числа дилеров, снижение потерянных клиентов и др.).

При плановом увеличении добавленной стоимости на коэффициент уровня годовой инфляции (равным 11%), обобщенное значение УИК ОАО «МетСтрой» повышается на 15,4% (с 0,778 до 0,898), что также говорит о положительной динамике развития предприятия. Полученные в статье результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработана математическая модель управления конкурентоспособностью предприятия на основе учета многофакторных параметров его функционирования в реальных условиях рыночной экономики.

2. Предложенная математическая модель позволяет прогнозировать получение продукции для различных групп факторов как в текущем, так и в плановом периодах.

3. Проведенные вычисления УИК предприятия до и после процессов модернизации системы кадрового потенциала - основы предприятия, позволяют формировать планы по повышению эффективности производства, конкурентоспособности его продукции.

Список литературы

1. В. Ю. Школа, В. А. Щербаченко. *Управление интеллектуальным капиталом предприятия машиностроительной отрасли.* // Основы экономики, управления и права, №4(10), 2013. С.-87-91.
2. Х. А. Фасхиев, А. В. Крахмалева. *Двухступенчатая модель управления конкурентоспособностью предприятия.* // Вестник УГАТУ, №19, 2015. С. 278-294.
3. Баумгартен Л. В. *Анализ методов определения конкурентоспособности организаций и продукции.* // Маркетинг в России и за рубежом. -2005.-№4-С. 72-85.
4. А. Л. Никишкина. *Влияние основных элементов интеллектуального капитала на конкурентные преимущества организации.* // Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. №3(18), 2014. С.- 40-43.
5. Х. А. Фасхиев. *Интеллектуальная поддержка ранжирования объектов по конкурентоспособности.* // Вестник УГАТУ, №3 (64), 2014. С. 210-224.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 004.891; 368.54
ББК 30

ОЦЕНКА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МАТРИЦ В МОДЕЛЯХ РИСК¹

© *А.Ю. Киндаев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

EVALUATION OF THE CORRELATION MATRIX IN THE RISK MODEL

© *A.Yu. Kindayev, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

При рассмотрении вопросов страхования ключевым элементом решения задачи определения оптимальных тарифов является адекватная модель риска. В силу зависимости убытков по отдельным договорам, существенную роль играет корреляционная матрица, характеризующая связь между объектами страхования. Вопросу оценки корреляционных матриц в подобных моделях риска и посвящена данная работа.

Ключевые слова: корреляционная матрица, модель риска, страхование.

When considering insurance as a key element of the solution to the problem of determining the optimal tariff is an adequate risk model. Because of the dependence of the losses on individual contracts, significant role is played by the correlation matrix describing the relationship between the objects of insurance. The issue of estimating the correlation matrices in such models risk and this work is dedicated.

Key words: correlation matrix, risk model, insurance. **E-mail:** ale-kindayev@yandex.ru.

Проблема оптимизации страховых тарифов при страховании сельскохозяйственных рисков для Российской Федерации в настоящий момент актуальна. Долгие годы государство брало на себя убытки сельского хозяйства в случае существенных убытков из-за неурожая. При переходе на рыночные механизмы регулирования и поддержки сельского хозяйства, а так же при соблюдении правил ВТО, такой подход не совсем подходит. Возможной альтернативой является страховая поддержка сельского хозяйства с участием государства. В последние годы государство разработало ряд мер для поддержки страхования в сельском хозяйстве. Однако, не смотря на все усилия, значительного увеличения количества участников сельскохозяйственного страхования не происходит.

На сегодняшний день, рынок сельскохозяйственного страхования снизился вдвое, так за 2015 года было собрано 7 853 393 тыс. рублей, что составляет лишь 47% от объема 2014 года. Это объясняется сложной экономической ситуацией в стране, отсутствием свободных денег у сельхозпроизводителей, санкциями государств и рядом других факторов. Однако нельзя не отметить рост продукции сельского хозяйства в фактически действовавших ценах, которые составил 17% в 2014 относительно 2013 года (4319 млрд. рублей в 2014 году против 3687,1 млрд. рублей в 2013 году) [1]. Если предположить, что средняя ставка для страховых взносов составляет 10%, то получается, что сумма взносов должна составить 431,9 млрд. рублей, однако, по факту эта сумма составляет

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-36-00275 мол_а

лишь 16,7 млрд. рублей или чуть меньше 4%, что говорит о слабой вовлеченности сельхозпроизводителей в процесс страхования.

В ранее проведенном исследовании [2-3], нами были рассмотрены вопросы имитационного моделирования рисков при выращивании сельскохозяйственных культур. В ходе проведенного исследования [4-5] было получено, что результаты выращивания зерновых культур в районах области коррелируют между собой. Это вызвано относительно небольшой территорией области и схожестью экономико-географических характеристик районов. Данный факт существенным образом влияет на процесс страхования в сельском хозяйстве, где ключевым положением является независимость наступления страховых случаев между собой. Стоит заметить, что на результаты моделирования существенным образом влияет выбор корреляционной матрицы [6]. Накопленные статистические данные позволяют проследить, как изменялись результаты выращивания сельскохозяйственных культур по районам области.

Основным средством производства в сельском хозяйстве является земля, природные особенности которой тесно связаны с агроклиматическими условиями. В отличие от других отраслей народного хозяйства продуктивность земли не поддается точному учёту и под влиянием разных факторов меняет природный и экономический характер. В сельском хозяйстве на одной и той же земле можно выращивать многочисленные виды культур. На рисунке 1 представлена посевная площадь под основными зерновыми и зернобобовыми культурами Саратовской области за период с 1965 по 2014 годы.

Для анализа изменений в структуре посевных площадей была проведена кластеризация по годам на основе данных с 1965 по 2014 годы на основе агломеративного иерархического алгоритма кластерного анализа [9]. Показателями для кластерного анализа послужили ежегодные данные посевных площадей пяти зерновых культур. На рисунке 2 представлена дендрограмма.

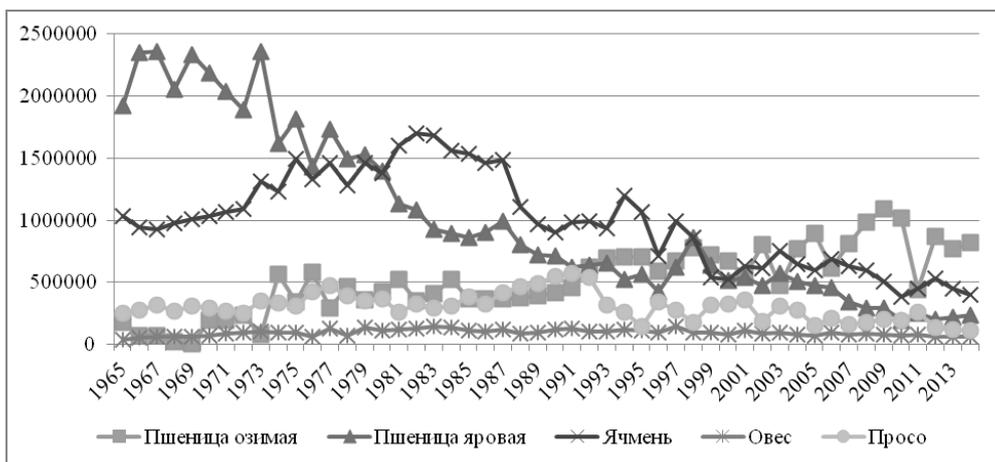


Рисунок 1 – Посевная площадь зерновых культур с 1965 по 2014 гг.

Из рисунка 1 видно, что структура посевных площадей в Саратовской области с годами претерпела существенные изменения, и можно заметить, что видимые изменения в структуре начали происходить в конце 80-х годов, чем и объясняется разбиение на вышеуказанные кластеры.

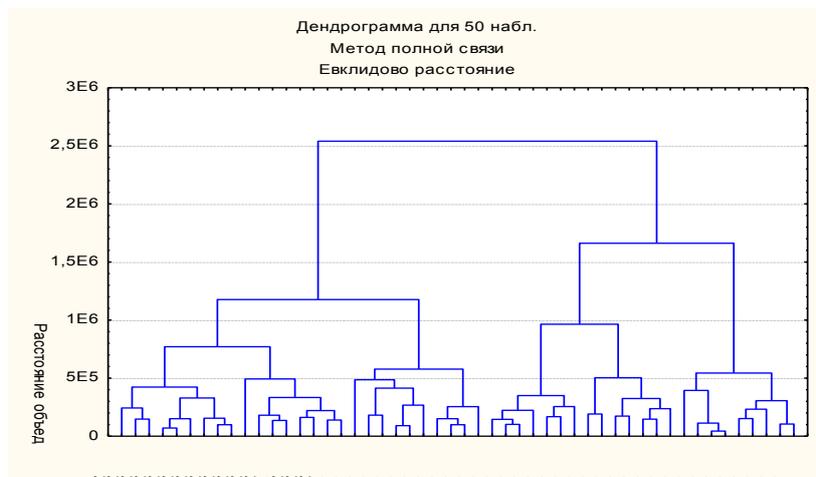


Рисунок 2 – Результаты кластеризации зерновых культур по площади посевов

Для проведения кластеризации использовался пакет прикладных программ Statistica (модуль – кластерный анализ) и статистическая информация. В результате исследуемый период можно разделить на три кластера: первый кластер это период с 1965 по 1973 год включительно, второй кластер включает период с 1974 по 1987 год и третий кластер с 1988 по 2014 год. В результате кластеризации исторических данных было получено два кластера: в первый кластер вошли года с 1988 включительно по 2014 годы, а во второй с 1965 по 1987 включительно. Среднее значение по сумме площадей за год в первом кластере составило 2294882 га, во втором 3660050 га. В 1988 году происходит резкое изменение в структуре посевных площадей Саратовской области, а именно резкое уменьшение размеров посевов с 3378946 га в 1987 до 2843753 в 1988 году, или на 16%.

Изменения происходили не только в общей площади посевов, но и в размерах посевных площадей отдельных культур. В Таблице 1 представлено сравнение размеров посевных площадей за различные периоды времени, где 1965 год взят за базовый период, с которым сравниваются другие года.

Таблица 1 – Сравнение размеров посевных площадей в Саратовской области

	1965	1975	1985	1995	2005	2014	1975	1985	1995	2005	2014
							к 1965 в %				
Пшеница озимая	176832	339889	369270	707324	894319	818970	192	в 2,1 р.	в 4 р.	в 5,1 р.	в 4,6 р.
Пшеница яровая	1920847	1818400	858017	568387	471751	236280	95	45	30	25	12
Ячмень	1035657	1497419	1532450	1065484	599659	402104	145	148	103	58	39
Овес	35941	100000	110588	112115	71465	65875	в 2,8 р.	в 3,1 р.	в 3,1 р.	в 2 р.	183
Просо	251220	312647	385294	144211	156609	111477	124	153	57	62	44

Из таблицы 1 видно, что почти в пять раз выросли размеры посевных площадей под пшеницу озимую относительно 1965 года. Произошло изменение и в размерах посевов пшеницы яровой, которые уменьшились на 88% относительного базового периода, стоит также заметить, что посевы пшеницы яровой в 1965 году более чем в 10 раз превышали посевы пшеницы озимой, а у же в 2014 году уже наблюдается противоположная ситуация, пшеница озимая в 3,5 раза превосходит площадь под пшеницей яровой. Увеличение посевов также наблюдается под овсом (относительно 1965 года), однако из таблицы 1 видно, что рост уже не наблюдается с 2005 года, и заметна тенденция на снижение и в дальнейшем.

Можно сделать вывод, что в Саратовской области сделан акцент на выращивании пшеницы озимой, однако территория области находится в зоне рискованного земледелия и при выращивании зерновых становится весьма вероятным риск вымерзания озимых, и как следствие невысокая урожайность [3-5].

Несмотря на изменения в структуре посевных площадей, размерах этих площадей в районах, изменения границ районов, вопрос изменения связей между районами остается не ясным. Для выявления реальных связей между хозяйствующими субъектами можно провести на основе корреляционного анализа. Данный анализ будем проводить для ячменя ярового. На основе кластерного анализа, проведенного по урожайности ячменя ярового за период с 1965 по 2014 годы, выберем районы, попавшие в первый кластер, а именно Аркадакский, Балашовский, Романовский, Ртищевский, Самойловский, Турковский, Аткарский, Екатериновский и Калининский районы, представляющие собой запад области. Анализ будем проводить по указанным выше районами за период с 1965 по 1980 гг., за период с 1981 по 1997 гг., за период с 1998 по 2014 гг и за период с 1965 по 2014 гг.

Коэффициенты корреляции будем определять по следующей формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

где в качестве x и y выступают данные об урожайностях ячменя ярового в двух районах за n лет.

Корреляционные матрицы по данным периодам представлены в таблицах 2-5. В таблице 5 представлена корреляционная матрица между выделенными районами Саратовской области с 1965 по 2014 год.

Таблица 2 – Корреляционная матрица между районами за период 1965-1980 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I	1	0,91	0,92	0,89	0,92	0,92	0,89	0,93
II	0,91	1	0,87	0,73	0,97	0,81	0,82	0,95
III	0,92	0,87	1	0,90	0,86	0,94	0,90	0,86
IV	0,89	0,73	0,90	1	0,74	0,96	0,91	0,72
V	0,92	0,97	0,86	0,74	1	0,80	0,86	0,97
VI	0,92	0,81	0,94	0,96	0,80	1	0,93	0,79
VII	0,89	0,82	0,90	0,91	0,86	0,93	1	0,86
VIII	0,93	0,95	0,86	0,72	0,97	0,79	0,86	1

Таблица 3 – Корреляционная матрица между районами за период 1980-1997 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I	1	0,95	0,91	0,76	0,86	0,90	0,85	0,74
II	0,95	1	0,94	0,81	0,94	0,90	0,82	0,85
III	0,91	0,94	1	0,81	0,89	0,92	0,82	0,79
IV	0,76	0,81	0,81	1	0,87	0,91	0,78	0,71
V	0,86	0,94	0,89	0,87	1	0,87	0,85	0,90
VI	0,90	0,90	0,92	0,91	0,87	1	0,82	0,70
VII	0,85	0,82	0,82	0,78	0,85	0,82	1	0,78
VIII	0,74	0,85	0,79	0,71	0,90	0,70	0,78	1

Таблица 4 – Корреляционная матрица между районами за период 1998-2014 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I	1	0,65	0,75	0,85	0,84	0,80	0,82	0,82
II	0,65	1	0,77	0,75	0,69	0,62	0,48	0,62
III	0,75	0,77	1	0,92	0,91	0,78	0,72	0,84
IV	0,85	0,75	0,92	1	0,89	0,82	0,71	0,79
V	0,84	0,69	0,91	0,89	1	0,75	0,83	0,94
VI	0,80	0,62	0,78	0,82	0,75	1	0,62	0,68
VII	0,82	0,48	0,72	0,71	0,83	0,62	1	0,88
VIII	0,82	0,62	0,84	0,79	0,94	0,68	0,88	1

Таблица 5 – Корреляционная матрица между районами за период 1965-2014 гг.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
I	1	0,83	0,86	0,78	0,88	0,88	0,81	0,83
II	0,83	1	0,84	0,74	0,85	0,76	0,69	0,82
III	0,86	0,84	1	0,76	0,88	0,89	0,74	0,82
IV	0,78	0,74	0,76	1	0,69	0,76	0,82	0,71
V	0,88	0,85	0,88	0,69	1	0,84	0,74	0,90
VI	0,88	0,76	0,89	0,76	0,84	1	0,72	0,71
VII	0,81	0,69	0,74	0,82	0,74	0,72	1	0,82
VIII	0,83	0,82	0,82	0,71	0,90	0,71	0,82	1

где, I – Аркадакский район, II – Балашовский район, III – Романовский район, IV – Ртищевский район, V – Самойловский район, VI – Турковский район, VII – Екатериновский район, VIII – Калининский район.

Найдем интервальные оценки для матрицы, характеризующей взаимосвязь урожайности на рассматриваемом горизонте. В силу малой выборки ($n < 50$), необходимо выполнить преобразование коэффициента корреляции с

целью приближения его распределения к нормальному, для этого используем z -преобразованием Фишера [7]:

$$z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r},$$

получим переменную z распределенную нормально. Тогда стандартное отклонение находится по формуле:

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}.$$

На основании выборочного значения парной корреляции найти доверительные интервалы при заданной доверительной вероятности α не составляет большого труда. Доверительные границы будут находиться по формуле:

$$z - u_\alpha \sigma_z < Z < z + u_\alpha \sigma_z.$$

Для того, что бы найти необходимое значение r необходимо сделать обратное преобразование:

$$r = \frac{e^{2z} - 1}{e^{2z} + 1}.$$

Выдвигаем гипотезу H_0 о том, что корреляционные матрицы, характеризующие 1965-1980 годы, 1981-1997 годы и 1998-2014 годы не отличаются друг от друга (все соответствующие коэффициенты парной корреляции в трёх матрицах попарно равны между собой), при конкурирующей гипотезе H_1 что матрицы отличаются друг от друга. Уровень значимости $\alpha = 0,05$. Для проверки гипотезы воспользуемся следующей статистикой [7]

$$U = \frac{z_1 - z_2}{\sqrt{\frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3}}},$$

где z_1, z_2 результат z -преобразования Фишера рассматриваемых коэффициентов корреляции, n_1, n_2 – объёмы соответствующих выборок. Если расчетное значение статистики меньше критической двусторонней точки для нормального распределения, то результаты наблюдений не противоречат нулевой гипотезе.

По таблице критических точек нормального распределения для уровня значимости $\alpha = 0,05$, $u_\alpha = 1,96$.

Рассмотрим z -преобразование Фишера на примере Балашовского и Екатерининского районов. Для наглядности сведём необходимые расчетные значения в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчетные значения z -преобразования Фишера в исследуемых периодах

Период	r	z	σ_z	Z		r	
				$z - u_\alpha \sigma_z$	$z + u_\alpha \sigma_z$	Нижняя граница	Верхняя граница
1965-1980	0,82	1,157	0,277	0,613	1,700	0,546	0,935
1981-1997	0,82	1,157	0,267	0,633	1,681	0,560	0,933
1998-2014	0,48	0,523	0,267	-0,001	1,047	-0,001	0,781
1965-2014	0,69	0,848	0,146	0,562	1,134	0,510	0,812

При сравнении периода 1965-1980 гг. с периодом 1998-2014 гг. получим следующие результаты

$$U = \frac{|1,157 - 0,523|}{\sqrt{0,277^2 + 0,267^2}} = 1,647,$$

значение меньше критического, значит, нет оснований считать коэффициенты корреляции различными. Данный вывод получается при рассмотрении всех остальных пар.

Получается, что, несмотря на то, что за период с 1998 по 2014 год коэффициент корреляции составляет всего лишь 0,48, он не отличается от коэффициента корреляции периода с 1965 по 1980 гг. который составил 0,82. Прделав те же самые действия с другими районами, на основе таблиц 3-6 получили, что корреляционные матрицы не отличаются друг от друга.

В итоге, сравнивая матрицы за период с 1965 по 1980 гг. и с 1998 по 2014 гг. мы получили, что гипотеза H_0 с вероятностью 0,95 принимается и данные корреляционные матрицы не отличаются друг от друга. Следует заметить, что в основу первой матрицы легли за данные за 60-70-е годы, время директивного, командного управления, когда муниципальные образования строго выполняли указания по выращиванию сельскохозяйственных культур которые приходили из вышестоящих органов управления. Однако тот факт, что данные матрицы не отличаются друг от друга, свидетельствует о том, что, несмотря на влияние социально-экономических, политических и других факторов, реальные связи между хозяйствующими субъектами с годами не изменились и остаются очень сильными, о чем говорят высокие коэффициенты корреляции.

Список литературы

1. *Российский статистический ежегодник [Электронный ресурс]. Режим доступа:*
http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publication/s/catalog/doc_1135087342078 (Дата обращения: 01.02.2016 г.)
2. *Моисеев А.В., Киндаев А.Ю. Генерация многомерной случайной величины для моделирования страхования аграрных рисков//В сборнике: Математическое моделирование в экономике и управлении рисками материалы III Международной молодежной научно-практической конференции. Саратовский государственный университет. Саратов, 2014. С. 308-314.*
3. *Моисеев А.В., Киндаев А.Ю. Моделирование страхования в сельском хозяйстве с учетом коррелированности результатов по региону // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. № 3 (25). С.175-181.*
4. *Моисеев А.В., Киндаев А.Ю. Статистический анализ урожайности зерновых с целью моделирования процесса страхования сельскохозяйственных культур // В сборнике: Актуальные проблемы современных общественных наук: диалог общества и власти: материалы IV Междунар. науч.-практич. Интернет-конф. – Уфа: БАГСУ, 2014. – С.41-47.*
5. *Моисеев А.В., Киндаев А.Ю. Анализ результатов имитационного моделирования рисков выращивания сельскохозяйственных культур при страховании урожая в Пензенской области // В сборнике: Математическое моделирование в экономике, страховании и управлении рисками материалы IV Международной молодежной научно-практической конференции. Саратовский государственный университет. Саратов, 2015. С. 124-129.*

6. Дубров, А.М. *Многомерные статистические методы. Учебник* /А.М. Дубров, В.С. Мхитарян, Л.И. Трошин. М.: Финансы и статистика, 2011. – 352 с.
7. Гладков Л.Л., Гладкова Г.А. *Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие.* – Минск: РИПО, 2013. – 250 с.

УДК [622.276+665.6]:628.4.038:502.521
ББК 22

**ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ
ИЗ ОТХОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

© *Е.А. Колобова, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

INFLUENCE OF THE MODIFYING ADDITIVES ON PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF SULFUR

© *EA Kolobova, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены механизмы полимеризации серы и влияние модифицирующих добавок на этот процесс. Показано, что модифицирующие добавки влияют на физико-механические свойства композиционных материалов на основе серы. Приведен анализ функций прочности при сжатии и изгибе, пористости, плотности при различных соотношениях исходных веществ в материале.

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, полимерная сера, модифицирующие добавки, физико-механические свойства серных композитов из отходов нефтепереработки.

In article mechanisms of polymerization of sulfur and influence of the modifying additives on this process are considered. It is shown that the modifying additives influence physicommechanical properties of composite materials on the basis of sulfur. The analysis of functions of durability at compression and a bend, porosity, density at various ratios of initial substances is provided in material.

Key words: The oily waste, polymeric sulfur modifying additives, physicommechanical properties of sulfuric composites from oil processing waste.

Нефтесодержащие отходы (в том числе нефтешламы) образуются на всех этапах добычи и переработки нефти, оказывают существенное негативное воздействие на окружающую природную среду, поэтому поиск новых решений по их утилизации является актуальным [1]. Важным направлением рационального природопользования является использование нефтеотходов в качестве вторичных материальных ресурсов для получения композиционных материалов на их основе [2,3]. Подробнее вопросы структурообразования и синтеза композиционных материалов с заданными свойствами рассмотрены в работах [4,5]. Проведенный анализ исследований различных авторов показал некоторые направления использования отходов нефтеперерабатывающих производств, например, для получения материала изолирующего слоя полигонов отходов [6]; для производства топливных брикетов [7].

Введение модифицирующих добавок в расплав серы способствует регулированию процесса кристаллизации серы и образованию её полимерной модификации. Полимерная сера представляет собой неорганический полимер, молекулярная масса которого колеблется в пределах ($10^3 \dots 10^7$ г/моль) в зависимости от условий получения, плотность составляет 1920 кг/м^3 . Полимерная сера

нерастворима в органических растворителях и, исходя из условий получения, может образовывать две кристаллические модификации: μ и ω . [8]

Если молекулярная масса полимерной серы достигает некоторого критического значения образуется μ -модификация. Если же молекулярная масса меньше критического значения, образуется ω -модификация. При температуре расплава более 120 °С происходит процесс полимеризации серы, а при дальнейшем увеличении температуры происходит изменение молекулярной структуры полимерной серы (рисунок 1).

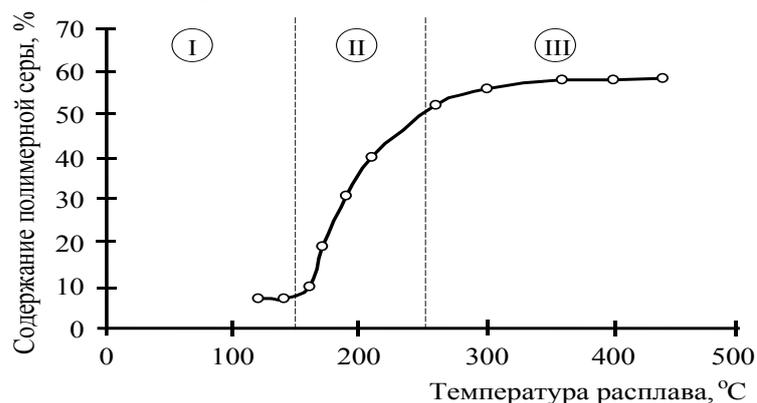
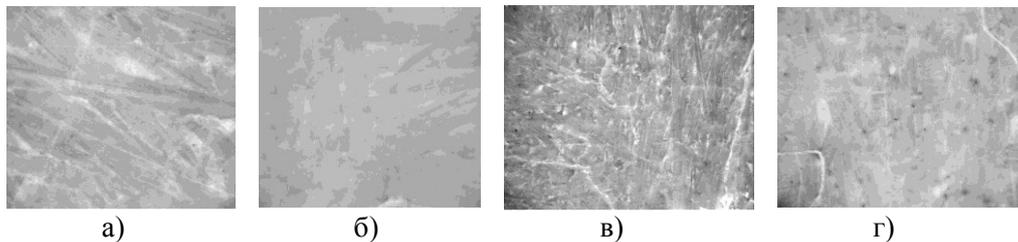


Рисунок 1 – Температурная зависимость содержания полимерной серы

Важными факторами, оказывающими доминирующее влияние на процесс полимеризации, являются температура и продолжительность изотермической выдержки расплава. Наличие примесей и добавок значительно влияет на результаты эксперимента. Например, наличие модификаторов изменяет реологические свойства расплава и механические свойства образцов.

При взаимодействии расплава серы с нефтешламом резервуарного типа происходит растворение нефтешлама в расплаве серы, затем химическое взаимодействие добавки с серой. При этом происходит образование термостабильной полимерной серы, определяющей эксплуатационные свойства композиционного материала.

В качестве модифицирующих добавок, оказывающих различное влияние на структуру и физико-механические свойства модифицированной серы, были использованы парафин и бензол. Добавки вводили в количестве, соответствующем их растворимости в расплаве серы, то есть от 0,25 до 4%. Анализ данных оптической микроскопии (рисунок 2) согласуется с данными, полученными другими авторами и показывает, что сера в условиях эксперимента имеет крупнокристаллическую структуру (средний размер кристаллов 3,75 мкм – рисунок 2, а, увеличение 32), и развитую сетку трещин (рисунок 2, в, увеличение 32). При введении в расплав модифицирующих добавок существенно изменяется структура серы: наблюдается формирование мелкокристаллической структуры с парафином – 1,95 мкм, с бензолом – 2,38 мкм (рисунок 2, б, г, увеличение 32), не имеющей или со слабо развитой сеткой трещин.



а) б) в) г)

Рисунок 2 – Структура шлифов серных образцов (серы – а, в), серы, модифицированной парафином (б), серы, модифицированной бензолом (г), увеличение 32

Данные оптической микроскопии хорошо согласуются с данными рентгеноструктурного анализа (рисунки 3, 4)

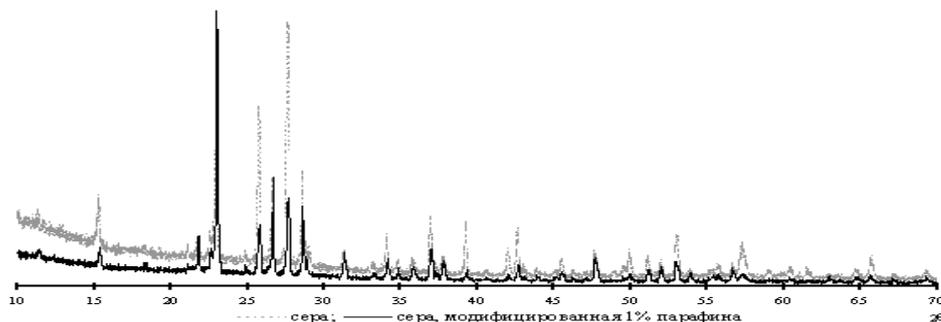


Рисунок 3 – Рентгенограмма серы и серы, модифицированной парафином

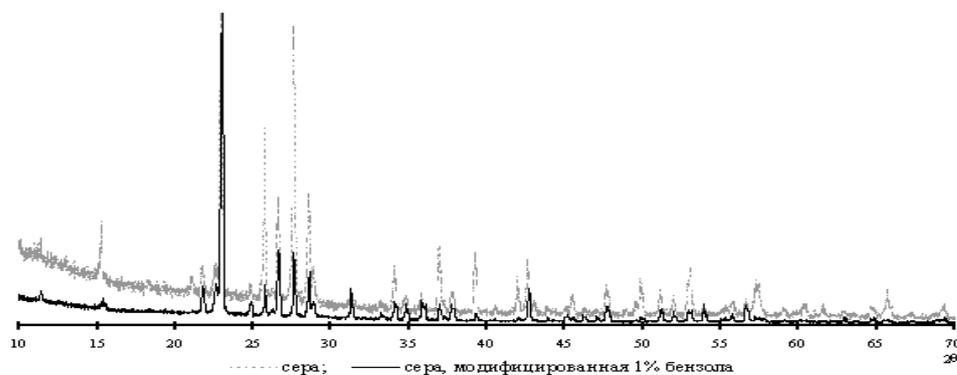


Рисунок 4 – Рентгенограмма серы и серы, модифицированной бензолом

В таблице 1 приведены межплоскостные расстояния и интенсивность d/I (Å/%) максимумов.

Таблица 1 – Межплоскостные расстояния и интенсивность d/I (Å/%) максимумов

Серa без добавки	Серa с бензолом	Серa с парафином
2,8641/8,13	2,8597/7,07	2,8597/7,31
2,7088/5,28	2,6979/2,99	2,7010/4,44
2,5826/7,32	2,5819/5,22	
1,4048/10,57	1,3991/1,49	1,4038/3,44
1,3341/5,28	1,3332/2,24	1,3341/3,05

Добавки значительно изменяют структуру серы: наблюдается значительное уменьшение интенсивности основных рефлексов серы, свидетельствующее о формировании мелкокристаллической структуры и полимерной модификации серы, которая стабилизируется модифицирующими добавками.

Анализ таблицы показывает, что у исходной серы практически все основные максимумы имеют более высокие интенсивности, а термическая обработка приводит к образованию дополнительного количества полимерной модификации.

Таким образом, анализ экспериментальных данных показывает, что введение добавок приводит к образованию полимерной серы и к закономерному изменению ее механических свойств. Исследования образцов, приготовленных из расплава, подвергнутого изотермической выдержке в течение 60 минут с добавлением добавок (парафина и бензола) в количестве от 0,25 до 4% от массы серы приведены на рисунке 5. Зависимость прочности модифицированной серы от концентрации парафина имеет экстремальный характер: при увеличении количества парафина до 2% (включительно) наблюдается повышение прочности, а при концентрации более 2% – ее снижение.

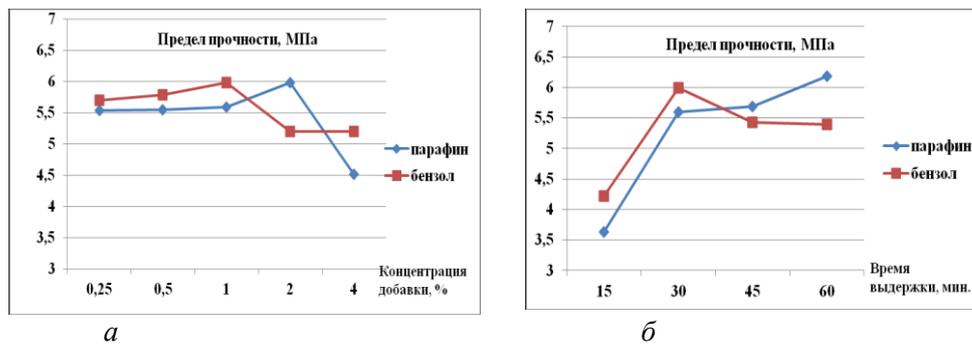


Рисунок 5 – Зависимость предела прочности (МПа) от времени выдержки (а) и концентраций добавок парафина и бензола (б)

Ниже представлены экспериментальные данные для технической серы, выдержанной при температуре 160°C один час. Установленные зависимости показывают влияние на прочность продолжительности изотермической выдержки образцов серы, модифицированной 1% парафина и бензола (рисунок 5, б): для парафина наблюдается монотонное повышение прочности, а для бензола – экстремальное изменение.

Анализ экспериментальных данных (рисунок 5) показывает, что на прочность модифицированной серы влияют вид и концентрация добавки, а также продолжительность изотермической выдержки. В результате проведенного эксперимента были установлены оптимальные концентрации модифицирующих добавок 1–2% от массы серы в пересчете на чистое вещество.

Определение основных физико-механических характеристик серных композитов проводили на основании исследования функций прочности при сжатии и изгибе, плотности и пористости, в соответствии со стандартными методиками. После проведения всех статистических расчетов, были получены уравнения регрессии (1):

$$R_{\text{сж}} = 21,2 + 1,35 \cdot X_1 + 0,885 \cdot X_2 - 1,56 \cdot X_1^2 - 3,14 \cdot X_2^2 + 1,46 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,24 \cdot X_1^2 \cdot X_2 + 0,44 \cdot X_1 \cdot X_2^2 \quad 1)$$

$$R_{\text{изг}} = 13,5 + 1,815 \cdot X_1 + 1,955 \cdot X_2 - 0,96 \cdot X_1^2 - 1,27 \cdot X_2^2 - 0,165 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,325 \cdot X_1^2 \cdot X_2 - 1,07 \cdot X_1 \cdot X_2^2$$

$$\rho = 3,376 + 0,42 \cdot X_1 - 0,019 \cdot X_2 - 0,31 \cdot X_1^2 - 0,045 \cdot X_2^2 + 0,04 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,04 \cdot X_1^2 \cdot X_2 + 0,089 \cdot X_1 \cdot X_2^2$$

$$П = 1,72 - 3,5 \cdot X_1 + 8,89 \cdot X_2 + 6,64 \cdot X_1^2 + 9,57 \cdot X_2^2 - 6,79 \cdot X_1 \cdot X_2 - 7,47 \cdot X_1^2 \cdot X_2 + 0,25 \cdot X_1 \cdot X_2^2$$

где $R_{сж}$ – функция прочности при сжатии; $R_{изг}$ – функция прочности при изгибе; ρ – функция плотности; $П$ – функция пористости.

Графический вид исследуемых функций представлен на рисунке 6.

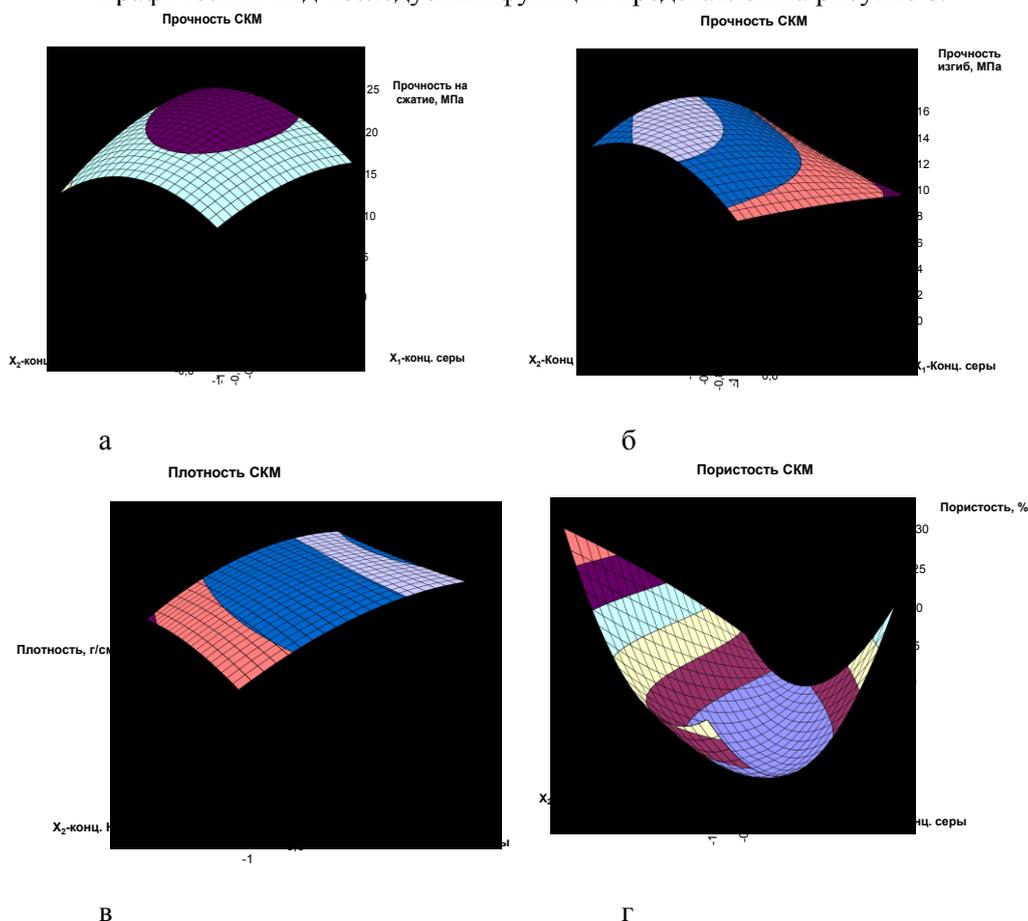


Рисунок 6 – Полученные функции прочности серного композита при сжатии (а), изгибе (б), плотности (в), пористости (г)

Как видно на рисунке 6,а, функция прочности при сжатии имеет наибольшие значения в предполагаемой области планирования – для соотношений техническая сера/нефтешлам резервуарного типа 30-35% / 65-70 %.

Функция прочности при изгибе (рисунок 6,б) имеет наибольшие значения в области, смещенной к большей концентрации нефтешлама резервуарного типа (соотношения сера/нефтешлам составит 20-25%/75-80% соответственно), что можно объяснить увеличением содержания в материале минеральной части нефтешлама и упрочнением композита.

Функция плотности (рисунок 6,в) нелинейно плавно возрастает в область больших концентраций серы, потому, что плотность серы почти в 2 раза больше плотности нефтешлама резервуарного типа. При планируемом использовании данного материала для обустройства полигонов хранения отходов

функция плотности не является главным критерием качества материала, в целом удовлетворяет требованиям материала полигона.

Функция пористости (рисунок 6,г) является одним из главных критериев качества для изоляционных материалов при обустройстве полигонов хранения промышленных и бытовых отходов, т.к. чем меньше показатель пористости, тем лучше материал будет выполнять защитную функцию, не допуская попадания фильтрата из свалочного тела полигона в окружающую природную среду. Функция пористости имеет наименьшие значения в той же области, что и функция плотности при сжатии, что доказывает правильность предположений о соотношении компонентов сера/нефтешлам резервуарного типа.

Таким образом, соотношение между серой и нефтешламом резервуарного типа при создании композиционного материала, полученное с учетом найденных концентраций модифицирующих добавок, уравнения абсолютных объемов, содержания парафинов в органической части исследуемого нефтешлама резервуарного типа, составило: серы – 32-35 % по масс., нефтешлама резервуарного типа –65-68 % по масс.

Список литературы

1. Kolobova Ea. Utilization technology of oil-containing wastes as a direction of rational nature management. *Инновационные информационные технологии*. 2014. №3. С.76-80.
2. Колобова Е.А. Методологические принципы моделирования взаимодействия отходов нефтеперерабатывающих производств с окружающей природной средой // *Нефтяное хозяйство*. – 2015. – № 5. С.110-112.
3. Колобова Е.А. Утилизация нефтешламов для получения аппретированного наполнителя в композиционные материалы. *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2014. №5 (21). С. 153-159.
4. Бормотов А.Н., Колобова Е.А., Конопацкий Ю.В. Методика представления композиционного материала как объекта исследования и моделирования // *Региональная архитектура и строительство*. – 2012. – № 3. С. 44-51.
5. Колобова Е.А. Математическое моделирование качества технологии получения композитов при утилизации отходов нефтепереработки // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2015. – №3. С.181-188.
6. Колобова Е.А., Ложкина Д.А. Анализ устройства полигонов хранения промышленных и бытовых отходов // *Экологические проблемы субъектов экономики / Сборник материалов международной научно-практической конференции*. – 2015. С. 29-33.
7. Фетисов, Д. Д. Экологически чистый метод утилизации нефтеотходов / Д. Д. Фетисов // *Известия вузов. Нефть и газ*. – 2010. – № 2. – С. 123.
8. Сальников И.И. Методы размерной селекции при анализе бинарных изображений. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии*. – 2014. – №03 (19). – С. 89-95.

УДК 681.5
ББК30

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ КОТЛОАГРЕГАТА**

© Ю.В. Конопацкий, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**MATHEMATICAL MODELING OF THE CONTROL SYSTEM
IN THE EVAPORATOR PART OF THE BOILER**

© Y.V. Konopatsky, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Целью данной статьи является анализ системы управления испарительной части котельного агрегата как объекта управления и его моделирование.

Ключевые слова: котлоагрегат; математическое моделирование; объект управления

The purpose of this article is to analyze the evaporative control system of the boiler as a control object and its simulation.

Key words: boiler unit; math modeling; facility management

Целью данной статьи является анализ системы управления испарительной частью котлоагрегата – элемента турбоагрегата электрической станции, как объекта управления и его моделирование. Испарительная часть котельного агрегата и эквивалентная структурная схема декомпозиции объекта по средам приведены на рисунке 1[1].

На основе представленной структурной схемы [2] составлена система уравнений материального баланса испарительной части котлоагрегата в точечном приближении.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d(V_1\rho')}{dt} &= D_B - D_1 \\ \frac{d(V_2\rho'')}{dt} &= D_1 - D_2 \\ \frac{d(V_3\rho''')}{dt} &= D_2 - D_{II} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для нахождения динамики по уровню запишем дополнительное уравнение, связывающее приращения уровня ΔL , объемов воды ΔV_1 и пара ΔV_2 под зеркалом испарения [2]:

$$F\Delta L = \Delta V_1 + \Delta V_2, \quad (3)$$

где F – площадь зеркала испарения.

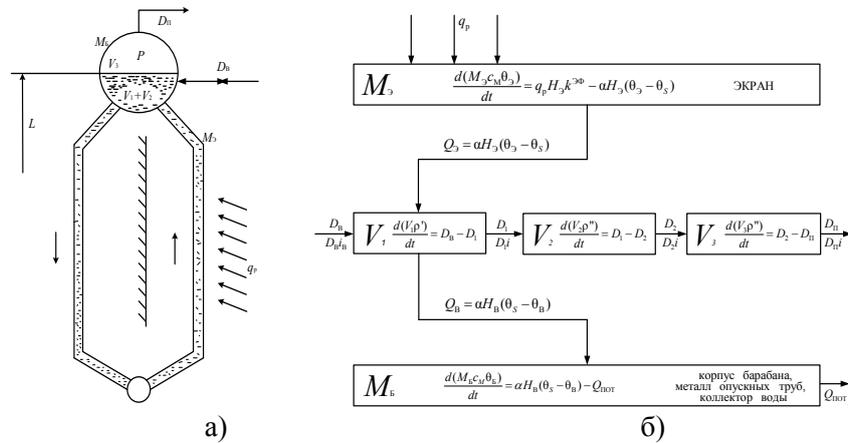


Рисунок 1 – Испарительная часть котельного агрегата (а), эквивалентная структура декомпозиции по средам (б)

Уравнения материального баланса в приращениях:

$$\left. \begin{aligned} \rho' \frac{d\Delta V_1}{dt} &= \Delta D_B - \Delta D_1 \\ \rho'' \frac{d\Delta V_2}{dt} &= \Delta D_1 - \Delta D_2 \end{aligned} \right\} (4)$$

Преобразуем систему (4) по Лапласу:

$$\left. \begin{aligned} \rho' s V_1(s) &= D_B(s) - D_1(s) \\ (T_H s + 1) V_2(s) &= \frac{T_H}{\rho''} D_1(s) \end{aligned} \right\} \text{или} \left. \begin{aligned} V_1(s) &= \frac{1}{\rho' s} D_B(s) - \frac{1}{\rho' s} D_1(s) \\ V_2(s) &= \frac{T_H}{\rho''} \frac{1}{T_H s + 1} D_1(s) \end{aligned} \right\} (5)$$

Подставляя изображения объемов в уравнение для уровня (3), получим изображение уровня жидкости в паровом котле (выходная координата) в функции изображений расходов воды $D_B(s)$ (входное воздействие) и генерированного пара $D_1(s)$ (возмущающее воздействие). Пренебрегая $1/\rho'$ по сравнению с $1/\rho''$, тогда получим, что $D_1 \approx D_{\Pi}$, и уравнение для уровня по каналам расходов примет вид:

$$L(s) = \frac{1}{F\rho' s} D_B(s) - \left[\frac{1}{F\rho' s} - \frac{T_H / (F\rho' s)}{T_H s + 1} \right] \cdot D_{\Pi}(s) \quad (6)$$

$$W_B(s) = \frac{L(s)}{D_B(s)} = \frac{1}{F\rho' s} \quad W_{\Pi}(s) = \frac{L(s)}{D_{\Pi}(s)} = -\frac{1}{(F\rho' s)} + \frac{T_H / (F\rho' s)}{T_H s + 1} \quad (7)$$

Анализ передаточных функций каналов показывает, что по отношению к материальному небалансу уровень ведет себя как объект без самовыравнивания. Структурные схемы испарительной части парового котла как объекта управления приведены на рисунке 2.

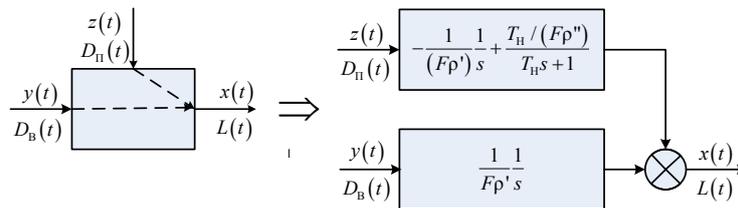


Рисунок 2 – Структурная схема испарительной части парового котла как объекта управления по уровню

Математическая модель испарительной части котлоагрегата в форме пространства состояний будет иметь вид [3]:

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_1^{(t)} \\ \dot{v}_2^{(t)} \\ \dot{v}_3^{(t)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_H} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -k_1 & 0 \\ k_2 & 0 \\ 0 & k_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ y \end{bmatrix};$$

$$x = [1 \quad 1 \quad 1] \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix}.$$

$$k_1 = \frac{1}{Fp'}; k_2 = \frac{1}{Fp''}; T_H = \left(\frac{v_2 \rho''}{D_2} \right)_0.$$

Проведя моделирование в среде Mathcad, получим графики переходных характеристик по уровню [4,5,6] (рисунок 3).

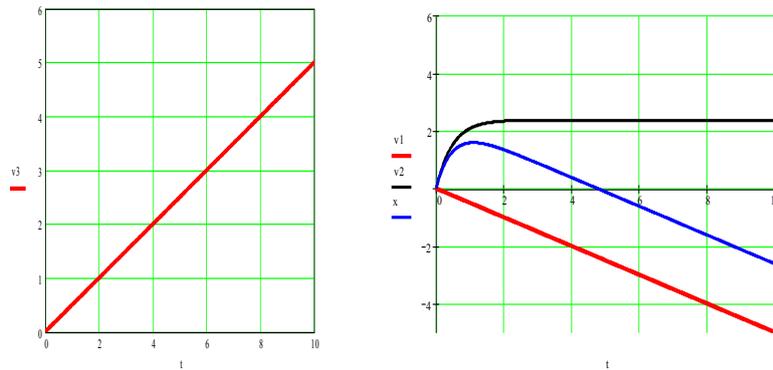


Рисунок 3 – Графики переходных характеристик по уровню

Выпуклая форма кривой изменения уровня при возмущении (рисунок 3) характеризует процесс набухания (вспучивания) уровня, т.е. уровень воды в котле возрастает в результате резкого уменьшения давления пара, таким образом, разработанная математическая модель позволяет моделировать динамические процессы котельного агрегата. Проведена декомпозиция по средам и составлена математическая модель. Исследования показали адекватность математической модели, которая может быть использована для анализа динамических процессов в паровом барабанном котле.

Список литературы

1. Ю.В. Конопацкий, Математический метод регулирования показателя качества турбины теплоэлектроцентрали // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание. Сер. Технические

- науки. Информационные технологии №03(25).Т.1. – Пенза: Изд-во ПензГТУ, 2015. - С. 189-193
2. Ю.В. Конопацкий, Математическое моделирование испарительной части парового котла / Ю.В. Конопацкий, И.А. Прошин, Данишкина Е.А. // В мире научных открытий. Периодическое научное издание. Сер. Математика. Механика. Информатика. № 2(38). – Красноярск: Изд-во Научно-инновационный центр, 2013. – С. 201-210.
 3. Ю.В. Конопацкий, Методы регулирования показателя качества турбоагрегата на электрических станциях / Ю.В. Конопацкий, И.А. Прошин, А.А. Воронцов // Современные информационные технологии (Contemporary information technologies): Труды международной научно-технической конференции (Computer-based conference). Вып. 20. – Пенза: ПензГТУ, 2014. – С. 136-141.
 4. И.И. Сальников, Оценка влияния диапазона электромагнитных волн на потенциально-возможную скорость передачи данных в средствах реализации информационной потребности человека // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание. Сер. Технические науки. Информационные технологии №03(25).Т.1. – Пенза: Изд-во ПензГТУ, 2015. – С. 18-22.
 5. Курносое В.Е. Эволюционный метод вычисления оптимальной формы конструкции. // Измерительная техника, 1994, №5. – С.9-11.
 6. Ушенина И.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров электрических цепей. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. / Пензенский государственный университет. Пенза, 2008.

УДК 681.5.01:658.512.2.011.56
ББК 30

**АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ РАЗРЕШАЮЩИХ
УРАВНЕНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА
КОНСТРУКЦИЙ ПО ЗАДАНЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ
ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

© **В.Е. Курносое**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

© **Н.Ю. Бабаева**, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)

**AUTOMATIC CREATION OF SYSTEMS RESOLVING
THE EQUATIONS AT THE ANALYSIS AND SYNTHESIS PROBLEM
SOLVING SOFTWARE CONSTRUCTIONS TO THE GIVEN MECHANICAL
ACTIONS**

© **V.E. Kurnosov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© **N.U. Babaeva**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Предложен метод построения систем уравнений для решения задач вычисления напряженно-деформированного состояния по методу конечных элементов. Разработана компьютерная модель для решения задач анализа и автоматического синтеза конструкций.

Ключевые слова: синтез конструкций, автоматическое проектирование, моделирование, численные методы

ческих характеристик конечных элементов и их распределения в области проектирования.

Для примера рассмотрим построения логико-математической модели для плоского напряженно-деформированного состояния (НДС) на основе метода конечных элементов и прямоугольных элементов объема [6]. Модель используется в учебно-научном программном комплексе решения задач анализа и синтеза конструкций по заданной механической нагрузке.

На рисунке 1 показана область проектирования. Задано направление осей координат, нумерация шагов и узлов сеточной модели, элементов объема. Каждый элемент объема может быть либо «пустым», либо «заполненным материалом». На рисунке 2 показан условно выделенный элемент объема области проектирования.

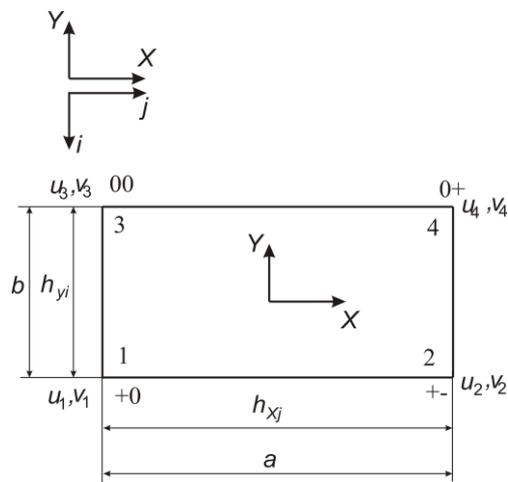


Рисунок 2 – Конечный элемент объема области проектирования

$a' = a/2$ и $b' = b/2$.

Вычисление состояния элемента состоит в определении составляющих смещений узлов по направлениям осей координат $u_1...u_4, v_1...v_4$. Но для определения НДС необходимо знать значения функций смещения и в пределах рассматриваемого элемента. Для этого обоснованно выбирают функции, аппроксимирующие смещения в пределах площади элемента. Рассмотрим аппроксимирующие функции в виде полиномов первой степени [6]:

$$u = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y + \beta_4 xy \quad (1)$$

$$v = \beta_5 + \beta_6 x + \beta_7 y + \beta_8 xy \quad (2)$$

Для вычисления смещений $u(x, y), v(x, y)$ не только в узловых точках, но и в пределах элемента необходимо определить значения коэффициентов $\beta_1... \beta_8$ через узловые смещения $u_1...u_4, v_1...v_4$.

Восемь неизвестных коэффициентов $\beta_1, ..., \beta_8$, непосредственно определяются по восьми компонентам смещений в узловых точках элемента (рисунок 2). Выражения для вычисления перемещений u и v в пределах элемента объема будут иметь вид:

проектирования.

Начало координат локальной системы помещено в геометрический центр элемента размером $a, b, b = h_{yi}$,

$a = h_{xj}$. Значения координат

узлов или вершин элемента будут иметь значения:

$$x_1 = -a/2; \quad y_1 = -b/2;$$

$$x_2 = a/2; \quad y_2 = -b/2;$$

$$x_3 = -a/2; \quad y_3 = b/2;$$

$$x_4 = a/2; \quad y_4 = b/2.$$

Для более компактной записи воспользуемся обозначениями

$$u = \frac{u_1 + u_2 + u_3 + u_4}{4} + \frac{u_2 + u_4 - u_1 + u_3}{4a'}x + \frac{u_3 + u_4 - u_1 - u_2}{4b'}y + \frac{u_1 + u_4 - u_2 - u_3}{4a'b'}xy \quad (3)$$

$$v = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{4} + \frac{v_2 - v_1 + v_4 - v_3}{4a'}x + \frac{v_3 + v_4 - v_1 - v_2}{4b'}y + \frac{v_1 + v_4 - v_2 - v_3}{4a'b'}xy. \quad (4)$$

Найдем выражения для составляющих механических напряжений и деформаций в пределах прямоугольного конечного элемента через аппроксимирующие функции (1), (2).

После дифференцирования (3), (4) получим геометрические уравнения деформации:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_2 + u_4 - u_1 - u_3}{4a'} + \frac{u_1 + u_4 - u_2 - u_3}{4a'b'}y, \quad (5)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{v_3 + v_4 - v_1 - v_2}{4b'} + \frac{v_1 + v_4 - v_2 - v_3}{4a'b'}x, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{u_3 + u_4 - u_1 - u_2}{4b'} + \frac{u_1 + u_4 - u_2 - u_3}{4a'b'}x + \frac{v_2 - v_1 + v_4 - v_3}{4a'} + \frac{v_1 + v_4 - v_2 - v_3}{4a'b'}y. \quad (7)$$

Рассмотрим вычисление матрицы жесткости прямоугольного элемента объема. Запишем выражения для деформаций в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11}u_1 + b_{12}v_1 + b_{13}u_2 + b_{14}v_2 + b_{15}u_3 + b_{16}v_3 + b_{17}u_4 + b_{18}v_4 \\ b_{21}u_1 + b_{22}v_1 + b_{23}u_2 + b_{24}v_2 + b_{25}u_3 + b_{26}v_3 + b_{27}u_4 + b_{28}v_4 \\ b_{31}u_1 + b_{32}v_1 + b_{33}u_2 + b_{34}v_2 + b_{35}u_3 + b_{36}v_3 + b_{37}u_4 + b_{38}v_4 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

или в матричной форме:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix}^T, \quad (9)$$

$$u = [u_1, v_1, u_2, v_2, u_3, v_3, u_4, v_4]. \quad (11)$$

Матрица геометрических характеристик прямоугольного элемента объема имеет вид

$$B = \begin{bmatrix} \frac{-1+2\frac{y}{b}}{2a} & 0 & \frac{1-2\frac{y}{b}}{2a} & 0 & \frac{-1-2\frac{y}{b}}{2a} & 0 & \frac{1+2\frac{y}{b}}{2a} & 0 \\ 0 & \frac{-1+2\frac{x}{a}}{2b} & 0 & \frac{-1-2\frac{x}{a}}{2b} & 0 & \frac{1-2\frac{x}{a}}{2b} & 0 & \frac{1+2\frac{x}{a}}{2b} \\ \frac{-1+2\frac{x}{a}}{2b} & \frac{-1+2\frac{y}{b}}{2a} & \frac{-1-2\frac{x}{a}}{2b} & \frac{1-2\frac{y}{b}}{2a} & \frac{1-2\frac{x}{a}}{2b} & \frac{-1-2\frac{y}{b}}{2a} & \frac{1+2\frac{x}{a}}{2b} & \frac{1+2\frac{y}{b}}{2a} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Аналогично, при плоском НДС напряжения через деформации при можно записать в матричной форме:

$$\sigma = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}]^T. \quad (13)$$

Здесь матрица упругих характеристик:

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Матрица жесткости прямоугольного элемента вычисляется путем двойного интегрирования по координатам x и y :

$$K = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} [B(x,y)]^T [D] [B(x,y)] dx dy \quad (15)$$

В качестве нагрузки используются различные характеристики НДС в зависимости от вида используемого материала, энергия деформации или формоизменения, максимальные касательные или нормальные напряжения.

Выражение для плотности энергии деформации имеет вид:

$$\mathcal{E}_d = \frac{1}{2} (\varepsilon_x \sigma_x + \varepsilon_y \sigma_y + \varepsilon_{xy} \sigma_{xy}) \quad (16)$$

Тогда, интегрируя по объему материала, получим энергию деформации конечного элемента:

$$\mathcal{E} = \frac{h_z}{2} \int_{-b'-a'}^{b'} \int_{-a'}^{a'} \varepsilon_x \sigma_x dx dy + \frac{h_z}{2} \int_{-b'-a'}^{b'} \int_{-a'}^{a'} \varepsilon_y \sigma_y dx dy + \frac{h_z}{2} \int_{-b'-a'}^{b'} \int_{-a'}^{a'} \varepsilon_{xy} \sigma_{xy} dx dy \quad (17)$$

Полученное выражение не приводится ввиду громоздкости. Энергия деформации необходима для оценки распределения нагрузки по объему материала, реализации алгоритмов оптимизации формы конструкции путем перераспределения материала в области проектирования.

Для построения системы разрешающих уравнений рассмотрим фрагмент области проектирования, содержащий узел с прилегающими к нему элементами (рисунок 3).

Результирующие составляющие узловой реакции F_x^{00} , F_y^{00} по направлениям координат находятся суммированием, коэффициенты матрицы жесткости группируются при соответствующих перемещениях.

При фиксированной нумерации узлов в области проектирования (см. рисунок 1) узловые реакции F_u^{00} , F_v^{00} могут быть найдены по матрицам жесткости прилегающих элементов объема. Узловая реакция, вычисляется как сумма реакций прилегающих к узлу элементов, причем коэффициенты матрицы жесткости группируются по соответствующим смещениям.

Рассмотрим процедуру построения матрицы жесткости конструкции по матрицам жесткости элементов, «заполненным материалом».

Получены выражения для узловых реакций в области проектирования, когда к узлу прилегают как заполненные материалом, так и пустые элементы объема. Уравнения приводятся к явному виду, что обеспечивает как получение

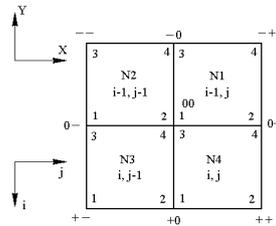


Рисунок 3 – Фрагмент области проектирования

выражений для непосредственного решения задачи вычисления НДС итерационными методами, так и для формирования линейной системы, представляющей решение задачи вычисления НДС конструкции. При логико-математической записи

выражения имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \checkmark_{\alpha_{uv}^{00}} F_u^{00} &= \checkmark_{\alpha_{uv}^{00}} \\
 &\left\{ \begin{aligned}
 &+ \checkmark_{\alpha_M^{-0}} \left(u^{00} K_{11}^1 + v^{00} K_{12}^1 + u^{0+} K_{13}^1 + v^{0+} K_{14}^1 + \right. \\
 &\quad \left. + u^{-0} K_{15}^1 + v^{-0} K_{16}^1 + u^{-+} K_{17}^1 + v^{-+} K_{18}^1 \right) + \\
 &+ \checkmark_{\alpha_M^{-+}} \left(u^{00} K_{33}^2 + v^{00} K_{34}^2 + u^{-0} K_{37}^2 + v^{-0} K_{38}^2 + \right. \\
 &\quad \left. + u^{0-} K_{31}^2 + v^{0-} K_{32}^2 + u^{-+} K_{35}^2 + v^{-+} K_{36}^2 \right) + \\
 &+ \checkmark_{\alpha_M^{0-}} \left(u^{00} K_{77}^3 + v^{00} K_{78}^3 + u^{0-} K_{75}^3 + v^{0-} K_{76}^3 + \right. \\
 &\quad \left. + u^{+-} K_{71}^3 + v^{+-} K_{72}^3 + u^{+0} K_{73}^3 + v^{+0} K_{74}^3 \right) + \\
 &+ \checkmark_{\alpha_M^{00}} \left(u^{00} K_{55}^4 + v^{00} K_{56}^4 + u^{0+} K_{57}^4 + v^{0+} K_{58}^4 + \right. \\
 &\quad \left. + u^{+0} K_{51}^4 + v^{+0} K_{52}^4 + u^{++} K_{53}^4 + v^{++} K_{54}^4 \right)
 \end{aligned} \right\} \quad (18)
 \end{aligned}$$

$$\sqrt{\alpha_{uv}^{00}} F_v^{00} = \sqrt{\alpha_{uv}^{00}} \left[\begin{array}{l} \sqrt{\alpha_M^{-0}} \left(u^{00} K_{21}^1 + v^{00} K_{22}^1 + u^{0+} K_{23}^1 + v^{0+} K_{24}^1 + \right. \\ \left. + u^{-0} K_{25}^1 + v^{-0} K_{26}^1 + u^{-+} K_{27}^1 + v^{-+} K_{28}^1 \right) + \\ + \sqrt{\alpha_M^{--}} \left(u^{00} K_{43}^2 + v^{00} K_{44}^2 + u^{-0} K_{47}^2 + v^{-0} K_{48}^2 + \right. \\ \left. + u^{0-} K_{41}^2 + v^{0-} K_{42}^2 + u^{--} K_{45}^2 + v^{--} K_{46}^2 \right) + \\ + \sqrt{\alpha_M^{0-}} \left(u^{00} K_{87}^3 + v^{00} K_{88}^3 + u^{0-} K_{85}^3 + v^{0-} K_{86}^3 + \right. \\ \left. + u^{+-} K_{81}^3 + v^{+-} K_{82}^3 + u^{+0} K_{83}^3 + v^{+0} K_{84}^3 \right) + \\ + \sqrt{\alpha_M^{00}} \left(u^{00} K_{65}^4 + v^{00} K_{66}^4 + u^{0+} K_{67}^4 + v^{0+} K_{68}^4 + \right. \\ \left. + u^{+0} K_{61}^4 + v^{+0} K_{62}^4 + u^{++} K_{63}^4 + v^{++} K_{64}^4 \right) \end{array} \right] \quad (19)$$

Адекватность полученной модели подтверждается результатами численных экспериментов по вычислению НДС и их сопоставлением с известными аналитическими решениями. Автоматический синтез формы конструкций на основе предложенной модели позволяет находить новые, до решения неизвестные конструктивные формы, соответствующие заданным эксплуатационным требованиям и конструктивно – технологическим ограничениям.

Список литературы

1. Курносое В. Е. Логико–математические модели в задачах проектирования электронной аппаратуры и приборов: Монография / В. Е. Курносое, В. И. Волчихин, В. Г. Покровский. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2014. – 148 с.
2. Оптимизация конструкций при проектировании радиоэлектронных средств/ А. М. Тартаковский, В. Е. Курносое, А. Н. Якимов, А. В. Блинов.: Монография. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1998. – 184 с. – Гл. 2 “Синтез оптимальной формы несущих конструкций РЭС” С. 39 – 76.
3. Курносое В. Е. Эволюционный метод вычисления оптимальной формы конструкции // Измерительная техника. 1994. № 5. С. 9–11.
4. Курносое В.Е. Методология решения задач синтеза конструкций по заданным воздействиям [Текст] / Андреева Т.В., Курносое В.Е. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – Вып. 05 (09). – С. 192–198.
5. Волгин Л. И., Климовский А. Б., Зарукин А. И. Импликативная алгебра выбора как основа информационных технологий и систем управления в континуальной области // «Чебышевский сборник» Т.IV. Вып. 1(5): Труды V Международной конференции «Алгебра и теория чисел: современные проблемы и приложения». Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н.Толстого, 2003, с.61–65.
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. М.: Мир, 1975. — 544 с.
7. Покровский В.Г. Информационное обеспечение проектирования стержневых несущих конструкций на основе импликативной алгебры выбора.// Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2003, №8. С.138-143.

УДК 681.5.01:658.512.2.011.56
ББК 30

**УЧЕБНО-НАУЧНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ АНАЛИЗА
И СИНТЕЗА КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И ИМПЛИКАТИВНОЙ
АЛГЕБРЫ ВЫБОРА**

© *V.E. Курносков, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

**EDUCATIONAL-SCIENTIFIC PROGRAM COMPLEXES
OF THE ANALYSIS AND SYNTHESIS OF CONSTRUCTIONS
ON THE BASIS OF THE EQUATIONS OF MATHEMATICAL PHYSICS
AND IMPLICATIVE ALGEBRAS OF SAMPLING**

© *V.E. Kurnosov, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Предложен метод решения задач оптимального синтеза конструкций, несущих заданную эксплуатационную нагрузку. Приведены результаты решения задач синтеза формы конструкций.

Ключевые слова: синтез конструкций, автоматическое проектирование, моделирование, численные методы

The authors have presented the method of solving problems on optimal synthesis of constructions carrying the stated operating load. They have given the results of solving problems on the constructions shape synthesis.

Key words: constructions synthesis, automated layout, modeling, calculus of approximations

E-mail: vladimirkurnosov@rambler.ru

Информационные технологии проектирования определяют стоимость и качество проектных работ. Возможность создания высоконадежных, конкурентоспособных изделий в значительной степени обеспечивается решениями, принимаемыми на этапе проектирования.

В настоящее время развиваются методы имитационного моделирования, позволяющие исследовать различные процессы и прогнозировать работоспособность конструкций при заданных воздействиях. Недостаточно формализованы задачи построения моделей исследуемых процессов и конструкций. Используются преимущественно методы параметрической оптимизации при фиксированной структуре проекта. Методы проектирования при неформализованном построении исходной модели не всегда приводят к удовлетворительным результатам.

Для изделий, устанавливаемых на подвижных объектах, требования к массогабаритным и прочностным характеристикам зачастую являются определяющими. Актуальны задачи снижения материалоемкости, обеспечения надежности различных изделий в условиях жестких эксплуатационных воздействий. Их решение приводит к необходимости выполнения большого объема расчетных работ, проведения длительных натурных испытаний.

Постановка задач оптимального проектирования предполагает неизменным количество переменных проектирования, что фиксирует структуру проекта. Практически более значимы задачи проектирования на основе структурно-параметрической оптимизации при нефиксированной структуре проекта.

Решение задач синтеза формы и структуры конструкций может быть сопоставлено с моделированием поведения некоторого «разумного организма», решающего задачу прогнозирования [1]. Эволюция модели конструкции осно-

вана на порождении «модели-потомка» и ее сопоставлении с «моделью-родителем». Если имеет место улучшение состояния, изменение закрепляется, и «потомок» может быть «родителем». Процесс заканчивается вырождением, когда при заданных условиях и ресурсах дальнейшее совершенствование или развитие невозможно. Таким образом, предполагается возможность формального построения модели проектируемого объекта и ее многократного преобразования. Решение задачи синтеза с этой точки зрения также может рассматриваться как моделирование поведения проектировщика, последовательно прорабатывающего варианты исполнения проектируемого изделия.

В работах [2, 3] разработаны основы теории построения эволюционных дискретных моделей и информационных технологий автоматического проектирования конструкций.

Задается дискретная область проектирования как область построения и модификации модели конструкции. Элемент объема есть часть области проектирования, которая может быть либо «пустой», либо «заполненной материалом».

Для описания введения, удаления или перераспределения материала используется аппарат импликативной алгебры выбора (ИАВ) Л.И. Волгина, что позволяет решить задачу формального введения или исключения переменных проектирования. Операции импликативной алгебры выбора имеют как логическую, так и алгебраическую форму записи [4,5,6].

Предлагаемый подход позволяет реализовать алгоритмы построения геометрического представления конструкции путем последовательного «заполнения» материалом «пустых» элементов объема или «удаления» материала из «заполненных». Обеспечивается возможность формирования геометрического представления конструкции в области проектирования на основе объединения областей, заполненных материалом, или удаления материала из заполненных. Это позволяет строить модели конструкций путем введения и удаления отдельных конструктивных элементов.

На основе определения области проектирования как области возможного формирования и решения задач анализа может быть построена эволюционная дискретная модель или модель развития, совершенствования формы конструкции. Модель развития обеспечивает многократное, целенаправленное последовательное введение, удаление или перераспределение материала некоторой исходной формы или введение и удаление отдельных конструктивных элементов.

Получены различные эволюционные дискретные модели для решения задач автоматического или интерактивного синтеза формы конструкций [7, 8, 9]. Для решения задач автоматического синтеза формы конструкций по заданным тепловым воздействиям разработана модель области проектирования на основе уравнения теплопроводности Фурье. Вычисление формы конструкций по заданным механическим воздействиям основано на решении уравнений теории упругости Ламе. Решения получены как по методу конечных элементов, так и по методу конечных разностей.

Логико-математические уравнения теплового баланса элемента объема материала в области проектирования позволяют решать задачи анализа и синтеза теплонагруженных конструкций. Уравнения содержат переменные ИАВ выбора либо потока за счет теплопроводности материала при наличии градиента температуры, либо потока с поверхности грани за счет конвекции и излучения, если соответствующий соседний элемент пустой и грань является граничной [10, 11].

Получены уравнения равновесия для вычисления напряженно-деформированного состояния материала конструкции, представленной в области проектирования. Переменные ИАВ позволяют сформировать шаблоны для аппроксимации производных, входящих в уравнения Коши, что обеспечивает возможность автоматического формирования системы разрешающих уравнений по заданному распределению материала в области проектирования, начальным и граничным условиям.

Используются переменные ИАВ для описания распределения материала по элементам объема области проектирования $\mathbf{P} = [p_1, \dots, p_N]^T$, вводится матрица преобразования \mathbf{Q}^k . Тогда на k -м шаге преобразования формы конструкции возможно введение или удаление материала, что соответствует преобразованию вектора признаков наличия материала

$$\mathbf{P}^k = \mathbf{Q}^k \mathbf{P}^{k-1}. \quad (1)$$

Для задач исследования температурных полей, напряженно-деформированного состояния конструкций, функционал, определяющий решение, может быть записан в виде [12]:

$$\chi = F(\mathbf{A}) = \frac{1}{2} \iint_{D_r} \left[\left(\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy - \iint_{D_r} f(\mathbf{A}) dx dy. \quad (2)$$

Здесь область интегрирования D_r есть область решения в области проектирования. При формировании области интегрирования просматриваются все элементы объема области проектирования, но выделяются только относящиеся к области решения, что позволяет получить соотношение

$$\chi = \frac{1}{2} \mathbf{A}^T \mathbf{M} \mathbf{A} - \mathbf{F}^T \mathbf{A}. \quad (3)$$

Минимизация функционала достигается при значениях \mathbf{A}_i , $i = 1, \dots, NN$, являющихся решением линейной системы $\mathbf{M} \mathbf{A} = \mathbf{F}^T$.

Получены соотношения, позволяющие автоматически формировать матрицу жесткости конструкции по матрицам жесткости элементов, заполненных материалом. Аналогичные соотношения получены для сеточных областей различной конфигурации.

На рисунке 1 показаны решения при модельном проектировании теплоотвода, когда температурное поле автоматически вычисляется при изменении формы или графического представления конструкции с целью получения области пониженной температуры путем формирования отверстий.

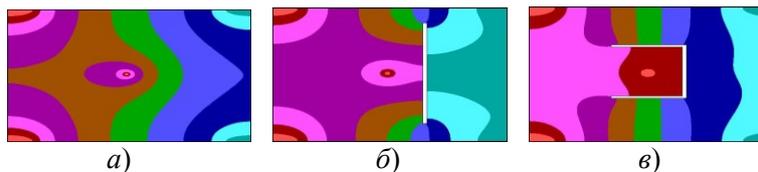


Рисунок 1 – Проектирование теплоотвода при автоматическом вычислении температурного поля: а – исходная форма; б, в – решение задачи формирования области пониженной температуры путем введения отверстий

Эволюционные дискретные модели и системы проектирования конструкций на их основе отличаются от известных систем возможностью:

- формирования графического образа конструкций при автоматическом построении математических моделей;
- исследования физических процессов и автоматического преобразования моделей по результатам исследования;
- организации автоматических процедур структурной и параметрической оптимизации конструкций, поиска новых, неизвестных до решения конструктивных форм.
- Открываются направления для дальнейших исследований по созданию конкурентных программных средств и изделий, по решению актуальных задач теории и практики:
 - снижения материалоемкости элементов, несущих механическую или тепловую нагрузку за счет вычисления (синтеза) более совершенных конструкций;
 - создания систем проектирования, позволяющих реализовать процедуры автоматического совершенствования конструкций по результатам многократного исследования их состояния при различных воздействиях;
 - создания эволюционных учебных программных средств совершенствующих тактику и стратегию обучения в зависимости от поведения учащегося [13].

Предлагаемый подход к моделированию позволяет расширить классы решаемых задач проектирования. К ним, в первую очередь, следует отнести задачи синтеза оптимальных конструкций по многовариантному статическому и динамическому нагружению.

Актуальна задача разработки интегрированных сред для решения задач синтеза конструкций, содержащих базы данных по типовым элементам, редакторы подготовки графических представлений конструкций и формирования массивов данных для решения краевых задач при конечно-элементной и конечно-разностной аппроксимации. Проектирование конструкций на основе эволюционного моделирования может быть более эффективным при наличии подсистемы графической интерпретации результатов решений.

Практическое значение имеет создание систем на основе эволюционного моделирования для системы образования. Например, для решения задач анализа и синтеза конструкций, несущих механическую и тепловую нагрузку, исследования температурных режимов и синтеза или модельного построения теплонагруженных элементов, анализа и обоснования проектных решений при разработке узлов на печатных платах [14, 15, 16] по результатам модельного исследования их динамических характеристик.

Список литературы

1. Фогель Л. *Искусственный интеллект и эволюционное моделирование*/ Л. Фогель, А. Оуэнс, М. Уоли. – М.: Мир, 1969. – 377 с.
2. Курносое В. Е. *Эволюционный метод вычисления оптимальной формы конструкции*// *Измерительная техника*. – 1994. – №6. – С. 9.
3. *Оптимизация конструкций при проектировании радиоэлектронных средств* / А. М. Тартаковский, В. Е. Курносое, А. Н. Якимов, А. В. Блинов: *Монография*. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1998. – 184 с. – Гл. 2 “Синтез оптимальной формы несущих конструкций РЭС” С. 39 – 76.

4. Волгин Л. И. *Комплементарная алгебра и предикатная алгебра выбора. – Три лекции по курсу «Логические основы и модели нейронных сетей». – Ульяновск: УлГТУ, 1996. – 68 с.*
5. Волгин Л. И. *Непрерывная логика. Теория и применение / Л. И. Волгин, В. И. Левин. – Таллинн.: Изд-во Академии наук Эстонии, 1990. – 210 с.*
6. Волгин Л. И. *Реляторные нейропроцессоры и коммуникационно – логические преобразователи аналоговых сигналов с кодированием номеров канала: Три лекции по курсу «Логические основы и модели нейронных сетей». – Ульяновск: УлГУ, 1996. – 76 с.*
7. Курносов В. Е. *Формирование краевых задач в области проектирования на основе эволюционных уравнений // Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем: Сб. докладов международной конференции. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1998. – С. 98 – 99.*
8. Курносов В. Е. *Построение эволюционных моделей на основе уравнений математической физики для решения задач синтеза формы конструкций // Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем: Сб. докладов международной конференции. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1998. – С. 99 – 101.*
9. Курносов В. Е. *Эволюция формы — не имеющий аналогов метод синтеза конструкций // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия: Организация производства и прогрессивная технология в приборостроении. – Вып. 7 – 8. – М.: 1990. – С. 51.*
10. Курносов В. Е. *Особенности применения метода конечных элементов для решения задач синтеза формы конструкций // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС: Межвуз. сб. науч. тр. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1999. – Вып. 9. – С. 28 — 38.*
11. Курносов В. Е. *Метод конечных элементов в эволюционном моделировании формы конструкций РЭС // Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем: Сб. докладов международной конференции. – Часть 1. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. техн. ун-та, 1996. – С. 125 – 126.*
12. Сабоннадьер Ж. К. *Метод конечных элементов и САПР/ Ж. К. Сабоннадьер, Ж. Л. Кулон: Пер. с франц. – М.: Мир, 1989. – 190 с.*
13. Курносов В. Е. *Интеллектуальные программно-методические комплексы лично-ориентированного обучения // Педагогическое образование и наука. – М.: 2005, №4. С. 61-63.*
14. Курносов В. Е. *Механическая модель для исследования динамики конструкций печатных узлов/ В. Е. Курносов, Ю. И. Калашиников, А. В. Китаев, А. М. Тартаковский// Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС: Межвуз. сб. науч. тр. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1999. — Вып. 9. — С. 38 — 46.*
15. Андреева Т.В. *Программный комплекс исследования динамики пластинчатых конструкций электронной аппаратуры в широком частотном диапазоне на основе дискретно-непрерывной модели / Т.В. Андреева, В.Е. Курносов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2013. – № 10(14). С 215 – 221.*

16. Покровский В.Г. Информационные технологии в проектировании несущих конструкций электронной аппаратуры на основе эволюционных дискретных моделей. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Периодическое научное издание.* – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2012. – № 1(5). С 198 – 204.

УДК 004.75
ББК 30

**ТЕХНОЛОГИЯ HDP И ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕГРАЦИИ
И СБОРА ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ**

© *М.К. Павликов, Московский авиационный институт (г. Москва, Россия)*

**HDP TECHNOLOGY AND SOFTWARE SYSTEM INTEGRATION
AND AUTOMATED COLLECTION OF HETEROGENEOUS DATA**

© *М.К. Pavlikov, Moscow Aviation Institute (Moscow, Russia)*

В статье рассматривается протокол HDP как основа для обмена данными между различными узлами в распределенной программной системе. Предложенная технология и ее программная реализация позволяет стандартизовать передачу данных с сохранением их минимально возможного объема. Таким образом, технология позволит обслуживать большее количество подключений за единицу времени. В статье описан стандарт HDP, его программная реализация и сравнение с другими подходами к передаче данных.

Ключевые слова: обмен данными, HDP, JSON, SOAP.

The article discusses the HDP protocol as a basis for communication between different nodes in a distributed software system. The proposed technology and its software implementation allows you to standardize data with preservation of the smallest possible volume. Thus, technology will serve the greater the number of connections per unit time. The article describes a standard HDP, its implementation and comparison to other approaches to data transmission.

Key words: data exchange, HDP, JSON, SOAP.

Email: severemax@yandex.ru

С момента начала развития программирования как отдельной отрасли деятельности, стали появляться различные языки программирования, различные системы управления базами данных. В каждой предметной области появлялись свои собственные, а порой уникальные и не похожие ни на кого больше, требования. Различные программные системы имели разные задачи, цели, а поэтому были построены и строятся по сей день, используя совершенно разные подходы и методы. В связи с бурным развитием программирования в последние несколько лет требования только усложняются. Для отдельно взятых задач используются разные базы данных, внедряются разные схемы хранения данных. Как раньше, так и сейчас особо остро стоит вопрос об обмене данными между программными системами, написанными как на одном языке программирования, так и на разных, использующих как одну и ту же систему управления базами данных, так и разные. Например, существует потребность получать данные из веб-сайтов в мобильных приложениях и далее манипулировать ими, имея удобные для этого инструменты, предоставляемые в частности операционными системами iOS и Android.

Большинство высоконагруженных сайтов строятся по сервисной архитектуре, которая позволяет разделить один внушительный программный продукт на

набор взаимодействующих друг с другом сервисов, различных по предполагаемым нагрузкам в виде запросов от клиентов и архитектурной сложности. Такая архитектура позволяет строить каждый сервис абсолютно независимо от другого, т.е. выбрать различные языки программирования и различные базы данных, в общем выбрать те инструменты, которые удобны именно для решения конкретной задачи сервиса, а не целого программного продукта, что положительно сказывается на работе такого сервиса. В этом случае между сервисами необходим автоматизированный обмен данными, возникает потребность автоматического сбора и интеграции гетерогенных данных между сервисами с обеспечением целостности данных.

Также в рамках одной компании, одного предприятия, одного программного продукта целесообразно выбрать некий шаблон, протокол или технологию, согласно которой будет идти обмен данными, чтобы не возникло ситуации, когда сервис А взаимодействует с сервисом Б используя технология Т1, сервис Б взаимодействует с сервисом В, используя технологию Т2, а сервис В вынужден использовать технологию Т3 для взаимодействия с сервисом А.

Универсальная технология обмена данными между гетерогенными программными системами должна иметь четко выраженный формат, протокол, согласно которому данные будут преобразовываться на сервисе, затем передаваться, а в дальнейшем преобразовываться в естественные для языка программирования структуры данных. Такие преобразования должны быть доступны для максимально широкого круга языков программирования. Подготовленные данные не должны содержать большого числа служебных фрагментов, которые будут всего лишь дополнительной нагрузкой на канал передачи данных.

Существующие методы сбора и интеграции данных. Современные приложения нередко не могут полноценно существовать в виде отдельных сущностей, не связанных с другими. Зачастую требуется связывать разные приложения, несущие схожий функционал, например, веб-приложение и его клиент для мобильных устройств или стационарное приложение. Также связанные приложения могут дополнять функционал основного или брать на себя часть его функционала (например, идентификацию или авторизацию пользователей). Однако для связи приложений (или иногда даже частей одного приложения) требуется то, чем их связывать – некий общий язык взаимодействия разных сервисов. Для решения подобных задач существует большое количество решений, но двумя самыми распространёнными вариантами решения является использование технологии SOAP или архитектуры REST.

SOAP является протоколом для обмена структурированными сообщениями в распределённой вычислительной среде. Изначально созданный для вызова удалённых процедур, в настоящее время он используется чаще всего для обмена произвольными сообщениями в формате XML.

В данном протоколе заложены жесткие требования и принципы преобразования гетерогенных структур различных языков программирования в этот формат и обратно из него. Это, безусловно, приносит свои плоды: если 2 независимые программные системы используют этот стандарт – никогда не возникнет неоднозначностей, т.к. положения стандарта жесткие, таким образом, не возникнет проблем разногласий, которые возможны при REST подходе. Но при этом SOAP является избыточным, внося слишком много служебных тегов.

REST по своей сути не является протоколом – это всего лишь некий архитектурный подход, т.е. некое указание как можно организовать обмен данными между программными системами. В этой идее было придумано много

дополнительных возможностей – таких как идемпотентность запроса или значение типов HTTP запросов – таких как POST для обновления данных, а PUT для добавления. Идемпотентность в данном архитектурном подходе гарантирует, что произвольное число отправленных запросов типа PUT на добавление одного элемента, приведет к добавлению ровно 1 элемента. Но ни в одном языке программирования нет никаких стандартов, никаких указаний как использовать REST, каждая группа разработчиков использует его в той степени, в которой он изучил эту концепцию, из-за этого возникают ошибки и разногласия между группами разработки, что не приводит к полной автоматизации. Одна из идей REST состоит в том, чтобы использовать самый популярный формат хранения данных JSON и не добавлять к нему никаких служебных данных, вынеся все согласования на другой уровень взаимодействия между сервисами [1].

REST был основан и в большинстве своём используется в веб-приложениях разного масштаба как наиболее удобный способ взаимодействия в сети Интернет. REST и SOAP не вполне корректно сравнивать, так как в случае с SOAP речь идёт о группе стандартов и их реализаций, а в случае с REST – о парадигме построения приложений, однако возможность определённой степени сравнения вытекает из того факта, что обе технологии призваны решать схожие задачи. Также стоит заметить, что многие крупные компании поддерживают и активно используют обе технологии, что позволяет говорить о том, что технологии сами по себе не являются взаимоисключающими.

Технология SOAP. Simple Object Access Protocol – протокол, который содержит в себе набор определённых правил для коммуникации на обмене сообщениями, основанными на XML. Многие преимущества SOAP раскрываются при длительном его использовании и рассчитаны на долговременную поддержку. SOAP обладает рядом преимуществ, среди которых: независимость от транспорта - возможность работать с любым протоколом транспортного уровня модели OSI помимо HTTP, расширяемость – наличие стандартов, которые позволяют использовать возможности, не предусмотренные разработчиками SOAP.

Также у SOAP имеется ряд недостатков: SOAP может использовать только XML в качестве формата сообщений, что не всегда оправдано. Из-за большого количества внутренних правил и стандартов является более тяжеловесным, нежели REST, обмен сообщениями посредством SOAP увеличивает их объём и уменьшает скорость их передачи относительно других способов.

Архитектурный подход REST. REpresentational State Transfer – это вариант архитектуры для распределённых систем, используемый в основном для построения веб-служб. Передача репрезентативного состояния не основана на каком-либо их протоколов и является архитектурным принципом, используемым для передачи данных через стандартные протоколы (например HTTP). Фактическое удобство REST вытекает из того, что данная парадигма была выделена из уже существующей системы взаимодействия в сети Интернет и оттого является для неё естественной.

REST - это веб-служба, которая сформировалась как альтернатива разрабатываемым основанным на SOAP сервисам, которая призвана решить многие проблемы SOAP, и в целом REST содержит довольно мало аспектов, которые реализуются труднее, чем в SOAP.

В REST вызов удалённой процедуры представляет из себя HTTP-запрос, все необходимые данные при этом передаются как параметры запроса. REST кардинально отличается от SOAP тем, что делает акцент на доступ к ресурсам, а

не на исполнение удалённых сервисов [2]. Сам по себе REST не является стандартом, однако стандартизованы многие его части [6]. REST, по причине использования передачи данных через URI, является наиболее естественным путём для сети Интернет в целом и позволяет не вводить новые уровни абстракции. Запросы в REST независимы друг от друга, в то время как SOAP требует стабильного соединения с клиентом. В целом REST имеет более низкий порог вхождения, нежели SOAP. Архитектура REST рассматривает уровень передачи данных HTTP как активного участника взаимодействия, используя существующие методы HTTP (такие как GET, POST, PUT и DELETE) для обозначения типа запрашиваемого сервиса. Следовательно, для разработчика запросы REST в общем случае более просты для формулирования и понимания, так как они используют существующие и хорошо понятные интерфейсы HTTP [3].

REST-сервисы независимы от формы представления данных. Разработчик сам может определить формат передачи данных, при этом наиболее часто в REST-сервисах используется JSON в качестве формата передачи данных. REST позволяет оперировать данным в том формате, который наиболее удобен для конкретного приложения [4].

Среди недостатков REST стоит выделить отсутствие стандартных механизмов для обеспечения безопасности, транзакционности, маршрутизации и гарантированности доставки, которые разработчикам сервиса приходится придумывать самостоятельно, отсутствие поддержки WDSL – пользователи сервиса не могут получить метаданные от самого сервиса. REST плохо подходит для сложных приложений – разработчикам становится всё труднее вносить изменения в систему по мере её разрастания [5-7].

Протокол обмена гетерогенными данными HDP. Технология HDP (Heterogenous Data Protocol) представляет из себя протокол для обмена гетерогенными данными в распределенной вычислительной среде. HDP использует жестко структурированные данные в формате JSON со специальными служебными метками, согласно спецификации протокола.

Узел в распределенной системе, который желает предоставить доступ остальным узлам по HDP, обязан сформировать файл HDP-сервиса, в котором перечислить доступные клиентам функции с указанием входных параметров и выходной схемы данных. По каждому входному параметру допустимо указывать значения по умолчанию, правила проверки данных этого параметра и другое.

Узел, предоставляющий данные в данном файле должен отразить все функции и методы, которые доступны клиенту посредством поля "function". Стоит отметить, что генерация функций подобного файла также автоматизирована и доступна посредством специальных классов вида HDPGenerator. По каждой функции узел, предоставляющий данные, указывает в hdp.json файле входные параметры. Для каждого параметра указывается его название (name), описание (description). Возможно указать значение по умолчанию (default), которое будет использовано сервисом, предоставляющим данные, если клиент не передает значение. Поле "validation" является массивом объектов, отвечающих за проверку данных, пришедших от сервиса. В каждом объекте допустимо указать проверку на тип входящего параметра, его минимальную и максимальную длину. Существуют возможности проверки согласно регулярному выражению, уникальности в рамках некоего набора данных, находящегося у провайдера.

Протокол позволяет гетерогенным программным системам осуществить обмен данными с гарантией целостности данных, возможностью их проверки,

построения распределенной сервисной архитектуры на стороне провайдера данных. Протокол имеет собственную спецификацию, поэтому обмен данными между различными приложениями не вызовет противоречий. Допускается произвольное количество форматов сериализации данных, предлагая JSON как основную. Но независимо от протокола и его спецификации, провайдер данных может выбрать желаемый формат сериализации данных, в котором он будет получать данные от клиентов. В дальнейшем будем рассматривать формат обмена данными JSON, как основной для протокола HDP.

Протокол позволяет объединить простоту и легкость REST с некой строгостью SOAP, чтобы обмен данными между приложениями был максимально гибким (формат JSON), но при этом сохранялись некие идеи по строгости описания и проверки данных из SOAP.

Одна из важнейших особенностей протокола состоит в том, что провайдер имеет возможность в своем конфигурационном файле HDP-сервиса указать балансировку нагрузки между различными микросервисами, предоставляющими доступ к данным, кешировать результаты запроса данных, чтобы снизить нагрузку на сервисный кластер.

Сравнительная характеристика технологий HDP, SOAP и REST. Стоит отметить, что существует достаточно задач и проблем в области разработки программных систем, поэтому отдельные технологии подходят для решения одного типа задач, другие технологии будут выбраны для решения других задач. Не существует технологии, которая была бы идеальным выбором для любых задач, более того в рамках развития системы подходящая технология может быть заменена, например, при росте сервисной архитектуры может возникнуть потребность заменить технологию взаимодействия с REST на HDP. Подробные сравнительные характеристики технологии взаимодействия сервисов отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение технологий HDP, REST и SOAP

	HDP	REST	SOAP
Наличие спецификации	Есть строгая спецификация	Есть только общее описание концепции	Есть строгая спецификация
Использование произвольного формата преобразования данных	Допустимо использовать любые форматы	Допустимо использовать любые форматы	Согласно спецификации допустим только XML
Экосистема и наличие библиотек под разные языки программирования	Хорошая экосистема, существуют реализации под большинство популярных языков программирования	Отличная экосистема, библиотеки доступны почти под все языки программирования	Удовлетворительная экосистема, для новых языков программирования официальных библиотек на данный момент нет
Сложность развертывания системы	Достаточно низкая, помимо необходимых сервисов достаточно развернуть лишь узел HDP Server	Низкая, необходимо разворачивать исключительно сами сервисы	Средняя, SOAP Server необходимо разворачивать под каждый отдельный сервис
Масштабируемость	Доступна всего лишь изменением настроек	Встроенной возможности масштабирования нет	Встроенной возможности масштабирования нет
Наличие единой точки входа	Единая точка входа	Множество точек входа	Единая точка входа

Накладные расходы без учета самих данных	Низкие	Низкие	Высокие из-за ограничения на формат XML
Обратная совместимость при изменении сервиса	Существует возможность обратной совместимости с указанием версий	Возможность отсутствует	Возможность отсутствует

Технология HDP будет выбором для сервисной архитектуры, состоящей из множества сервисов, системы, где не существует монолитных приложений, системы, которая рассчитана на большие объемы данных и высокие нагрузки. Для систем, в которых существует потребность в обратной совместимости и возможности масштабирования сервисов без использования стороннего программного обеспечения, технология HDP будет единственным выбором.

Технология REST будет выбором для сервисной архитектуры, где не существует монолитных приложений и при этом количество узлов не превышает 4-5. При увеличении количества узлов взаимодействие программных компонентов значительно усложняется из-за отсутствия строгой спецификации.

Технология SOAP будет выбором для поддержки уже существующих программных продуктов, где заложен обмен данными по этой технологии и требуется обновить сервисы к системе. Технология не будет выбором для современных языков программирования таких как Go, Scala и др. Уровень экосистемы новых языков программирования обычно не соответствует уровню экосистемы более популярных языков таких как Java, C#, PHP и т.д., в связи с этим полной поддержки SOAP в этих языках не существует.

Заключение. Потребность в обмене данными между приложениями в настоящее время только растет в связи с увеличением сложности архитектурных концепций программных систем, порой появляются даже внутренние задачи по обмену данными между закрытыми извне сервисами или микросервисами. В связи с этим появляются все новые требования к технологиям обмена данными, которые должны удовлетворять текущему состоянию отрасли.

Более ранняя технология обмена данными SOAP внесла строгость и типизацию в обмен данными, но возросли объемы данных и повысились требования к скорости передачи данных, например, синхронизация данных между различными аэропортами и внутренними службами должны быть “почти” мгновенной, а скорости проводной и беспроводной связи еще не всегда и не во всех уголках планеты удовлетворяют самым высоким стандартам, поэтому каждая излишняя нагрузка данных увеличивает время передачи. В случае с SOAP в качестве такой “лишней” нагрузки выступает формат сериализации данных XML.

Технология REST в свою очередь не использует форматы сериализации данных с излишней нагрузкой, но факт того, что REST задумывался и используется по сей день как архитектурный подход и нет попыток свести его к некому протоколу, вынуждает программные системы самостоятельно договариваться об обмене данными. На текущий момент почти в каждой предметной области чрезвычайно много специфических понятий и терминов, много различных данных, поэтому в таких ситуациях четкие стандарты обмена данными избавляют от ненадежной, беспорядочной и неполной передачи данных.

В качестве такого четкого стандарта и выступает протокол HDP, базирующийся на стандартах сериализации данных, которые не добавляют лишнюю

нагрузку при их передаче. Спецификация протокола позволяет провайдеру данных задать желаемый формат и не преобразовывать гетерогенные данные от различных клиентов для ответа на их запросы. В свою очередь клиенты получают спецификацию, в соответствии с которой они приводят свои данные и направляют запрос.

Список литературы

1. *Kishor Wagh, Dr. Ravindra Thool. A Comparative Study of SOAP Vs REST Web Services Provisioning Techniques for Mobile Host, Journal of Information Engineering and Applications, 2012, no. 5, pp.12-17*
2. *Alexandros Dallas. RESTful Web Services with Dropwizard - Packt Publishing, 2014, 112 p.*
3. *Jim Webber, Savas Parastatidis, Ian Robinson. REST in Practice Hypermedia and Systems Architecture - O'Reilly Media, 2010, 448 p.*
4. *Leonard Richardson, Mike Amundsen, Sam Ruby. RESTful Web APIs - O'Reilly Media, 2013, 406 p.*
5. *Marek Potociar. When To Use SOAP And When REST, Jazoon international conference on the modern art of software, 2011.*
6. *Cesare Pautasso. REST vs. SOAP: Making the Right Architectural Decision, SOA Symposium Amsterdam, 2008.*
7. *Брызгалов В.В., Сальников И.И. Программное средство для анализа и обработки растровых изображений. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. – 2015. – №03 (25). – С. 23-29.*

УДК 378.16
ББК 30

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В ОТДЕЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА «ПЕНЗЕНСКОГО МНОГОПРОФИЛЬНОГО КОЛЛЕДЖА»

- © *Д.И. Танасов, «Пензенский многопрофильный колледж»,
Отделение железнодорожного транспорта (г. Пенза, Россия)*
- © *Т.Н. Печерская, «Пензенский многопрофильный колледж»,
Отделение железнодорожного транспорта (г. Пенза, Россия)*
- © *С.В. Печерский, Пензенский государственный технологический университет
(г. Пенза, Россия)*

EXPERIENCE OF USING ONLINE LEARNING TECHNOLOGIES IN THE DEPARTMENT OF RAILWAY TRANSPORT OF THE "PENZA MULTIDISCIPLINARY COLLEGE"

- © *D.I. Tanasov, Department of railway transport of the
"Penza multidisciplinary College" (Penza, Russia)*
- © *T.N. Pecherskaya, Department of railway transport of the
"Penza multidisciplinary College" (Penza, Russia)*
- © *S.V. Pecherskiy, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Рассмотрены вопросы использования интернет-технологий при обучении студентов для железнодорожного транспорта

Ключевые слова: college, Интернет, железнодорожный транспорт, Moodle, образование, электронное обучение, свободное программное обеспечение.

The problems of the use of Internet technology in teaching students for railway transport are considered.

Key words: college, Internet, railway transport, Moodle, education, e-learning, freeware

E-mail: psvbox@penzgtu.ru, gptnbox@gmail.com

Отделение железнодорожного транспорта ГАПОУ ПО "Пензенский многопрофильный колледж" (далее ОЖТ) в своей деятельности активно использует интернет-технологии. В ОЖТ имеется собственный интернет-узел, в том числе обеспечивающий поддержку нескольких веб-сайтов, размещённых на серверах ОЖТ. Это позволяет исключить финансовые затраты на услуги хостинга, существенно повысить функциональность и производительность сервисов. Через интернет-канал осуществляется обслуживание и удалённое управление компьютерным тренажёром электровоза, установленным в ОЖТ.

В ОЖТ работает образовательный портал <http://edu.pttspenza.ru>, активно используемый в учебном процессе [6]. На портале персонально зарегистрированы все студенты и преподаватели ОЖТ. Портал доступен круглосуточно с любого компьютера в Интернет и очень активно используется для получения студентами знаний, в том числе из дома. Вышеуказанный портал построен на основе передовой системы Moodle [1,2,7,9], используемой в 223 странах мира, и является частью мирового сообщества Moodle.

В ОЖТ эффективно работает локальная вычислительная сеть (ЛВС), объединяющая компьютеры учебных классов, рабочих мест работников и преподавателей. Сеть обеспечивает доступ в Интернет и к локальным сетевым ресурсам, имеется файловый сервер на основе ОС Windows Server 2003.

Реализованы следующие основные сетевые сервисы [8,10]:

- работа в компьютерных-классах, использующих рабочие станции на базе ОС Windows (доступ в Интернет и к файл-серверам ЛВС);
- HTTP-доступ к образовательному portalу на основе Moodle и веб-сайтам ОЖТ;
- FTP,VPN и SSH-доступ к интернет-серверам для целей их удалённого администрирования;
- поддержка DHCP для назначения IP-адресов компьютерам локальной сети;
- поддержка NTP для синхронизации времени на компьютерах ОЖТ;
- поддержка DNS для доменной зоны pttspenza.ru;
- контроль интернет-доступа и защита от несанкционированного доступа к информации;
- антивирусная защита рабочих станций;
- корпоративная сеть Wi-Fi;
- печать на сетевых принтерах.

На интернет-шлюзе, образовательном portalе и веб-сервере установлено свободное программное обеспечение [5], что существенно снижает финансовые затраты для обеспечения необходимых сервисов. На компьютерах пользователей ЛВС и в компьютерных классах установлена ОС Windows.

В качестве платформы для построения интернет-серверов используется компьютер с Linux CentOS 7. Имеющегося в дистрибутиве штатного набора программного обеспечения вполне достаточно для реализации вышеперечисленных сервисов. В частности, веб-сайты функционируют под управлением HTTP-сервера Apache. FTP и VPN реализуются при помощи vsftpd и pptpd, соответственно. Динамическое выделение сетевых настроек на локальном интерфейсе поддерживается при помощи dhcpd. При этом компьютерам выдаются IP-адреса из диапазона 10.0.0.0/8.

Первичный DNS-сервер для доменных зон pttspenza.ru и 10.IN-ADDR.ARPA реализован средствами bind в режиме chroot. Secondary DNS-серверы арендуются в RU-Center (<http://www.nic.ru>), что обеспечивает быстрдействие и отказоустойчивость.

Для контроля интернет-трафика и защиты от несанкционированного доступа к информации используется прокси-сервер Squid. Возможность гибкой настройки его конфигурации позволяет достаточно полно реализовать необходимые требования по безопасности. В частности, при помощи механизма delay pools реализуется управление шириной интернет-канала пользователей. Использование редиректора Rejik и "чёрных" списков позволяет бороться с запрещёнными веб-ресурсами и надоедливой рекламой. Ограничение доступа к запрещённым интернет-ресурсам (постановление Правительства РФ от 26 октября 2012 г. № 1101) осуществляется на стороне провайдера. Дополнительная защита обеспечивается использованием в качестве forwarders DNS-серверов Yandex. При помощи анализатора лог-файлов прокси-сервера SARG имеется возможность контролировать сетевую активность компьютерных классов.

Антивирусная защита рабочих станций реализована средствами программного обеспечения Dr.Web Enterprise Security Suite с соответствующим центром управления. Такое решение позволяет администратору осуществлять централизованное управление антивирусной защитой, легко обнаруживать и нейтрализовать заражения.

Корпоративная сеть Wi-Fi используется зарегистрированными пользователями для доступа к веб-ресурсам ЛВС и администрирования сети. Аппаратное обеспечение основано на нескольких точках доступа D-Link Dir-300, объединённых в отдельный vlan-сегмент сети Ethernet.

Несмотря на наличие общего официального веб-сайта ГАПОУ ПО "Пензенский многопрофильный колледж", ОЖТ имеет собственный сайт (<http://www.pttspenza.ru>), размещённый на своём сервере. Это позволяет снять ограничения по объёму публикуемых материалов, повысить функциональность, увеличить производительность ресурса и сократить время доступа к нему из ЛВС [4]. В качестве ядра сайта использовано свободно распространяемое программное обеспечение WordPress, гибко настраиваемое под любую задачу благодаря наличию у разработчиков нескольких тысяч дополнительных модулей. В частности, использованы следующие плагины для WordPress:

- "Button visually impaired" – плагин, реализующий версию сайта для слабовидящих;
- "Imsanity" – плагин, позволяющий автоматически изменять размер изображений при их загрузке;
- "Insert Headers and Footers" – плагин, позволяющий вставлять header и footer;
- "PHP Code Widget" – плагин, позволяющий вставлять PHP-код;

- "Post Slider WD" – слайдер;
- "Social Likes" – ссылки на соцсети;
- "WP Lightbox 2" – jQuery плагин для всплывающих окон;
- "Yandex.Metrika" – плагин для добавления кода счётчика Яндекс.Метрика;
- "Откл. комментарии" – плагин для отключения комментариев в сообщениях.

Одной из важных актуальных для любого учебного заведения задач является составление и публикация учебного расписания. В ОЖТ используется свободно распространяемое программное обеспечение FET Free Timetabling Software (<http://www.lalescu.ro/liviu/fet/>). За несколько лет своего активного использования в ОЖТ эта программа показала свою эффективность и функциональность. Помимо полноценного расписания занятий, полученного в XML и XLS-форматах, программа формирует HTML-код, готовый к публикации на веб-сайте. Преподаватели и студенты активно пользуются веб-расписанием.

Наблюдается выраженная периодичность загрузки сетевых ресурсов. Например, во время праздников и каникул имеется "провал" числа входов на образовательный портал (рисунок 1).

При этом, если рассматривать его загрузку в течение суток, видно, что хотя она и резко возрастает в дневное время во время учебных занятий, но не прекращается до полуночи (рисунок 2). Это объясняется тем, что студенты получают учебные материалы, выполняют домашние и контрольные задания [3] в удалённом режиме в удобное для себя время.

В настоящее время в ОЖТ ведутся работы по замене существующего ADSL-подключения к провайдеру на волоконно-оптический канал связи. Такой канал обеспечит целый комплекс современных высокопроизводительных услуг доступа к Интернет, цифрового телевидения, существенно более дешёвой телефонии с рядом дополнительных видов обслуживания (виртуальный офис, виртуальная АТС и прочее).

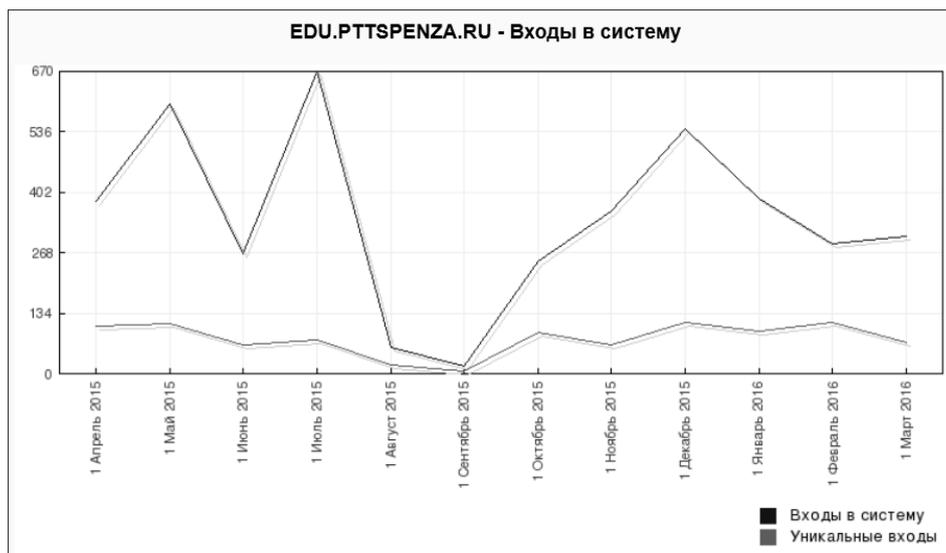


Рисунок 1 – Пример периодичности входов на образовательный портал ОЖТ

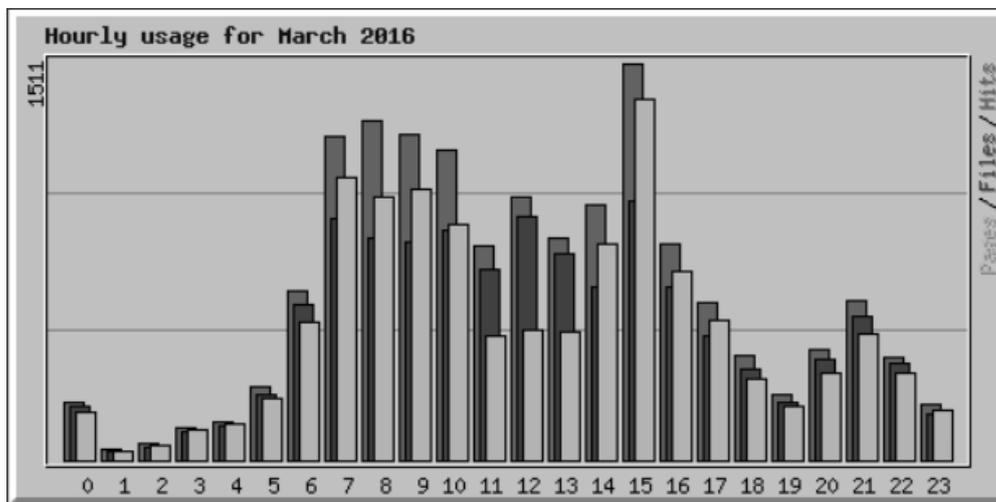


Рисунок 2 – Распределение нагрузки веб-сервера по часам

Волоконно-оптический канал связи позволит ОЖТ существенно увеличить скорость доступа к Интернет, выйти на принципиально новый уровень технологического обеспечения, продолжить внедрение информационных технологий в учебный процесс и научно-методическую работу [11]. Появится возможность более эффективного информационного обмена с другими отделениями и предприятиями-партнёрами.

Список литературы

1. Антипов М.А., Куксенюк В.Е. Человек в информационной среде// Сборники конференций НИЦ Социосфера, 2012. – № 17. – С. 20-24.
2. Андреева Н.Б., Печерская Н.С. К вопросу повышения мотивации при работе с образовательным порталом технического вуза// Современные информационные технологии. 2013. – № 17. – С. 249-252.
3. Артюшина Е.А., Бершадская Е.Г. Методологические аспекты применения математической статистики для прогнозирования результатов интернет-аттестаций студентов // Открытое образование. Москва: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2010. № 6. С. 4-8.
4. Мартышкин А.И., Бикташев Р.А., Воронцов А.А. Численный метод для определения пропускной способности приоритетного потока заявок в многопроцессорной системе с общим диспетчером задач по каждому конкретному типу приоритета // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 3 (19). С. 137-145.
5. Печерская Т.Н., Куксенюк В.Е. Свободное программное обеспечение при изучении астрономии // Современные информационные технологии, 2014. – № 19. – С. 235-237.
6. Печерский С.В., Бобков Н.Ю., Печерская Т.Н., Танасов Д.И. Образовательный интернет-портал отделения железнодорожного транспорта ГАПОУ ПО «Пензенский многопрофильный колледж»/ Пенза: ПензГТУ, Современные информационные технологии. 2015. № 21. С. 152-155.

7. Печерский С.В. Особенности использования системы управления учебными курсами Moodle при построении образовательного портала вуза // *Современные информационные технологии*. Пенза: ПензГТУ, 2012. № 15. С. 102-103.
8. Печерский С.В., Мошечков В.В., Егоров В.А. Особенности построения Web-портала вуза на базе CMS TYPO3 // *Пенза: ПензГТУ, Современные информационные технологии*. 2013. № 17. С. 233-234.
9. Печерский С.В. Эффективная конфигурация системы управления учебными курсами Moodle для её интеграции с системой рейтинговой оценки работы студентов ПензГТУ // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Пенза: ПензГТУ, 2013. № 10 (14). С. 131-134.
10. Печерский С.В., Печерская Н.С. Особенности построения узла доступа к телематическим услугам связи в вузе // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Пенза: ПензГТУ, 2014. № 3 (19). С. 196-199.
11. Сальников И.И. Критерии отнесения устройств и систем обработки информации к интеллектуальным // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. Пенза: ПГТА, 2012. № 1 (5). С. 11-15.

УДК 621.396.6, 004.942, 519.876.5
ББК 30

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ
ПО ЗАДАНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

© **В.Г. Покровский**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

**INFORMATION TECHNOLOGY OF DESIGNING AND MODELLING
OF CONSTRUCTIONS ON THE SET INFLUENCES**

© **V.G. Pokrovskij**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В работе рассматривается метод построения трёхмерных дискретных моделей конструкций электронной аппаратуры. Описан метод построения математических моделей конструкций с нефиксированным количеством переменных проектирования и способ формирования матрицы жесткости конструкции. Показан способ определения матрицы переменных проектирования фрагментов конструкции. Решена задача оптимизации структуры конструкции.

Ключевые слова: напряжённо-деформированное состояние; конструкции электронной аппаратуры; автоматизация проектирования; инженерный анализ конструкций, оптимизация конструкций.

The article is devoted to the method of building of three-dimensional discrete models of electronic equipment constructions. The approach of making of mathematical models of constructions with non-fixed number of design variables and method of forming of rigidity matrix of bar system is described in the article. The method of definition of design variables matrix of constructions fragments is shown. The problem of construction structure optimization is solved.

Key words: the stress-strain state; electronic equipment constructions; design automation; engineering analysis of constructions, constructions optimization.

E-mail: svg0106@mail.ru

Повышение качества выпускаемой продукции, а также сокращение сроков и затрат на проектирование и подготовку производства новой техники в со-

временных условиях является актуальной задачей. Указанную задачу можно решить при условии применения в процессе проектирования и подготовки производства новых изделий электронной техники математического моделирования, а также средств автоматизации проектно-конструкторских работ [1]. Моделирование эксплуатационных воздействий может быть осуществлено с помощью программно-технических комплексов автоматизированного проектирования, построенных на основе применения численных методов анализа физических процессов в проектируемых конструкциях.

Существующие программно-технические средства проектирования содержат в себе полный набор CAD/CAE решений. Большинство этих программных комплексов содержат в своём составе модули, позволяющие выполнять функции инженерного анализа проектируемых изделий при различных воздействиях. Эти программные продукты реализуют технологии конечно-элементного анализа и обладают сходными характеристиками.

В то же время, подобные системы инженерного анализа конструкций позволяют решать задачи моделирования конструкций, структура которых однозначно определена. Изменение конструктивных параметров проектируемого изделия не требует модификации математической модели проектируемой конструкции. Только при изменении структуры проектируемой конструкции возникает необходимость в изменении самой математической модели, что, в конечном итоге, требует изменения количества переменных проектирования. Модификация математической модели объекта проектирования возможна при использовании соответствующего аппарата предметно-ориентированной логики, на основе которого можно строить логико-алгебраические выражения, позволяющие вводить и исключать переменные и функции, и, как следствие, — создавать математические модели с нефиксированным количеством переменных проектирования.

Является актуальной задача разработки программно-технических комплексов моделирования конструкций электронной аппаратуры на основе применения математических моделей с нефиксированным количеством переменных проектирования, которые позволяли бы решать задачи структурной оптимизации проектируемых изделий, обладающих дискретной структурой [2].

Разработана математическая модель пространственной стержневой системы с нефиксированным количеством переменных проектирования и программный комплекс в виде системы имитационного моделирования для решения задач структурной оптимизации конструкций электронной аппаратуры. Модель позволяет осуществлять моделирование действий проектировщика по целенаправленному преобразованию структуры проектируемых конструкций электронной аппаратуры, рассматриваемых как стержневые, таких как стойки, каркасы, рамы, шасси, в соответствии с заданными эксплуатационными воздействиями и конструкторско-технологическими ограничениями.

Структурная оптимизация конструкций реализуется путем введения элементов или стержней в систему или их исключения. Введение и исключение элементов, в свою очередь, связано с введением и исключением переменных и функций, например переменных проектирования. Эти операции могут быть реализованы с использованием соответствующего аппарата предметно-ориентированной логики [3, 4]. Для решения проблемы выбора в задачах оптимизации конструкций используются операции **импликативной алгебры выбора**. Это позволяет формализовать задачи модификации модели стержневой системы, на основе введения и исключения переменных проектирования.

Для задания проекта стержневой системы необходимо выбрать переменные проектирования, которыми являются: геометрические параметры поперечных сечений стержней, координаты, характеризующие размеры и ориентацию, физико-механические характеристики материала конструкции.

При реализации процедуры структурной оптимизации, аналогом предикатной переменной Y_j является соответствующая матрица-вектор $\overline{B_{E_i}^{g_U e}}$ переменных проектирования элемента стержневой системы [5-8].

В результате, операция предикатной дизъюнкции для выбора или исключения стержня принимает вид:

$$z_1 = \vee \left(\alpha_i^{g_U e} \right) \left(\overline{B_{E_i}^{g_U e}} \right) = \alpha_i^{g_U e} \overline{B_{E_i}^{g_U e}}, \quad (1)$$

Здесь e — номер прилегающей к узлу связи, $e=1 \dots N_e$; N_e — количество прилегающих к узлу связей; g_U — номер типа узла, $g_U=1, 2, 3, 4, 5$; E_i — номер стержневого элемента в глобальной системе координат.

В развёрнутом виде матрицу-вектор переменных проектирования стержневого элемента можно представить следующим образом:

$$\overline{B_{E_i}^{g_U e}} = \left[h_Y, h_Z, h_t, h_d, X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B, E, \nu, \rho \right]^T, \quad (2)$$

Здесь h_Y, h_Z, h_t, h_d — параметры поперечного сечения стержневого элемента объёма, $X_A, Y_A, Z_A, X_B, Y_B, Z_B$ — координаты концов стержневого элемента, E — модуль упругости материала стержневого элемента, ν — коэффициент Пуассона, ρ — плотность материала.

Матрица-вектор составляющих переменных проектирования стержневой системы в качестве элементов содержит матрицы-векторы переменных проектирования стержневых элементов, из которых состоит стержневая система:

$$\overline{B^{g_U}} = \left[\overline{b_{(1)}^{g_U}}, \dots, \overline{b_{(e)}^{g_U}}, \dots, \overline{b_{(N_s)}^{g_U}} \right]^T, \quad (3)$$

здесь: N_s — количество стержней в системе.

Компонент матрицы-вектора составляющих переменных проектирования стержневой системы определяется как произведение матрицы-вектора переменных проектирования стержневого элемента $\overline{B_{E_i}^{g_U e}}$ и предикатной переменной $\alpha_i^{g_U e}$:

$$\overline{b_e^{g_U}} = \overline{B_{E_i}^{g_U e}} \cdot \alpha_i^{g_U e}, \quad (4)$$

где $\overline{B_{E_i}^{gUe}}$ — матрица-вектор переменных проектирования стержня, α_i^{gUe} — предикатная переменная, соответствующая выбору или наличию стержня с номером e , $\alpha^{gUe} \in \{0,1\}$ (для алгебраической формы записи $\alpha^{gUe} = 1$, если стержень под номером e существует, $\alpha^{gUe} = 0$ при его отсутствии).

Матрица жесткости стержневого элемента определяется как функция, аргументом которой является компонент матрицы-вектора составляющих переменных проектирования стержневой системы:

$$K_M^{gUe} \left(\overline{b_e^{gU}} \right). \quad (5)$$

Компонент матрицы-вектора составляющих жёсткостей стержня определяется как произведение соответствующего компонента вектор-строки матрицы жёсткости стержня и предикатной переменной $\alpha_{L(r)}^{gUe}$:

$$k_{V(p)}^{gUer} = k_{M(r,p)}^{gUe} \cdot \alpha_{L(r)}^{gUe}. \quad (6)$$

Здесь $k_{M(r,p)}^{gUe}$ — компонент вектор-строки матрицы жёсткости стержня, r — номер строки, а p — номер столбца в матрице жёсткости стержня, $\alpha_{L(r)}^{gUe}$ — предикатные переменные, соответствующие выбору или наличию признака шарнирного соединения [6].

Компонент матрицы-вектора узловых составляющих жёсткостей соответствует матрице-вектору составляющих жёсткостей стержня:

$$\overline{k_e^{gUr}} = \overline{K_V^{gUer}}, \quad (7)$$

где $\overline{K_V^{gUer}}$ — матрица-вектор составляющих жёсткостей стержня и выглядит следующим образом:

$$\overline{K_V^{gUer}} = \left[k_{V(1)}^{gUer}, \dots, k_{V(p)}^{gUer}, \dots, k_{V(N_p)}^{gUer} \right]. \quad (8)$$

Здесь p — номер линейного или углового смещения конца стержня, которому соответствует компонент $k_{V(p)}^{gUer}$ матрицы-вектора составляющих

жёсткостей стержня, $p=1 \dots N_p$; N_p — количество линейных и угловых смещений в матрице-векторе составляющих смещений стержня, $N_p=12$.

Вводится понятие матрицы-вектора узловых составляющих жёсткостей. Обычно, понятие жёсткости соотносится с элементом конструкции, в данном случае со стержнем. Однако, поскольку вычисления производятся относительно узловых значений, то характеристики конструкции, в том числе характеристика жёсткости, также приводятся к узловым значениям.

Матрица-вектор узловых составляющих жёсткостей:

$$\overline{K^{gUr}} = \left[\overline{k_{(1)}^{gUr}}, \dots, \overline{k_{(e)}^{gUr}}, \dots, \overline{k_{(N_e)}^{gUr}} \right]. \quad (9)$$

Матрица-вектор составляющих узловых смещений стержневой системы содержит в своём составе компоненты матриц-векторов составляющих смещений концов (торцевых граней) стержневых элементов:

$$\overline{T^{gU}} = \left[\overline{t_{(1)}^{gU}}, \dots, \overline{t_{(e)}^{gU}}, \dots, \overline{t_{(N_e)}^{gU}} \right], \quad (10)$$

Компонент матрицы-вектора составляющих узловых смещений определяется как произведение матрицы-вектора составляющих смещений концов

(торцевых граней) стержневого элемента $\overline{T_{M_i}^{gUe}}$ и предикатной переменной α_i^{gUe} и выглядит следующим образом:

$$\overline{t_{(e)}^{gU}} = \overline{T_{M_i}^{gUe}} \cdot \alpha_i^{gUe}, \quad (11)$$

где $\overline{T_{M_i}^{gUe}}$ — матрица-вектор составляющих смещений концов (торцевых граней) стержневого элемента объёма.

Матрица-вектор составляющих смещений торцевых граней стержневого элемента содержит в качестве компонентов линейные и угловые смещения:

$$\overline{T_{M_i}^{gUe}} = \left[\overline{t_{M(1)}^{gUe}}, \dots, \overline{t_{M(p)}^{gUe}}, \dots, \overline{t_{M(12)}^{gUe}} \right], \quad (12)$$

где $\overline{t_{M(1)}^{gUe}} = U_{(m)}^{gUe}$ — линейное смещение U по направлению координаты X конца (торцевой грани) номер один (m), связи (стержня) с номером e , примыкающей к узлу типа g_U , $\overline{t_{M(12)}^{gUe}} = \Theta_{z(n)}^{gUe}$ — угловое смещение

Θ_z , соответствующее повороту вокруг оси координат Z конца (торцевой грани) номер два (n), связи (стержня) с номером e , примыкающей к узлу типа g_U .

При структурной оптимизации конструкции осуществляется введение стержней или связей в область проектирования или их исключение. Методика

формальной оптимизации стержневых систем, реализованная в разработанной системе моделирования позволяет выполнять модификацию проектируемой конструкции в автоматическом режиме без участия проектировщика. Для решения задач структурной оптимизации первоначально может выбираться стержневая система с избыточным количеством элементов. Цель оптимизации состоит в получении равнонапряженной конструкции или конструкции минимальной массы.

В ряде ситуаций, применяемая схема нагружения может привести к локализации нагрузок в некоторых частях конструкции. Механические напряжения в стержневых элементах, входящих в эти фрагменты конструкции могут существенно отличаться от этих же параметров в других частях конструкции. Это может привести к тому, что малонагруженные элементы, связывающие эти фрагменты, будут удалены и конструкция будет разделена на несколько несвязанных между собой фрагментов. Тогда в одной области проектирования будет существовать несколько областей решения, в каждой из которых будет решаться отдельная задача оптимизации конкретного фрагмента. Такая задача называется задачей декомпозиции конструкции.

Решение задачи декомпозиции фактически приводит к ситуации, когда в одной области проектирования появляются несколько отдельных конструкций. Тогда матрица-вектор составляющих переменных проектирования стержневой системы в качестве элементов будет содержать в своём составе матрицы-векторы составляющих переменных проектирования фрагментов стержневой системы. Выражение (3) можно будет переписать так:

$$\overline{B} = \left[\overline{B}_1^{gU}, \dots, \overline{B}_f^{gU}, \dots, \overline{B}_{N_f}^{gU} \right]^T, \quad (13)$$

здесь N_f — количество фрагментов в стержневой системе, f — порядковый номер фрагмента.

Решена задача оптимизации структуры конструкции при одновариантном механическом нагружении. Исходная структура представляет собой объёмную конструкцию, выполненную из стержневых элементов в виде стальных труб квадратного сечения со стороной 40 мм. Сеточная модель исходной заготовки представлена на рисунке 1. Также на этом рисунке условно изображены силовые воздействия, локализованные в узлах сеточной модели. Внизу сеточной модели условно изображены опоры, которые предотвращают смещение конструкции по направлениям координатных осей. Крайние опоры справа и слева предотвращают вертикальное смещение конструкции по направлению оси Y . Внутренние опоры предотвращают смещение конструкции по направлениям всех координатных осей.

Исходные данные при решении задачи оптимизации структуры конструкции:

— количество стержней в заготовке, (шт.)	— 1562;
— масса, (кг)	— 4564,460;
— узловые значения силовых воздействий по направлению оси Y , (Н)	— 90 000;
— длина исходной конструкции по оси X , (м)	— 10;
— высота исходной конструкции по оси Y , (м)	— 3;
— глубина исходной конструкции по оси Z , (м)	— 3.

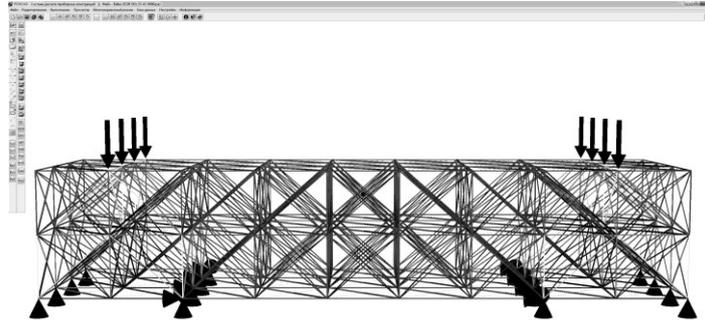


Рисунок 1 – Сеточная модель стержневой конструкции в главном окне программного комплекса

Результаты выполнения структурной оптимизации конструкции:

— время решения,	— 1 мин. 11 с.;
— количество стержней, (шт.)	— 957;
— масса фрагментов, (кг)	— 2837;
— максимальная перегрузка, (%)	— 72 от допустимой;
— максимальный прогиб, (%)	— 0,0568 (норма – 0,1).

Оптимизация структуры конструкции выполнялась в автоматическом режиме. На рисунке 2 изображена структура конструкции, которая была получена после выполнения тридцать девятого шага структурной оптимизации. Это была последняя неразделенная структура конструкции. На следующем шаге структурной оптимизации произошло разделение конструкции на два несвязанных фрагмента. Структура, полученная на пятьдесят первом шаге, стала конечной структурой, она представлена на рисунке 4. Дальнейшее изъятие стержневых элементов из конструкции приводит к ухудшению её прочностных характеристик, поэтому структура, изображённая на рисунке 4 является конечной.



Рисунок 2 – Тридцать девятый шаг структурной оптимизации конструкции. Непосредственно перед разделением

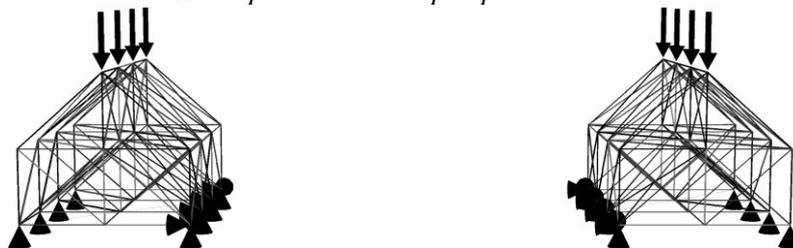


Рисунок 3 – Пятьдесят первый шаг структурной оптимизации конструкции. Конечная структура

Методика оптимизации, реализованная в разработанной системе имитационного моделирования, позволяет получать стержневые конструкции, оптимальные для конкретного вида нагружения. В отдельных случаях реализация данного подхода к проектированию приводит к разделению исходной заготовки проектируемой конструкции на несколько несвязанных фрагментов. Решение задачи оптимизации, приводящее к декомпозиции конструкции на несвязанные фрагменты, может выполняться в автоматическом режиме без участия проектировщика.

Список литературы

1. Литвинская О.С., Сальников И.И. Математическая модель выбора стандарта радиointерфейса // *Фундаментальные исследования: Научный журнал*. – Пенза: ООО Издательский Дом "Академия Естествознания", 2011. – № 12-3. – С. 562-567.
2. Андреева Т.В., Курносов В.Е. Методология решения задач синтеза конструкций по заданным воздействиям // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Научное периодическое издание*. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – № 01(05). – Пенза, 2012. – С. 192–197.
3. Волгин Л. И., Левин В. И. Непрерывная логика. Теория и применение. – Таллинн.: Изд-во Академии наук Эстонии, 1990. – 210 с.
4. Левин В.И. Непрерывная логика. Основные понятия // *Логические исследования: Научно-теоретический журнал*. – М.: Институт философии Российской академии наук, 2006. – № 13. – С. 90 – 107.
5. Покровский В.Г. Информационные технологии в проектировании несущих конструкций электронной аппаратуры на основе эволюционных дискретных моделей // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Научное периодическое издание*. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – № 05(09). – Пенза, 2012. – С. 198–205.
6. Покровский В.Г. Программный комплекс структурной оптимизации стержневых несущих конструкций на основе импликативной алгебры выбора // *Информационные системы и технологии: Научно-технический журнал*. – Орёл: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» (Госуниверситет – УНПК), 2013. – № 2(76).
7. Тартаковский А.М., Курносов В.Е., Якимов А.Н., Блинов А.В. Оптимизация конструкций при проектировании радиоэлектронных средств. – Пенза: Изд-во Пензенский госуниверситет, 1998. – 248 с.
8. Курносов В.Е. Эволюционный метод вычисления оптимальной формы конструкции // *Измерительная техника*, 1994, №5. – С.9–11.
9. Брызгалин В.В., Сальников И.И. Программное средство для анализа и обработки растровых изображений. // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии*. – 2015. – №03 (25). – С. 23-29.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего *плюс***

Периодическое научное издание

Серия: Технические науки.

Информатика, вычислительная техника
и управление



Научный редактор С.Н. Волков
Компьютерная верстка Н. Хлопцовой

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии «КОПИ-РИЗО»
Пенза, ул. Московская, 74, к. 211. Тел. 56-25-09.
e-mail: tipograf_porovamg@inbox.ru

Сдано в производство 18.05.2016. Формат 70X108 1/16
Бумага типогр. №1. Печать ризография. Шрифт Times New Roman.
Усл. печ. л. 15,7. Уч. изд. л. 14,6. Заказ № 1027. Тираж 100 экз.

Пензенский государственный технологический университет.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.