



Научный журнал
Орловского государственного
технического университета

Выходит шесть раз в год

№ 3/53(564)
май-июнь 2009

ИЗВЕСТИЯ ОрелГТУ

Информационные системы и технологии

Издается с 2002 года. Учредитель – ГОУ ВПО «ОрелГТУ»

Редакционный совет:

Голенков В.А., *председатель*
Радченко С.Ю., *зам. председателя*
Борзенков М.И.
Колчунов В.И.
Константинов И.С.
Попова Л.В.
Степанов Ю.С.

Главный редактор:
Константинов И.С.

Редакция:

Аверченков В.И.
Архипов О.П.
Гайндрик К.Г.
Еременко В.Т.
Зубарев Ю.М.
Иванов Б.Р.
Иванников А.Д.
Ипатов О.С.
Колесников К.С.
Корндорф С.Ф.
Коськин А.В.
Подмастерьев К.В.
Поляков А.А.
Распопов В.Я.
Сотников В.В.
Шкатов П.Н.

Ответственный за выпуск:
Константинова Г.А.

Адрес учредителя журнала:
302020,
г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 43-48-90, 40-96-14
www.ostu.ru
E-mail: nmu@ostu.ru

Зарег. в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовой информации.
Свидетельство: ПИ № 77-15496 от 20
мая 2003 года

Подписной индекс 86294
по объединенному каталогу
«Пресса России»

© ОрелГТУ, 2009

Со второго полугодия 2009 г. журнал
будет выходить под названием
«Информационные системы
и технологии» («ИСиТ»).
ISSN 2072-8964.
Св-во о регистрации средства
массовой информации
ПИ № ФС77-35333 от 17.02. 2009 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Батищев А.В., Коськин А.В., Рожков Г.Г.</i> Структурная схема взаимодействия пользователей распределенной автоматизированной системы дистанционного обучения ОрелГТУ.....	3
<i>Товбис Е.М.</i> Многомерный анализ данных образовательного процесса.....	8
<i>Моновская А.В., Макеева М.А.</i> Прогнозирование набора абитуриентов в сеть учреждений профессионального образования ХМАО-Югры....	14
<i>Карминская Т.Д., Алексеев В.И.</i> Модель управления сложными динамическими объектами на примере региональной системы «Образование-рынок труда-экономика».....	19
<i>Долгов Е.П., Раков В.И.</i> Методика автоматизации исследований фрикционного сцепления тяговых машин.....	25
<i>Шемончук Д.С.</i> Полнота и точность мультимедиа контента для существенно интенсифицированных мультимедиа систем.....	35
<i>Сазонов М.А., Пыж М.Н., Кузьменко Н.О.</i> Проектирование структуры информационно-технологического обеспечения ситуационного центра на основе логико-вероятностного подхода.....	43
<i>Можин С.В.</i> Модель обнаружения аномального поведения субъектов информационно-вычислительной сети.....	49
<i>Константинов И.С., Стычук А.А., Мозгов С.С., Засимов А.С.</i> Разработка организационной структуры Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов.....	57
<i>Бураков Д.А., Копылов В.Н., Ромасько В.Ю., Швецова Е.В.</i> Информационная технология прогноза весеннего половодья сибирских рек на основе математического моделирования процесса формирования стока.....	64
<i>Правдин А.Л., Жуплов М.В.</i> Формулировка задач определения точности лезвийной обработки винтовых поверхностей при профилировании инструмента на основе трехмерного отображения схемы профилирования и программная реализация отдельных решений.....	70
<i>Катков К.А.</i> Определение погрешности позиционирования в одночастотной навигационной аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем при возникновении частотно-селективных замираний навигационных радиосигналов....	80
<i>Ноздрачева В.А.</i> Направления развития модулей корпоративных систем в условиях кризиса	89
<i>Гуляев П.Ю., Милюкова И.В.</i> Кластерный анализ и оптимизация параметров механоактивации в процессах СВ-синтеза	93

Журнал «Известия ОрелГТУ» входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, определенных ВАК, для публикации трудов на соискание ученых степеней.

Editorial council:

Golenkov V.A., president;
Radchenko S.Y., vice-president;
Borzenkov M.I.
Kolchunov V.I.
Konstantinov I.S.
Popova L.V.
Stepanov Y.S.

Editor-in-chief:

Konstantinov I.S.

Editorial Committee:

Averchenkov V.I.
Arhipov O.P.
Gaidrik K.G.
Eremenko V.T.
Zubarev Y.M.
Ivanov B.R.
Ivannikov A.D.
Ipatov O.S.
Kolokolov J.V.
Korndorf S.F.
Koskin A.V.
Podmasteriev K.V.
Polyakov A.A.
Raspopov V.Ya.
Sotnikov V.V.
Shkatov P.N.

Responsible for edition:

Konstantinova G.A.

The address of the founder of magazine:

302020 Orel, Highway Naugorskoye, 29
 (4862) 43-48-90, 40-96-14, www.ostu.ru,
 E-mail: nmu@ostu.ru

Journal is registered in State Committee of
 Russian Federation on printing. The
 certificate of registration ПИ № 77-15496
 from 20.05.03.

Index on the catalogue of the «Pressa
 Rossii» 86294

© ОреЛГТУ, 2009

From the second half of the year 2009
 the magazine will leave under the name
 «Information systems and technologies»
 («ISaT»)
 ISSN 2072-8964
 The certificate of registration
 ПИ № ФС77-35333 from 17.02. 2009.

CONTENT

<i>Batishhev A.V., Koskin A.V., Rozhkov G.G.</i> The block diagramme of interaction of users of the distributed automated system of remote training in OSTU.....	3
<i>Tovbis E.M.</i> Educational data multidimensional analysis n efficiency of the estimation method of image energy parts values on the basis of frequency representations	8
<i>Monovskaya A.V., Makeeva M.A.</i> Forecasting of the number of entrants in Ugra vocational education system.....	14
<i>Karminskaya T.D., Alekseev V.I.</i> The model of control of complex dynamical objects by the example of the regional system of «Education – labour-market – economics».....	19
<i>Dolgov E.P., Rakov V.I.</i> The method of automation of scientific researches is offered.....	25
<i>Shemonchuk D.S.</i> The recall and precision of multimedia content for essentially intensified multimedia systems	35
<i>Sazonov M.A., Pyzh M.N., Kuzmenko N.O.</i> Designing of information-technological structure ensuring of the situational centre on base logician-probabilistic approach.....	43
<i>Mozhin S.V.</i> Model of subjects misbehavior detection in the computer network.....	49
<i>Konstantinov I.S., Stychuk A.A., Mozgov S.S., Zasimov A.S.</i> Working out of organizational structure of the internet system of maintenance of confidentiality of documents.....	57
<i>Burakov D.A., Kopylov V.N., Romasko V.Y., Shvetsova E.V.</i> Information technology of the forecast of siberian rivers spring high water on basis of mathematical modeling of drain formation process.....	64
<i>Pravdin A.L., Chuplov M.V.</i> Formulating problems of evaluating screw surfaces mill processing accuracy using spatial representation based profiling method and program realization of several desigions.....	70
<i>Katkov K.A.</i> Definition of the error of positioning in unifrequent navigating equipment of consumers of satellite radio navigating systems at occurrence frequency-selective interruptions navigating radio signals.....	80
<i>Nozdracheva V.A.</i> Line of enterprise system modules development in crisis conditions.....	89
<i>Gulyaev P.YU., Milyukova I.V.</i> Cluster analysis and optimization of mechanical activation parameters in sh-synthesis processes	93

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ОРЕЛГТУ

В данной статье изложены вопросы создания распределенных автоматизированных систем дистанционного обучения с использованием технологии web-сервисов и мультиплатформенной конфигурации. Приведены структурные схемы автоматизированной системы и подсистем. Предложена схема взаимодействия пользователей системы дистанционного обучения через сеть Internet.

Ключевые слова: автоматизированная обучающая система; структурная схема; технология web-сервисов; мультиплатформенная конфигурация; декомпозиция; функциональная схема; модульная архитектура.

In given article questions of creation of the distributed automated systems of remote training with use of technology of web-services and a multiplatform configuration are stated. Block diagrammes of the automated system and subsystems are resulted. The scheme of interaction of users of system of remote training through network Internet is offered.

Keywords: the automated training system; the block diagramme; technology of web services; multiplatform configuration; decomposition; function chart; modular architecture.

Проблема привлечения компьютерных средств к автоматизации решения сложных задач в различных областях человеческой деятельности в течение достаточно продолжительного времени не теряет своей актуальности, и сфера образования в этом процессе не стала исключением. Тенденция интеллектуализации отраслей и технологий порождает все больший спрос на профессиональные и высококвалифицированные кадры. Поэтому работы по интеграции новых информационных и коммуникационных технологий в образовательный процесс и развитие на их основе систем непрерывного, дистанционного и открытого образования представляются весьма перспективными.

Одной из основных целей внедрения современных автоматизированных систем учебного назначения является повышение качества и доступности предоставляемых образовательных услуг посредством интеграции педагогических, информационных технологий и бизнес-процессов, протекающих при организации образовательного процесса.

Таким образом, автоматизированная обучающая система (АОС) должна обеспечивать выполнение ряда задач вне зависимости от местонахождения пользователя системы:

- 1) предоставление студентам возможности просматривать и скачивать учебные ресурсы по изучаемым дисциплинам;
- 2) прохождение промежуточного и итогового тестирования знаний по изучаемым дисциплинам;
- 3) получение актуальных новостей от преподавателей, деканатов, кафедр, администрации системы; обеспечение обратной связи студентов с преподавателями; предоставление преподавателям возможности выставления оценок по текущему и итоговому контролю знаний студентов, публиковать учебно-методические материалы, тестовые задания, новостные сообщения; обеспечение администраторам системы инструментария создания и управления базами данных

учебной нагрузки, преподавателей и студентов, учебных материалов, новостных сообщений преподавателей; предоставление администраторам системы журнала событий (статистики по всем процессам в системе) и т.д.

На этапе проектирования АОС, функциональная схема которой представлена на рисунке 1, предлагается провести декомпозицию системы путем разбиения на три взаимосвязанные подсистемы в соответствии с выдвинутыми задачами и категориями пользователей.

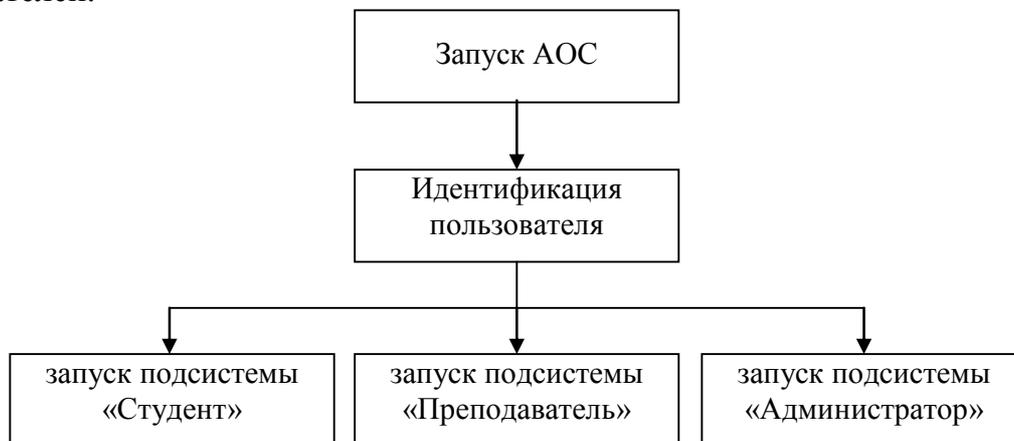


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизированной обучающей системы

1) *Подсистема «Студент»*. Имеет доступ к учебным материалам в соответствии со своей специальностью и курсом. АОС предоставляет ему необходимую информацию по изучаемым им дисциплинам, в том числе данные о преподавателях с возможностью отправить им письма с выполненной контрольной (курсовой) работой и (или) вопросом, а также возможность проходить промежуточное и итоговое тестирование по изученным дисциплинам, читать новостные сообщения, опубликованные преподавателями и администратором системы. Функциональная схема подсистемы «Студент» представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Функциональная схема подсистемы «Студент»

2) *Подсистема «Преподаватель»*. Может просматривать списки групп, в которых преподает в соответствии с учебной нагрузкой, выставлять отметки о сдаче

студентами контрольных и курсовых работ, публиковать учебно-методические материалы и новостные сообщения с прикрепленными файлами, которые будут доступны студентам, обучающимся у него. Функциональная схема подсистемы «Преподаватель» представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Функциональная схема подсистемы «Преподаватель»

3) Подсистема «Администратор». Имеет доступ ко всей системе, кроме возможностей преподавателя, он может добавлять, удалять и редактировать как профили студентов и преподавателей, так и материалы, размещенные в АОС, а также учебную нагрузку. Функциональная схема подсистемы «Администратор» представлена на рисунке 4.

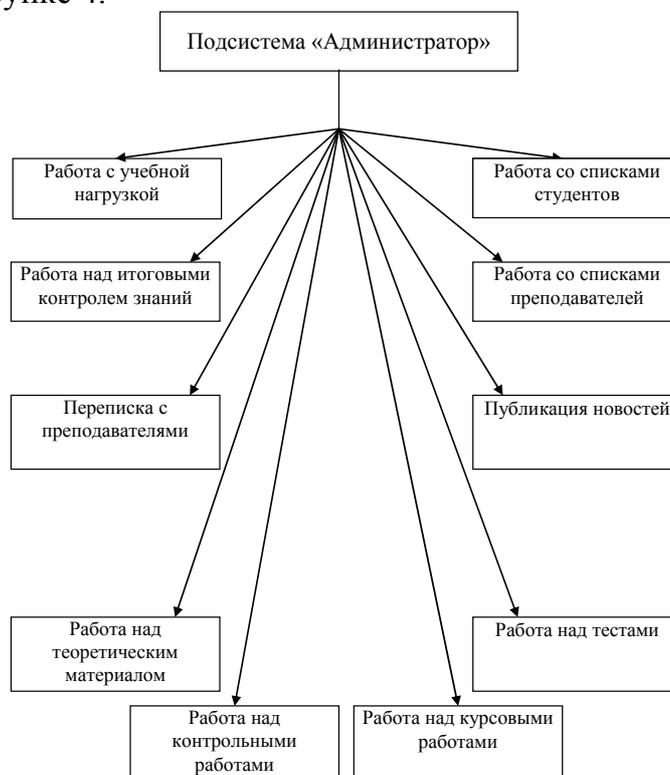


Рисунок 4 – Функциональная схема подсистемы «Администратор»

В соответствии с данным фактом важным является вопрос информационной интеграции отдельных подсистем АОС. Наиболее приемлемой была признана

приобретающая в настоящее время все большую популярность технология web-сервисов, которая без особых затрат позволяет реализовать принципы построения универсальной АОС, среди которых:

- модульная архитектура;
- открытая спецификация;
- масштабируемость;
- дружелюбный интерфейс.

Разработанная структурная схема взаимодействия пользователей распределенной АОС представлена на рисунке 5.

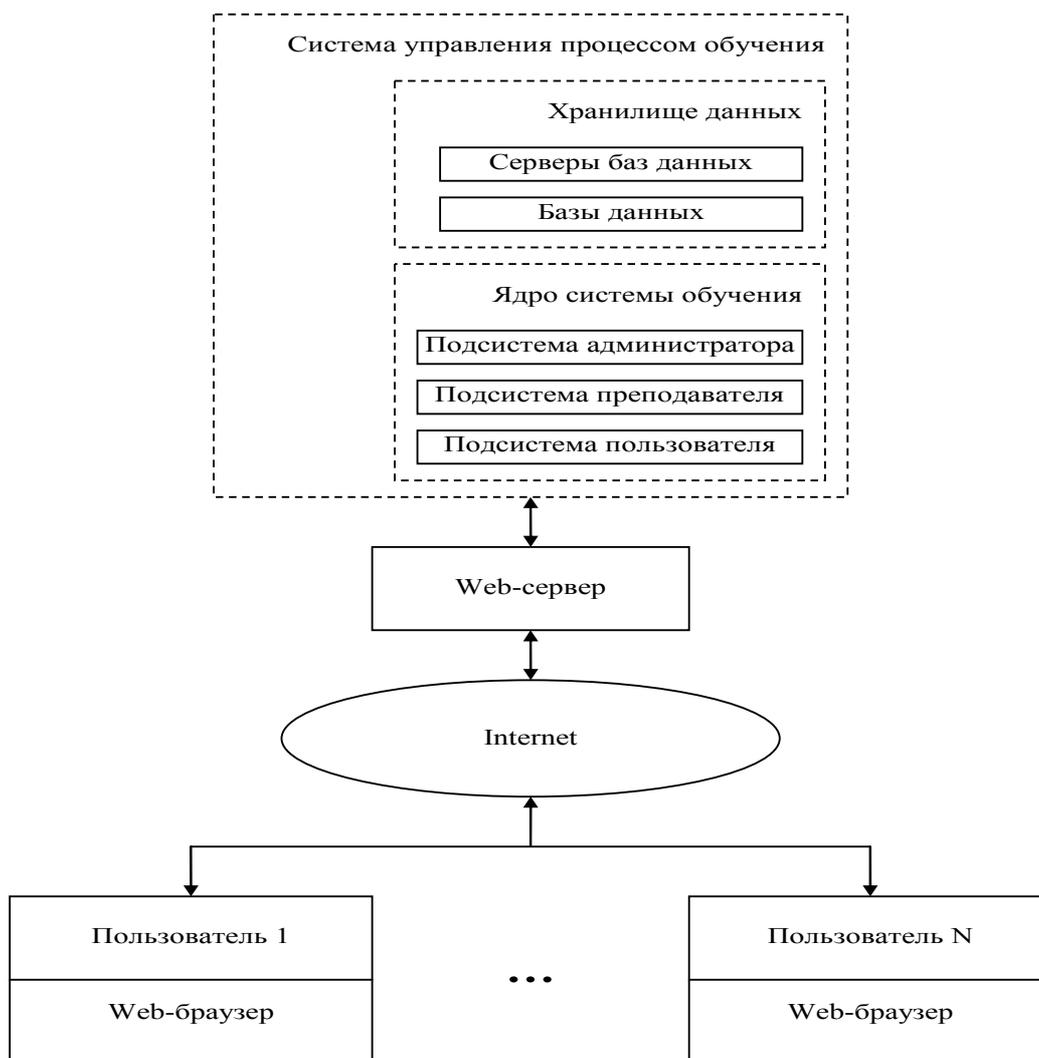


Рисунок 5 – Структурная схема взаимодействия пользователей распределенной АОС

Центральное место в этой структуре занимает Web-сервер, который управляет работой всей системы в целом. В состав сервера входит ядро системы обучения, состоящее из трех описанных выше подсистем, и хранилище данных, под которым подразумевается сервер базы данных (БД) и сами базы данных.

Стоит отметить, что предложенная конфигурация позволяет реализовать мультиплатформенный учебный сервер, не зависящий от какого-либо конкретного программного обеспечения (операционная система, сервер БД и т.п.), с возможностью удаленного распределенного доступа к АОС.

Распределенность обучающей системы заключается в размещении отдельных компонентов АОС на различных узлах сети для повышения производительности системы. В качестве этих компонентов выступают данные и программные модули.

Поддержка распределенных данных в рамках глобальной сети обеспечивается средствами Internet и протокола HTTP путем обмена между Web-браузером пользователя и Web-сервером.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при проектировании автоматизированных систем подобного класса следует обратить внимание на возможность использования технологии web-сервисов, как технологии отвечающей всем потребностям аналогичных систем, обладающих сравнительной дешевизной и простотой реализации, в том числе реализации сложных систем, при проектировании которых, необходимо проводить декомпозицию системы на ряд взаимосвязанных подсистем, а также предоставляющей возможность построения мультиплатформенной конфигурации системы без существенных дополнительных трудозатрат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В.Н. Электронные учебники и автоматизированные обучающие системы. – М.: 2001. – 79 с.
2. Джалалуддин А.К. Применение компьютеров для целей непрерывного образования // Перспективы. – 1991. – № 2. – С. 72-89.
3. Камер Дуглас Э. Компьютерные сети и Internet. Разработка приложений для Internet; пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. – 640 с.

Батищев Александр Витальевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат экономических наук, доцент, зав. отделом информационной поддержки ФДО
Тел.: + 7 (4862) 41-67-33
E-mail: batishchev@ostu.ru

Коськин Александр Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, профессор, проректор по ИиДО

Тел.: + 7 (4862) 41-98-15
E-mail: koskin@ostu.ru

Рожков Геннадий Геннадьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант
Тел.: + 7 (4862) 41-67-33
E-mail: vzido@ostu.ru

Е.М. ТОВБИС

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Без тщательного мониторинга образовательного процесса в высшем учебном заведении невозможно всесторонне оценить достижения студента. В целях мониторинга предлагается использовать технологию многомерного анализа данных – OLAP. Рассматривается пример внедрения OLAP-технологии в учебный процесс на уровне дисциплины.

Ключевые слова: мониторинг; OLAP; многомерный анализ; учебный процесс.

Educational activities monitoring in university was subject of inquiry. Using an OLAP technology of multidimensional analysis for monitoring purposes offered. An example of multidimensional analysis of «Programming» course data considered.

Keywords: monitoring; OLAP; multidimensional analysis; educational activities.

ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг является средством оценки качества образования и повышения эффективности учебного процесса. Обобщая различные определения, данные в литературе, под педагогическим мониторингом будем понимать отслеживание результатов обучения путем организации системы контроля, сбора и обработки данных об учебном процессе, необходимых для анализа и прогноза ситуации. Введение мониторинга в учебный процесс позволяет получать актуальную информацию о его протекании, своевременно принимать меры в случае отклонений от планируемой траектории, предпринимать шаги по сохранению численности студентов.

Анализ публикаций позволил выделить несколько основных способов мониторингового исследования образовательного процесса [1,2,3]:

- опросные способы – экспертное оценивание, анкетирование с помощью специально подобранных вопросов.
- анализ результатов учебной деятельности, в том числе и статистический анализ;
- способы, основанные на тестировании.

Чем качественнее проводится мониторинг, тем большее количество данных накапливается в результате, а значит, тем труднее обходиться без автоматизированной системы. Компьютерный мониторинг позволяет значительно сократить время на обработку и анализ результатов наблюдений за учебной деятельностью. При этом удастся избавиться от так называемых невыборочных ошибок, возникающих при традиционных методах получения информации вследствие неполучения ответа, получения ложного ответа или неверной регистрации ответов респондента. При условии корректного построения и интеграции в учебный процесс системы мониторинга удастся избежать и одной из основных проблем измерения – воздействия способа измерения на испытуемого.

Однако далеко не все автоматизированные решения способны полностью интегрироваться в сложившийся технологический процесс обучения. Недостатком является и то, что большинство представленных систем мониторинга и поддержки учебного процесса предлагают жестко ограниченный набор отчетов. При

необходимости получить новую аналитическую информацию приходится привлекать разработчиков.

Средством получения универсальных отчетов может стать OLAP – On-Line Analytical Processing – технология оперативной обработки данных на основе многомерной модели. На текущий момент OLAP с успехом используется для анализа данных в сфере бизнеса и финансов. В [4] проводится идея использования оперативного анализа данных в web-обучении.

Обобщая сказанное, можно отметить, что в педагогической сфере многомерный анализ применяется еще довольно редко. Однако характер педагогических данных, обладающих нетривиальными зависимостями и сравнительно большими объемами, наталкивает на мысль о возможности более широкого использования мощного аналитического инструментария OLAP на массивах педагогических данных. Целью данного исследования стала проверка гипотезы целесообразности использования OLAP в задаче мониторинга и анализа учебного процесса.

МЕТОДОЛОГИЯ OLAP

По мнению Э.Кодда [5], реляционная модель не позволяет объединять, просматривать и анализировать данные с точки зрения множественности измерений, т.е. самым понятным для анализа способом. Наиболее адекватно работа с многопараметровыми данными представляется многомерной моделью.

Данные в OLAP-системах организованы в виде «гиперкуба» с помощью агрегатных функций, за счет чего становится возможным в короткие сроки извлекать информацию из больших объемов данных.

Основное предназначение таких систем состоит в комплексном анализе динамики, установлении тенденций в данных. В отношении педагогического мониторинга гиперкуб дает возможность преподавателю делать срезы в различных измерениях для получения интересующей его информации, например, для выявления наиболее трудных для понимания тем дисциплины, критических точек учебного периода, недостатков в динамике проверки.

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ НА ПРИМЕРЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА ЯЗЫКЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ»

В Сибирском государственном технологическом университете проведен эксперимент по реализации и внедрению в учебный процесс системы мониторинга «Электронная лаборатория» [6], позволяющей проводить обучение, осуществлять контроль за деятельностью студентов, а также накапливать данные об обучении для последующего анализа.

На основе сведений, полученных системой для дисциплины «Программирование на языке высокого уровня», с помощью средства IВExpert построен гиперкуб и сгенерированы отчеты, представленные на рисунках 1-7. Каждый отчет отражает тот или иной срез гиперкуба.

а) Срез по измерениям Тема-Оценка отражает соотношение зачтенных и отправленных на доработку заданий по каждой теме в процентах от требуемого количества (рисунок 1). Темы на шкале расположены в хронологическом порядке.

Заметно, что процент выполнения падает от первой темы к последней. Причиной этого может служить внедрение в учебный процесс модульно-рейтинговой

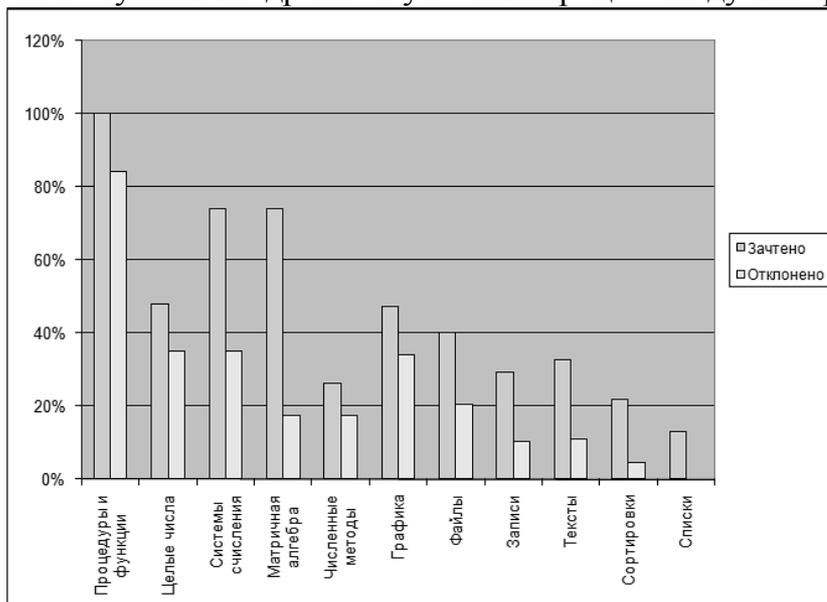


Рисунок 1 – Соотношение принятых и возвращенных с замечаниями заданий в процентах от требуемого количества, сгруппированных по темам

системы, которая допускает выставление студенту набранной им в течение семестра накопительной оценки без сдачи всех заданий. Спады по темам «Целые числа» и «Численные методы» объясняются, судя по всему, относительной сложностью задач в данных темах для понимания.



Рисунок 2 – Распределение отклоненных отчетов по темам

На рисунке 2 представлено распределение замечаний по темам. Каждая доля представляет собой отношение количества отклоненных задач к общему количеству сданных задач в данной теме. Изменение интенсивности отклонения отчетов имеет волнообразный характер с пиками в темах «процедуры и функции», «целые числа», «численные методы» и «графика». Таким образом, данный срез позволяет оценить относительную трудность для учащихся каждой из тем курса.

б) Срез по измерениям Оценка-Дата проверки дает возможность наблюдать динамику работы преподавателя. Интенсивность проверки взята из расчета количества проверенных заданий в день. Интенсивность отклонения отчетов

рассчитана как отношение количества отклоненных к количеству проверенных заданий в день.

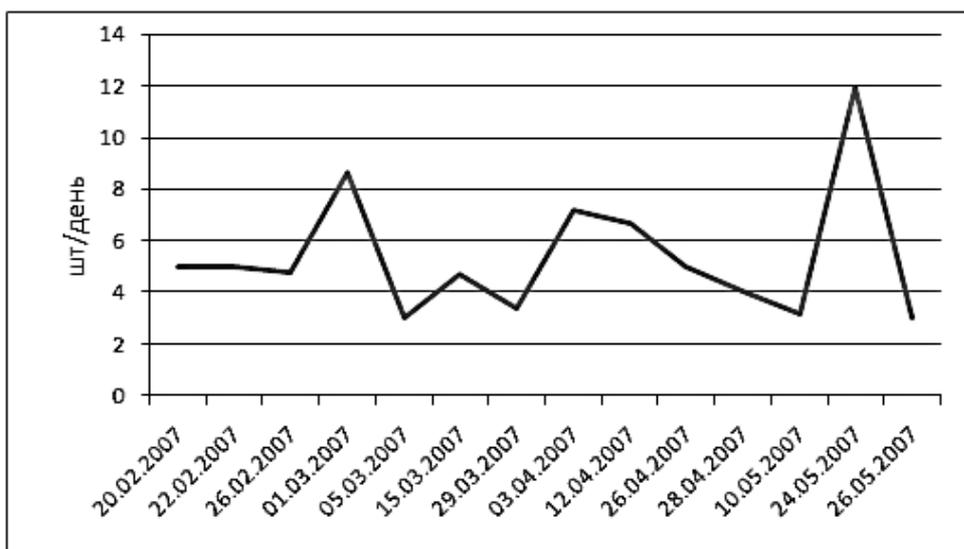


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности проверки от даты проверки

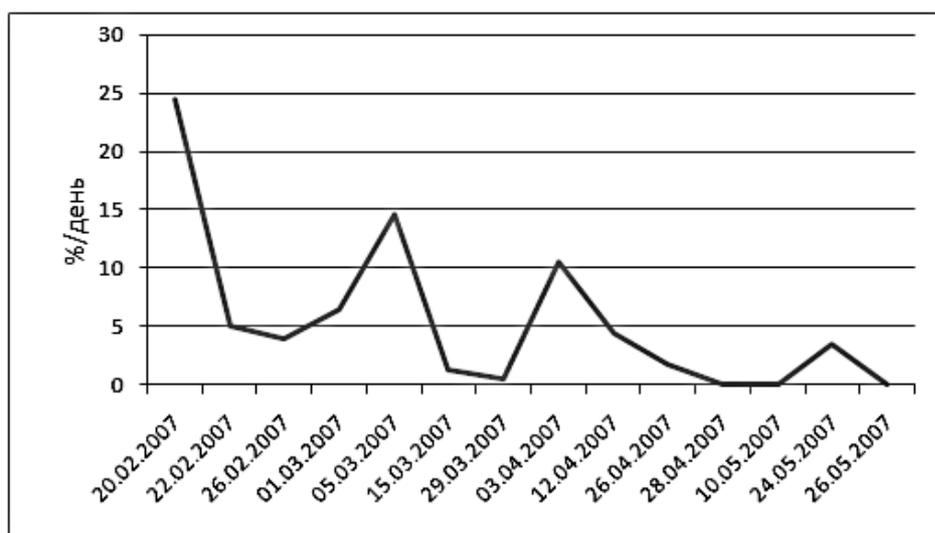


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности отклонения отчетов от даты проверки

На первой диаграмме заметны пики, соответствующие датам 1.03, 3.04 и 24.05. Указанные даты предшествуют контрольным неделям и сессии и традиционно характеризуются повышенной активностью студентов, в связи с чем, увеличиваются и трудозатраты преподавателя. В отношении интенсивности отклонения заданий можно заметить ее волнообразный характер. Заметна тенденция: к концу семестра принимается все большая доля предоставленных на проверку заданий.

в) Срез по измерениям Фамилия - Дата сдачи изображен на рисунке 5 и представляет собой набор индивидуальных траекторий студентов группы. Диаграмма дает возможность проследить динамику сдачи каждого студента. На рисунке четко видны характерные всплески активности в конце семестра.

г) Срез по измерениям Дата сдачи - Контрольный срок сдачи (рисунке 6) позволяет сделать выводы о том, какие студенты какие задачи сдают раньше или

позже срока (на рисунке под главной диагональю – сдачи ранее контрольного срока, на диагонали – в срок, над диагональю – после срока).

д) Срез по измерениям Фактическая дата сдачи - Дата проверки (рисунок 7) информирует о динамике проверки задач преподавателем. Идеальный вариант представляет собой прямую, расположенную на главной диагонали. На диаграмме заметны два существенных отклонения от этой линии вниз, что говорит о некотором запаздывании в проверке отчетов преподавателем.

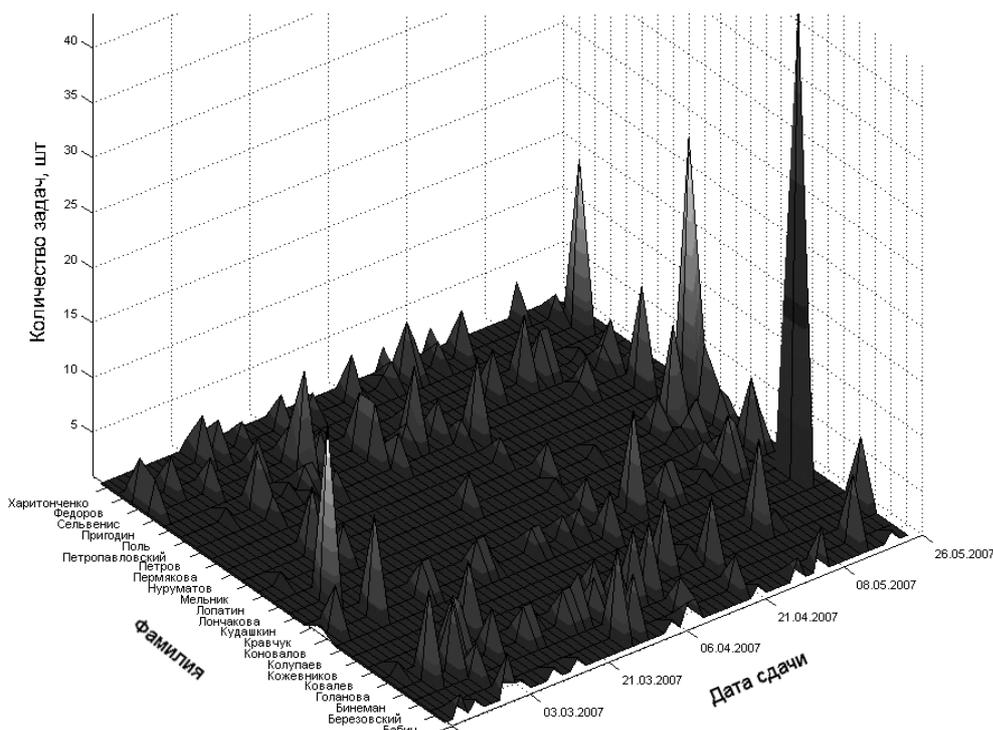


Рисунок 5 – Динамика сдачи по студентам

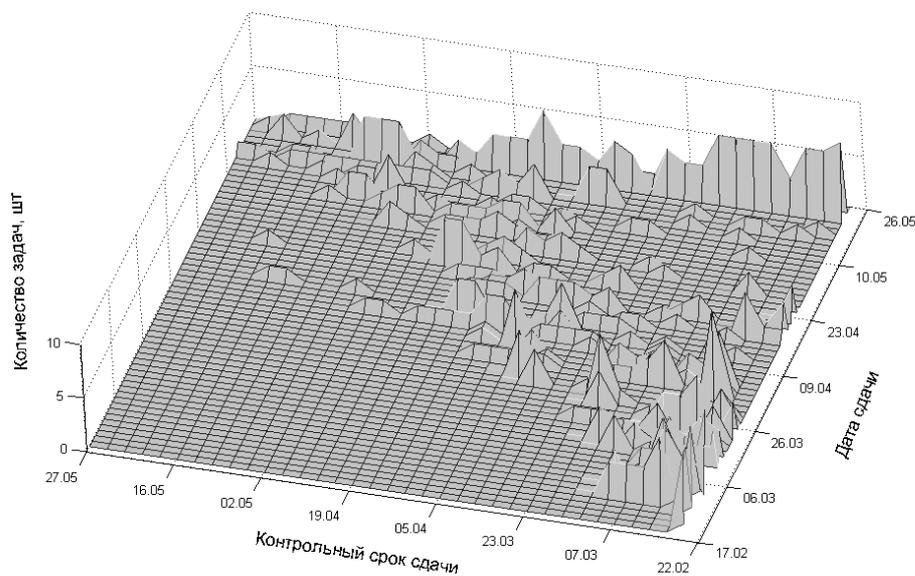


Рисунок 6 – Динамика сдачи по контрольным срокам

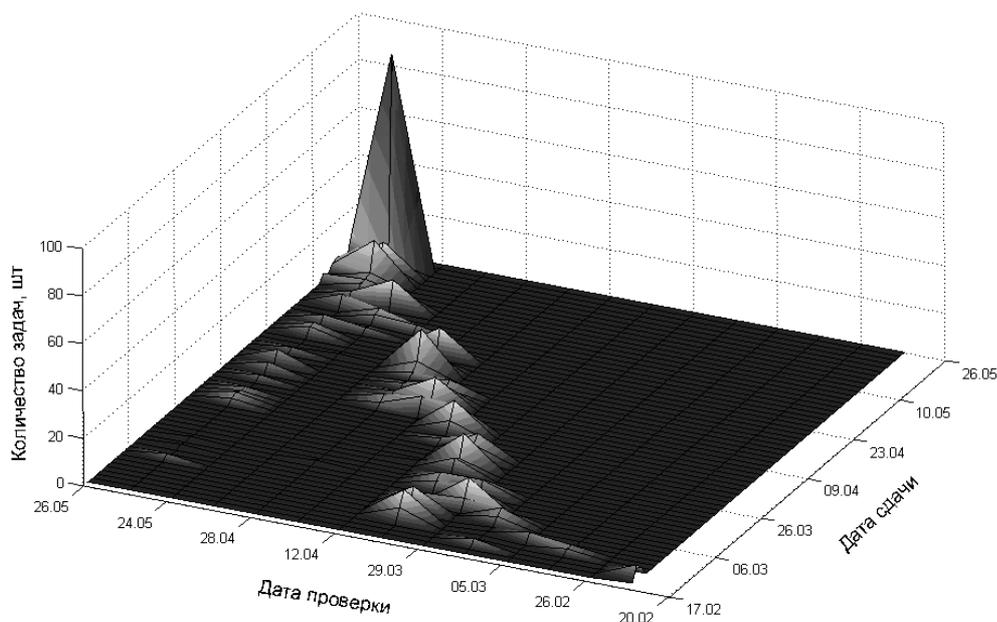


Рисунок 7 – Динамика проверки задач

ВЫВОДЫ

Одним из существенных недостатков традиционного способа педагогического мониторинга в ВУЗах – контрольных недель – является вносимое ими возмущающее воздействие на измеряемый результат. Избежать такого воздействия позволяет автоматизированная система мониторинга. На массиве данных, накапливаемых системой, становится целесообразным проведение OLAP-анализа, позволяющего получать наглядную оперативную информацию в рамках педагогического мониторинга как в процессе очного обучения, так и при обучении дистанционными методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поташник М.М. Управление качеством образования. – М.: Педагогическое общество России, 2006. – 448 с.
2. Бондарева О.В. Мониторинг качества обучения студентов как средство управления образованием [Электронный ресурс] // Вопросы интернет-образования, 2008. – Вып.56. – Режим доступа: http://vio.fio.ru/vio_56/cd_site/Articles/art_1_6.htm
3. Матрос Д.Ш., Полев Д.М., Мельникова Н.Н. Управление качеством образования на основе новых информационных технологий и образовательного мониторинга. – Педагогическое общество России, 2001. – 128 с.
4. Пантелеев Е.Р., Суворов В.А. Оперативный анализ действий студента в среде web-обучения // Информационные технологии. – 2008. - №4. – С.67-72.
5. Федоров А., Елманова Н. Введение в OLAP-технологии Microsoft. – М.: Диалог-МИФИ, 2002. – 272 с.
6. Товбис Е.М., Дорошенко И.Я. «Электронная лаборатория» – система поддержки учебного процесса // Материалы десятой Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы информатизации региона». – СФУ. – Красноярск, 2007. – Т.2. – С.157-163.

Товбис Елена Михайловна

Сибирский государственный технологический университет, г. Красноярск

Старший преподаватель кафедры информационных технологий

Тел. (391) 242-15-97

E-mail: sibstu2006@rambler.ru

А.В. МОНОВСКАЯ, М.А. МАКЕЕВА

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАБОРА АБИТУРИЕНТОВ В СЕТЬ УЧРЕЖДЕНИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ХМАО-ЮГРЫ

В статье предлагается рассматривать прогнозирование набора абитуриентов в сеть учреждений профессионального образования как решение обратной задачи анализа объема выпускников указанной сети. Особенность прогнозирования заключается в использовании структурной схемы функционирования сети учреждений профессионального образования с учетом региональных особенностей Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО-Югра).

Ключевые слова: модель; прогнозирование; управление; профессиональное образование.

In the paper forecasting of the number of entrants in a vocational education system (VES) is offered to consider from the viewpoint of the inverse problem of analysis of the number of this system graduates. At that, the difference of such forecasting consists in use of the structural scheme of VES operating, taking into account the regional peculiarities of Khanty-Mansiysk Region (UGRA).

Key words: model; forecasting; control; vocational education.

ВВЕДЕНИЕ

Как показывает опыт [1], проблема обеспечения оптимального соответствия между предложением на выпускников учреждений профессионального образования (УПО) и спросом на рынке труда в первую очередь определяется особенностью региона, в котором расположена сеть УПО.

В частности, для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры можно сформулировать три основных причины, которые обуславливают региональные особенности функционирования сети УПО.

1. Формирующийся рынок образовательных услуг УПО, когда состояние каждого УПО соответствует этапу становления. В результате наиболее ощутимыми становятся проблемы нехватки фондов, в первую очередь, кадровых, аудиторных и жилищных [2].

2. Формирующийся рынок труда, стабилизация которого, по расчетам экспертов, ожидается, начиная с 2015 года [2]. В результате в течение ближайших лет будет существовать потребность в притоке специалистов на рынок труда, и будет сохраняться требование к УПО в плане динамичного реагирования на непрерывно изменяющиеся потребности рынка труда.

3. Большая территориальная удаленность между населенными пунктами, а также между объектами рынка труда. В результате существенными становятся проблемы жилищного обеспечения больших миграционных потоков населения, слабой подготовленности абитуриентов, а также недостаточной грамотности населения в вопросах приоритетных направлений образования и потребностей рынка труда.

Учитывая эти особенности, оптимальный набор абитуриентов означает не только процентное соответствие между выпускниками по укрупненным группам специальностей (УГС) и между уровнями профессионального образования, но и насыщение рынка труда.

При этом задачи анализа и прогнозирования часто приходится выполнять в условиях либо существенного недостатка статистических данных, либо малых временных горизонтов для этих данных. В этой связи возникает задача формирования достаточно специализированного «инструмента», который позволил бы моделировать потоки выпускников учреждений начального, среднего и высшего образования для анализа сценариев принятия управленческих решений по стимуляции образования в рамках экономической политики округа.

ПРЯМАЯ ЗАДАЧА: АНАЛИЗ ОБЪЕМА ВЫПУСКНИКОВ

В данной работе «прямая задача» формулируется следующим образом: каким будет объем выпусков на каждом уровне сети УПО при заданных объемах абитуриентов (выпускники школ, население и т.д.) и заданных пропорциях объемов потоков между уровнями сети УПО – начальным (НПО), средним (СПО), высшим (ВПО). Для ее решения предлагается сформировать структурную схему функционирования сети УПО. Логическое взаимодействие возможных потоков абитуриентов и выпускников представим графически в форме структурной схемы (рисунок 1). Элементы «население» и «9 (11) класс» – означают источники потоков абитуриентов.

В модели, которая описывает функционирование данной схемы, приняты следующие допущения, соответствующие региональным особенностям ХМАО:

1. В модели предполагается, что изменения численности обучающихся, связанные с отчислениями и восстановлением слушателей, взаимно компенсируются. Таким образом, число абитуриентов, принятых в учебное заведение, принимается равным числу выпускников после завершения «жизненного цикла» их обучения в данном УПО.

2. Поскольку с 2010 года в России вводится единый государственный экзамен, а анализ имеющихся статистических данных показывает, что около 5% выпускников являются медалистами (или выпускниками с красным дипломом), то предполагается использование коэффициента «безусловного зачисления» (k , для школьников, НПО и СПО в отдельности). Кроме того, предполагается введение механизмов регионального стимулирования успешно обучающихся выпускников одного профессионального уровня образования для перехода на следующий уровень, что отображается соответствующим коэффициентом (m , для школьников, НПО и СПО в отдельности).

3. Предполагается формальное использование правил преобразования структурных схем [4].

Структурная схема отображает, что существует три источника поступления абитуриентов в систему профессионального образования: выпускники девятых и одиннадцатых классов, а также «население». Источник «население» включает в себя все категории граждан, желающих поступить в образовательное учреждение.

В результате пропускную способность сети УПО в год в соответствии с рисунком 1 можно описать системой уравнений:

$$\begin{cases} N_t^{НПОнорма} = N_{t-p}^{НПОпрогноз} + x \\ N_t^{СПОнорма} = (k + m)(N_{t-n}^9 + N_{t-n}^{НПО}) + N_{t-n}^{СПОпрогноз} + y \\ N_t^{ВПОнорма} = (k + m)(N_{t-l}^{11} + N_{t-l}^{СПО}) + N_{t-l}^{ВПОпрогноз} + z \end{cases},$$

где t - год выпуска обучающихся;

p – длительность обучения в НПО;

n – длительность обучения в СПО;

l – длительность обучения в ВПО;

$N_t^{НПОнорма}$ – выпуск НПО в году t в объеме, необходимом экономике ХМАО;

$N_t^{СПОнорма}$ – выпуск СПО в году t в объеме, необходимом экономике ХМАО;

$N_t^{ВПОнорма}$ – выпуск ВПО в году t в объеме, необходимом экономике ХМАО;

N_{t-n}^9 – выпуск девятиклассников в ХМАО в $t-l$ году;

N_{t-l}^{11} – выпуск одиннадцатиклассников в ХМАО в $t-n$ году;

$N_{t-n}^{НПО}$ – реальный выпуск НПО в $t-n$ году;

$N_{t-l}^{СПО}$ – реальный выпуск СПО в $t-l$ году;

$N_{t-p}^{НПОпрогноз}$ – прогнозируемый набор в НПО в $t-k$ году;

$N_{t-n}^{СПОпрогноз}$ – прогнозируемый набор в СПО в $t-n$ году;

$N_{t-l}^{ВПОпрогноз}$ – прогнозируемый набор в ВПО в $t-l$ году;

x – недобор в НПО в $t-k$ году;

y – недобор в СПО в $t-n$ году;

z – недобор в ВПО в $t-l$ году.

Сценарий со связью между уровнями профессионального образования может рассматриваться аналогично в разрезе потока обучающихся. Полный цикл, который может пройти студент, начиная с НПО и заканчивая ВПО, составляет t лет:

$$t = (t_1 - t_0) + (t_2 - t_1) + (t_3 - t_2),$$

где t_0 – год набора абитуриентов в НПО;

t_1 – год выпуска абитуриентов t_0 НПО и приема абитуриентов в СПО;

t_2 – год выпуска абитуриентов t_1 СПО и приема абитуриентов в ВПО;

t_3 – год выпуска абитуриентов t_2 ВПО.

В этом случае на каждом этапе:

$$x = N_{t_1}^{НПО} - N_{t_0}^{НПО},$$

$$y = N_{t_2}^{СПО} - (k + m)(N_{t_1}^9 + N_{t_0}^{НПО} + x) - N_{t_1}^{СПО},$$

$$z = N_{t_3}^{ВПО} - (k + m)(N_{t_2}^{11} + (k + m)(N_{t_1}^9 + N_{t_0}^{НПО} + x) + N_{t_1}^{СПО} + y) - N_{t_2}^{ВПО},$$

где $N_{t_0}^{НПО}$ – реальный набор в НПО в t_0 году;

$N_{t_1}^{НПО}$ – требуемый выпуск НПО в t_1 году;

$N_{t_1}^9$ – выпуск 9-х классов в t_1 году;

$N_{t_1}^{СПО}$ – реальный набор в СПО в t_1 году;

$N_{t_2}^{СПО}$ – требуемый выпуск СПО в t_2 году;

$N_{t_2}^{11}$ – выпуск 11-х классов в t_2 году;

$N_{t_2}^{ВПО}$ – реальный набор в ВПО в t_2 году;

$N_{t_3}^{ВПО}$ – требуемый выпуск ВПО в t_3 году.

Таким образом, структурная схема функционирования сети УПО формируется исходя из логики решения прямой задачи анализа объема выпускников УПО. В соответствии с этой схемой модель функционирования сети УПО представляет собой систему алгебраических уравнений.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА:

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАБОРА АБИТУРИЕНТОВ

Обратная задача прогнозирования для оптимизации набора абитуриентов формулируется следующим образом: исходя из заданных объемов выпуска каждого уровня УПО и пропорций объемов между УПО разного уровня, определяется

оптимальный объем набора для заданного сценария социально-экономического развития региона. В статье предлагается вариант решения этой задачи в общем виде, исходя из преобразования системы (1). При этом вводятся следующие понятия. «Недобор НПО» (x) означает необходимое количество абитуриентов для обеспечения требуемого объема выпуска по НПО. «Недобор СПО» (y) означает необходимое количество абитуриентов для обеспечения требуемого объема выпуска по СПО.

Тогда общая форма решения для x и y имеет следующий вид:

$$x = \frac{-y + N_{t2}^{СПО} - (k+m)(N_{t1}^9 + N_{t0}^{НПО}) - N_{t1}^{СПО}}{k+m},$$

$$y = \frac{-z + N_{t3}^{ВПО} - (k+m)N_{t2}^{11} - (k+m)^2(N_{t1}^9 + N_{t0}^{НПО} + x) - (k+m)N_{t1}^{СПО} - N_{t2}^{ВПО}}{k+m}.$$

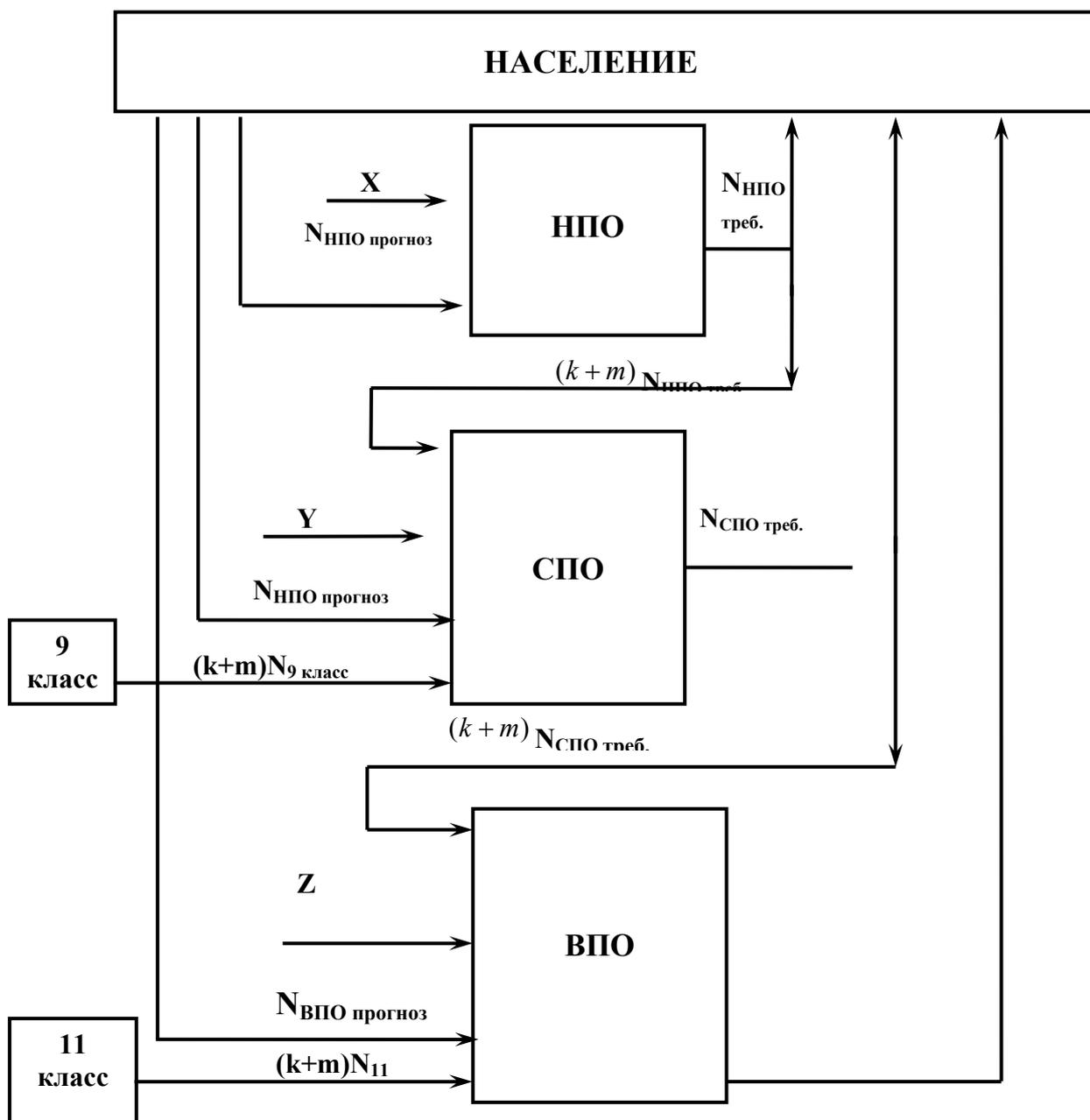


Рисунок 1 – Схема модели функционирования сети УПО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлена модель функционирования сети УПО для решения прямой и обратной задач исследования взаимосвязанных потоков абитуриентов и выпускников УПО различных уровней. Решения модели получены на основе преобразования структурной схемы сети УПО. Модель может быть использована при проведении научно-обоснованного анализа, планирования и бюджетирования деятельности региональных учреждений начального и среднего профессионального образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков Д.А. Модели и механизмы управления развитием региональных образовательных систем (концептуальные положения). – Москва. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 2001.
2. Оценка состояния планирования и выполнения государственного задания учреждениями профессионального образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: аналитическая записка, Ханты-Мансийск. – Центр изучения рынка труда, 2008.
3. Оценка состояния планирования и выполнения государственного задания учреждениями профессионального образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: материалы комплексного социологического исследования, Ханты-Мансийск. – Информационно издательский центр, 2008.
4. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – М.: Альянс Медиа, 2003.

Моновская Анна Владимировна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Кандидат технических наук, зав. кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления»,

Тел. 8 (3467)35-75-81

E-mail: anna.monovskaya@mail.ru

Макеева Марина Алексеевна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Старший преподаватель кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления»

Тел. 8 (3467)35-77-34

E-mail: sma@uriit.ru

Т.Д. КАРМИНСКАЯ, В.И.АЛЕКСЕЕВ

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА ПРИМЕРЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «ОБРАЗОВАНИЕ-РЫНОК ТРУДА-ЭКОНОМИКА»

На основе балансовых моделей спроса и предложения на рынке труда и рынке образовательных услуг, алгоритма многопараметрической глобальной оптимизации, моделей нейронных сетей и нечетких множеств разработана динамическая математическая модель управления системой образования с обратной связью. В представленной модели планирование выпуска числа специалистов разного уровня образования по укрупненным группам специальностей определяется заданными объемами валового регионального продукта.

Ключевые слова: нейронные сети; нечеткие множества; многомерная адаптивная оптимизация; прогнозирование; уровни профессионального образования.

Dynamical mathematical model of control of educational system with feedback is designed on the basis of the following constituents: balance models of demand and supply in a labour-market and market of educational services; algorithm of multiparametric global optimization; neural network models; fuzzy models. In this model the planning of the graduate amount of different educational levels in relation to preassembled groups of specialties is determined by the given volumes of gross regional product.

Keywords: neural networks; fuzzy sets; multidimensional global optimization; forecasting; professional education.

ВВЕДЕНИЕ

Современный подход к формированию кадрового ресурса, способного обеспечить развитие экономических и социальных систем в условиях глобализации и неустойчивых финансово-экономических институтов, предполагает качественно новый уровень управления системой профессионального образования.

Одним из важных элементов государственной и региональной политики становится фактор оптимального управления расходами на образование. Управленческий ресурс связан с формированием и размещением заказа на подготовку специалистов с высшим, средним и начальным профессиональным образованием, исходя из реально запланированных значений развития региона на три и более лет. Показателем развития региона можно считать величину, динамику выпуска валового регионального продукта по условно принятым 13 отраслям экономики региона, отнесенным к 7 уровням образования.

Решение этой задачи может быть реализовано созданием адекватной и эффективно управляющей и прогнозирующей математической модели, количественно описывающей связи между участниками системы «образование-рынок труда - экономика». Разработке такой прогнозирующей и управляющей динамической математической модели и посвящена данная работа. Она основана на развитии ранее представленной авторами гибридной системы [3].

Гибридная система включает: математические балансовые модели спроса и предложения на рынке труда и рынке образовательных услуг [1-3], эффективный алгоритм многопараметрической глобальной оптимизации [4,5] и модели прогнозирования на нейронных сетях и нечетких множествах [6,7]. Преимуществом

использования гибридных систем является то, что погрешности в статистических исходных данных, используемых в работе, компенсируются возможностями обобщения исходных данных нечеткими нейросетевыми моделями и оптимизационными алгоритмами.

В продолжение работ, касающихся планирования подготовки профессиональных специалистов разного уровня для потребностей экономики региона, государства [1-3], в данной работе рассматривается динамическая математическая модель управления системой с обратной связью, в которой выпуск числа специалистов разного уровня образования по укрупненным группам специальностей определяется заданными объемами валового выпуска регионального продукта на ряд лет.

В качестве исходных данных при разработке и отладке прогнозирующих алгоритмов были использованы статистические данные по Ханты-Мансийскому автономному округу (ХМАО) [8], т.е. ряды распределений:

- распределение среднегодовой численности занятых в экономике по 13 видам экономической деятельности;
- распределение численности занятого населения по шести возрастным группам (оба пола, мужчины и женщины);
- распределение численности выпуска квалифицированных рабочих, среднего и высшего профессионального образования;
- распределение численности занятого населения в 14 отраслях промышленности округа.

В работе использовались распределения среднегодовой численности работников в 13 отраслях экономики и промышленности региона по 7 уровням профессионального образования ХМАО (оптимизационная задача); уточненные значения базовых переходных среднестатистических матриц профессионально-квалификационного соответствия между 28 укрупненными группами специальностей и 13 отраслями экономики, характеризующих особенности промышленной структуры округа [3].

Определение потребности экономики региона по 28 укрупненным группам специальностей с разными уровнями профессионального образования (высшим, средним и начальным) с использованием модели валового регионального продукта

Для определения потребности региона в профессиональных специалистах разного образовательного уровня вводим запланированные по годам, отраслям экономики и уровням образования валовые региональные продукты (ВРП) $X_{o,j}(l)$, $j = 1, \dots, 13; l = 1, \dots, k$. Здесь k – задает горизонт прогноза, j – номер отрасли, O – обозначает уровни образования: B - высшее, $НВ$ - неполное высшее, C – среднее профессиональное, H – начальное профессиональное, $СП$ – среднее полное, $ОО$ – основное общее и $НО$ – начальное общее. Планируемые значения ВРП различаются по годам, отраслям и показателям образовательного уровня занятого в экономике населения.

Предполагается, что в интервале прогнозирования 3-4 года вклады специалистов в формировании валового регионального продукта не изменяются. Обозначим эти неизвестные матрицей $\beta = \{\beta_{i,j}, i = 1, \dots, 7; j = 1, \dots, 13\}$.

Модели выпускаемого валового регионального продукта с участием специалистов трех уровней образования (высшего, среднего и начального профессионального) и четырех других образовательных уровней представим в виде:

$$\begin{aligned}
 X^*_{B.j}(\beta, l) &= \gamma_{1,j} \cdot \sum_{v=1}^{28} a_{B_v}(l) \cdot w_j(l) \cdot \beta_{1,j} / (\beta_{1,j} \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \\
 X^*_{C.j}(\beta, l) &= \gamma_{3,j} \cdot \sum_{v=1}^{28} a_{C_v}(l) \cdot w_j(l) \cdot \beta_{3,j} / (\beta_{3,j} \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \\
 X^*_{H.j}(\beta, l) &= \gamma_{4,j} \cdot \sum_{v=1}^{28} a_{H_v}(l) \cdot w_j(l) \cdot \beta_{4,j} / (\beta_{4,j} \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \\
 X^*_{HB.j}(\beta, l) &= \gamma_{2,j} \cdot w_j(l) \cdot \beta_{2,j} / (\beta_{2,j} \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \\
 X^*_{СП.j}(\beta, l) &= \gamma_{5,j} \cdot w_j(l) \cdot \beta_{5,j} / (\beta_{5,j} \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \\
 X^*_{ОО.j}(\beta, l) &= \gamma_{6,j} \cdot w_j(l) \cdot \beta_{6,j} / (\beta_{6,j} \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \\
 X^*_{НО.j}(\beta, l) &= \gamma_{7,j} \cdot w_j(l) \cdot \beta_{7,j} / (\beta_{7,j} \cdot k_{R,j}(l) - 0,04).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Здесь $j = 1, \dots, 13$ – число отраслей экономики округа;

l – параметр, задающий горизонт прогноза;

$\gamma_{i,j}, i = 1, \dots, 7$ – величины, характеризующие производительности труда занятых в экономике отраслей людей с разными уровнями образования.

Они вычисляются по формулам:

$$\gamma_{i,j}(l) = \frac{X_{i,j}(l)}{w_j(l) \cdot a_{i,j}(l)},$$

где $w_j(l)$ – число занятого населения в отраслях экономики региона по годам; $a_{i,j}(l)$ – элементы матрицы распределения занятого населения в 13 отраслях экономики округа по 7 уровням образования и по годам (решение задачи 2).

В выражениях (1) неизвестные параметры $\beta = [\beta_{i,j}]$ размерности 7×13 оцениваются минимизацией многомерной целевой функции

$$I(\beta) = \sum_{l=1}^k \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{13} (X_{i,j}(l) - \lambda_i \cdot X^*_{i,j}(\beta, l))^2. \tag{2}$$

Здесь весовые параметры $\lambda_i, i = 1, \dots, 7$ введены для учета того, что специалисты разного уровня профессионального образования вносят в формирование ВРП разные вклады.

Особенностью целевой функции (1) является то, что она содержит много неизвестных с разными чувствительностями к изменениям элементов матрицы β , т.е. является «враждебной». Нахождение главного экстремума такой целевой функции по параметрам β всегда является проблематичной.

Найденная оценка $\hat{\beta}$ матрицы β позволяет оценить и управлять подготовкой профессиональных специалистов по уровням образования и укрупненным группам специальностей.

Адаптивный алгоритм глобальной оптимизации. В работах [3,4] автора изложен алгоритм, позволяющий надежно оценивать координаты главного экстремума подобных целевых функций. Алгоритм относится к классу случайных и

является адаптивным. Алгоритм приспособливается к особенностям целевой функции, в том числе и к овражности, сглаживает локальные экстремумы и не требует вычисления производных целевой функции по оцениваемым параметрам, обладает свойствами генетических алгоритмов оптимизации и поиска.

Поиск экстремума целевой функции производится по итерационным формулам:

$$\beta_{i,j}(k+1) = \beta_{i,j}(k) + d\beta(i,j), \quad (3)$$

$$d\beta(i,j) = \frac{\sum_{l=1}^M \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{13} de_{i,j}(k)(1-2 \cdot c) \cdot B(I(\beta_{i,j}(k) + de_{i,j}(k) \cdot (1-2 \cdot c)))}{\sum_{l=1}^M B(I(\beta_{i,j}(k) + de_{i,j}(k) \cdot (1-2 \cdot c)))}, \quad (4)$$

$$de_{i,j}(k+1) = \sqrt{\frac{3 \sum_{l=1}^M \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{13} (de_{i,j}(k)(1-2 \cdot c))^2 B(I(\beta_{i,j}(k) + de_{i,j}(k) \cdot (1-2 \cdot c)))}{\sum_{l=1}^M B(I(\beta_{i,j}(k) + de_{i,j}(k) \cdot (1-2 \cdot c)))}}, \quad (5)$$

где c – случайное число, равномерно распределенное в интервале $(0, 1)$, генерируемое датчиком случайных чисел; M – число вычислений целевой функции в заданной области $\{de_{i,j}\}$, задается исследователем или «подстраивается» таким образом, чтобы «покрыть» область поиска, k – номер итерации. Весовая функция $B(I(\beta))$ – выбирается «колоколообразной», например в виде $B(I(\beta)) = \exp(-I(\beta)^s)$ или $B(I(\beta)) = 1/I(\beta)^s$, такой, что минимальным значениям целевой функции $I(\beta)$ соответствуют максимальные значения $B(I(\beta))$. Здесь $s(k)$ – параметр поиска, подстраивается к области усреднения $\{de_{i,j}\}$; с ростом этой области растет и $s(k)$. Весовая функция $B(I(\beta))$ является аналогом функции плотности распределения вероятностей.

В алгоритме (3)-(5) область поиска экстремума $\{de_{i,j}\}$ автоматически подстраивается под структуру целевой функции, при которой точка экстремума всегда остается внутри области усреднения (поиска). Это свойство алгоритма и является ее отличительной, положительной особенностью по сравнению с другими многими известными.

В алгоритме (3) - (5) при оптимизации целевой функции (2) в качестве начальной матрицы $\beta(0)$ поиска выбрана матрица A распределения среднегодовой численности занятых в 13 отраслях экономики и промышленности по 7 уровням профессионального образования ХМАО (решение задачи 2). Матрица A оценивается также решением оптимизационной задачи, входами которой являются статистические данные занятости населения в экономике округа по 7 уровням образования и 13 отраслям экономики [3].

Поиск минимума целевой функции (2) осуществляется в заданной ограниченной области $\{\beta_{i,j}^{low} \leq a_{i,j} \leq \beta_{i,j}^{up}\}$. Здесь $\beta_{i,j}^{low}$ и $\beta_{i,j}^{up}$ – матрицы нижних и верхних ограничений искомой матрицы. Необходимость введения этих матриц обусловлена неоднозначностью решаемой задачи, недостаточностью исходных данных для однозначного решения задачи.

Полученные оценки векторов $\hat{\beta}_{1,j}, \hat{\beta}_{2,j}, \hat{\beta}_{3,j}, j=1, \dots, 13$ позволяют получить более точные спрогнозированные значения выпуска профессиональных специалистов по 28 укрупненным группам специальностей трех уровней:

$$\begin{aligned} Pt_B(l)_{j,v} &= a_{j,v}(l) \cdot w_j(l) \cdot \hat{\beta}_{1,j}(l) / (\hat{\beta}_{1,j}(l) \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \\ Pt_B(l)_{j,v} &= a_{j,v}(l) \cdot w_j(l) \cdot \hat{\beta}_{3,j}(l) / (\hat{\beta}_{3,j}(l) \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \\ Pt_B(l)_{j,v} &= a_{j,v}(l) \cdot w_j(l) \cdot \hat{\beta}_{4,j}(l) / (\hat{\beta}_{4,j}(l) \cdot k_{R,j}(l) - 0,04), \end{aligned} \quad (6)$$

$j=1, \dots, 13; v=1, \dots, 28, l=1, \dots, k$, соответствующие потребностям запланированных значений валового выпуска регионального продукта по годам, отраслям и уровням образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе на основе моделей нейронных сетей, нечетких нейросетевых моделей, адаптивного самонастраивающегося алгоритма многомерной глобальной оптимизации целевой функции, модели выпускаемого валового регионального продукта, зависящей от времени, производящих отраслей и образовательного ценза, работающих в отраслях, разработана гибридная модель, позволяющая оценить и прогнозировать потребности региональной экономики в специалистах трех уровней профессиональной подготовки (высшей, средней и начальной) по 28 укрупненным группам специальностей в динамике развития региона. Система позволяет управлять динамикой подготовки квалифицированных специалистов необходимой профессиональной структуры, исходя из запланированных количественных показателей выпуска валового регионального продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Питухин Е.А., Гуртов В.А. Математическое моделирование динамических процессов в системе «экономика - рынок труда - профессиональное образование». – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. – 350 с.
2. Васильев В.А., Гуртов В.А., Питухин Е.А. и др. Рынок труда и рынок образовательных услуг в субъектах российской федерации. – М.: Техносфера, 2007. – 680 с.
3. Карминская Т.Д., Алексеев В.И. Прогнозирование потребностей в квалифицированных кадрах для социально-экономических систем регионального уровня // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 12(54). – С. 26-33.
4. Алексеев В.И., Субоптимальные рекуррентные алгоритмы оценивания в системах навигации // Изв. Вузов СССР. Радиоэлектроника. – 1987. – Т. 30. – № 3. – С. 34-39.
5. Алексеев В.И., Корилов А.М., Полонников Р.И., Тарасенко В.П. Экстремальная радионавигация. – М.: Наука, 1978. – 280 с.

6. Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
8. Статистический ежегодник: Стат. сб. в 4-х частях. – Ч.2. – Ханты-Мансийский автономный округ – Югра. – Тюмень, 2006. – 476 с.

Карминская Татьяна Дмитриевна

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Кандидат технических наук, зав. кафедрой «Компьютерное моделирование и информационные технологии», доцент

Тел. (3467) 357-507

E-mail ktd@mail.ru

Алексеев Валерий Иванович

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Доктор технических наук, профессор кафедры «Экология»

Тел. (3467) 357-507

E-mail via@mail.ru

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ФРИКЦИОННОГО СЦЕПЛЕНИЯ ТЯГОВЫХ МАШИН

В работе сделана попытка построения методики автоматизации процессов исследования фрикционных сцеплений.

Ключевые слова: автоматизация; научные исследования; фрикционное сцепление; трансмиссия.

The method of automation of scientific researches is offered.

Keywords: automation; scientific researches; frictional coupling; transmission.

Современная тенденция усложнения функций тяговых машин приводит к усложнению испытательного оборудования и, как следствие, к значительному увеличению затрат на проведение испытаний новых образцов техники на этапе научно-исследовательских работ (НИР) в сравнении с подобными затратами как при опытно-конструкторских работах (ОКР), так и на производстве при осуществлении промышленного выпуска [1].

В частности, испытаниям образцов фрикционного сцепления тяговых машин на этапе НИР не совсем характерна проверка параметров на их соответствие предполагаемым Техническим Условиям (ТУ) как конечного события испытаний. На этом этапе в большей степени разрешаются вопросы поиска подходящих структурных (топология) и функциональных (динамика) решений, установления возможных границ воздействий среды для оценки эксплуатационных характеристик, формулирования рекомендаций по выбору материалов и комплектующих изделий, а также по технологическим аспектам изготовления.

Однако не все отмеченные вопросы могут быть непосредственно разрешены на стендовых и полевых испытаниях по разным причинам [2] (например, отсутствие реального объекта-носителя, не заводское изготовление, отсутствие требуемого количества испытываемых образцов, значительные временные и материальные затраты на проведение стендовых и полевых испытаний).

Учитывая, что моделирование – это наиболее действенный механизм оценки эффективности [3], вопросы автоматизации исследования фрикционного сцепления тяговых машин и проведения соответствующих вычислительных экспериментов (осуществление предметно-математического моделирования [4]) для поиска адекватных структурных и функциональных схем, определения оптимальных эксплуатационных характеристик, исследования свойств выбранных материалов, получения наиболее эффективного технологического процесса изготовления являются **актуальными**.

1 СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ПРОЦЕССА ИССЛЕДОВАНИЯ ФРИКЦИОННОГО СЦЕПЛЕНИЯ ТЯГОВЫХ МАШИН

Среди различных компонентов процесса исследования фрикционного сцепления существенно выделяются несколько представлений.

1. Научный подход проф. В.М. Шарипова. В его подходе исследуются свойства муфт фрикционных сцеплений с ориентацией на их последующее конструирование и производство.

2. Научный подход проф. В.Я. Аниловича. Его системный подход к изучению свойств тяговых машин основан на определении параметров отдельных узлов машины (в частности силовых передач) и оценки надежности этих узлов.

3. Научная школа проф. М.А. Ефимова. Системный подход представителей этого направления к исследованию характеризуется: рассмотрением укрупненных блоков фрикционного сцепления, оценкой динамики работы привода, оценкой взаимного влияния компонентов фрикционного сцепления, рассмотрением механического привода в совокупности с другими элементами трансмиссии.

4. Научное направление доцентов Р.В. Конорева, М.П. Шишкарева. Согласно их традиционным воззрениям на исследования сложных машин и механизмов, исследованию подлежат различные составляющие фрикционного сцепления и процесса его изготовления. Этим исследованиям характерно: детальное изучение некоторой составляющей механического привода, анализ влияния технологических процессов на качества готового изделия.

5. Научные исследования доцента М.А. Гончара. Его методология базируется на технологических возможностях последующего изготовления и восстановления элементов создаваемых фрикционных узлов сцепления (разработка с «оглядкой» на возможности текущей технологии).

Не преследуя цели установления необходимых и достаточных составных частей процесса исследования фрикционного сцепления, можно утверждать, что автоматизация любых компонентов отмеченных схем исследования является научно необходимым и технически целесообразным актом, поскольку способствует прогрессу в процессах исследований.

Методологический анализ отмеченных подходов к исследованию фрикционных механизмов позволяет с позиции системного анализа [5] представить в некотором смысле «обобщенную» (охватывающую) схему процесса исследования фрикционного сцепления (рисунок 1).

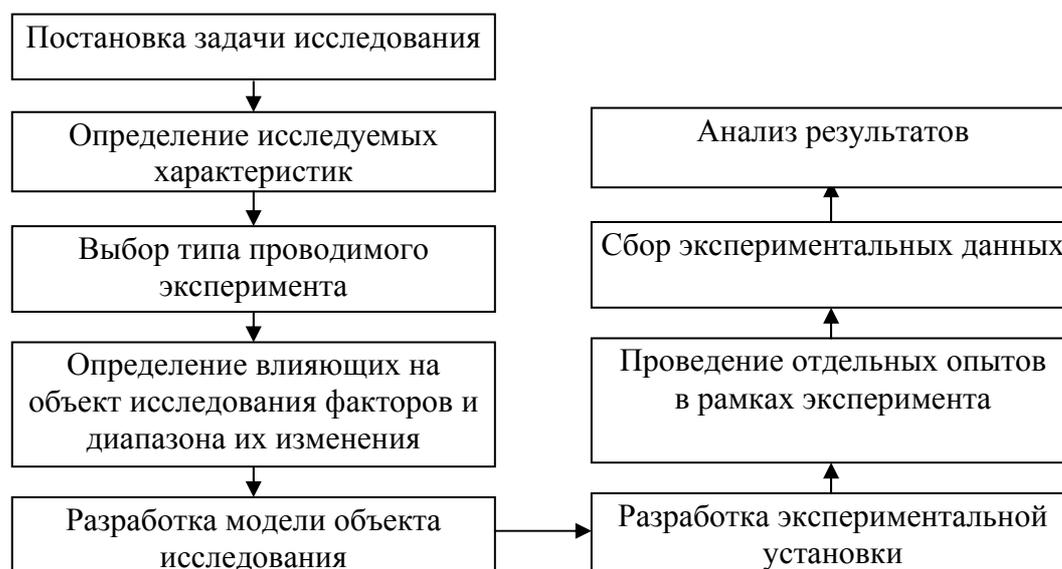


Рисунок 1 – Обобщенная схема процесса исследования фрикционного сцепления

Предварительные аналитические оценки показывают, что автоматизации подлежат в той или иной степени практически все «блоки» схемы рисунка 1, за исключением первого этапа постановки задачи, поскольку, как правило,

формулировка цели, выбор инструментальных средств, установление методологической «среды», посредством которой достигаются поставленные цели, формулирование критериев оценки достижимости целей и качества проведенного исследования являются трудно структурируемыми событиями.

Таким образом, в прикладном аспекте к задачам автоматизации можно отнести следующие три раздела вопросов:

1) формализация представления объекта исследования (автоматизация определения характеристик, выбора типа эксперимента, определения влияющих факторов, разработка модели исследования);

2) организация процесса моделирования (автоматизация разработки экспериментальной установки, проведения отдельных опытов и сбора экспериментальных данных);

3) анализ получаемых результатов

2 СОДЕРЖАТЕЛЬНОСТЬ КОМПОНЕНТОВ МЕТОДИКИ

Методика автоматизации исследований имеет непосредственное отношение к тому, *какие усилия* человека и *как эти усилия* можно переложить на технические средства и агрегаты, чтобы затем человек-исследователь с помощью этих технических «приспособлений» каким-то образом сделал процесс исследования более эффективным: продуктивным, комфортным и информативным.

В выделенных разделах вопросов автоматизации *формализация представления объекта исследования* занимает особое место. Здесь речь идет об автоматизации процессов идентификации объектов [6], то есть фактически о поиске инструментальных средств, посредством которых и окажется возможным построение подходящей математической модели фрикционного сцепления тяговых машин, как главного участника всего процесса исследования *систем силовых передач мощности от двигателя к органам машин*.

Традиционно (проф. Крементуло Ю.В., Яковлев В.П. [7, С.343-345]), идентификация объектов управления (ИОУ) – это процедура построения оптимальной в определенном смысле математической модели объекта управления по реализациям его входных и выходных сигналов. В общем случае ИОУ предусматривает выбор класса математической модели, класса и типа входных сигналов, языка описания математической модели, критериев соответствия (близости) модели и объекта, метода идентификации и разработку (или выбор) соответствующих алгоритмов.

Выбор класса моделей, как правило, производится на основе теоретического анализа объекта управления (ОУ) с использованием общих закономерностей процессов, протекающих в ОУ, и на основе априорной информации о подобных объектах. Наиболее удачным подходом считается сочетание теоретического и экспериментального анализа ОУ, в котором с помощью экспериментального анализа производится количественная оценка характеристик ОУ и проверка соответствия модели реальному объекту.

Класс и тип входных сигналов связан со способами получения экспериментальных данных об ОУ. Различают методы активного и пассивного эксперимента. При активном эксперименте на вход ОУ подается заранее выбранное воздействие (импульсное, ступенчатое, гармоническое, псевдослучайное и т.п.), а при пассивном эксперименте используются данные, полученные в процессе нормального функционирования ОУ.

Языком описания математических моделей ОУ могут являться статистические характеристики, импульсная переходная функция, переходная функция, передаточная функция, частотные характеристики, описывающие функции, дифференциальные, разностные, интегральные и интегро-дифференциальные уравнения, связывающие входные и выходные сигналы ОУ. Кроме этого, могут применяться представления характеристик ОУ в виде разных интерполяционных рядов (Тейлора, Лягерра, Эрмита, Чебышева, Фурье, Вольтерры).

В качестве критерия близости ОУ и его математическое модели используют среднеквадратичную погрешность, абсолютную погрешность, максимум правдоподобия или другие специфичные оценки.

Методы ИОУ делят на так называемые методы непараметрической или функциональной идентификации и методы параметрической ИОУ, когда математическая модель ОУ известна с точностью до параметров, а задачей идентификации является их количественная оценка.

Разработку алгоритмов связывают с реализацией процесса идентификации объектов управления, которую проводят по разомкнутой или по замкнутой схеме.

Особенностью ИОУ по разомкнутой схеме является то, что получаемые результаты не используются непосредственно для коррекции (уточнения) принятой математической модели. В этом случае предполагается преобразование ($ПД_x, ПД_y$) входных $x(t)$ и выходных $y(t)$ сигналов для получения необходимых соотношений относительно неизвестных параметров модели, используемых затем для вычисления ($ВУ$) неких характеристик A и их представления (отображения) $УО$ (см. рисунок 2).

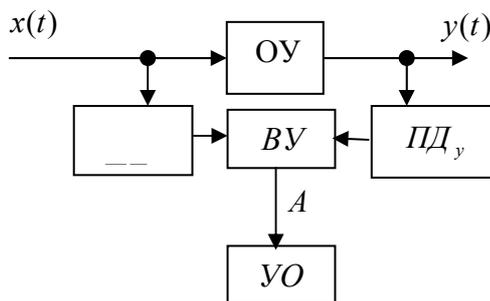


Рисунок 2 – Разомкнутая схема идентификации объекта управления

К группе методов, использующих разомкнутую схему, обычно относят методы определения частотных характеристик ОУ при гармонических тестовых сигналах, импульсной переходной функции из уравнений Винера-Хопфа, интегральные методы, основанные на эквивалентном преобразовании исходных дифференциальных уравнений для получения системы алгебраических уравнений (линейных относительно неизвестных коэффициентов), алгебраические методы определения коэффициентов разностных уравнений.

Идентификация объекта управления по замкнутой схеме (см. рисунок 3) предусматривает оценку близости $\varepsilon_N = N(y, y_M, x)$ модели объекта управления ($МОУ$) и ОУ и коррекцию (K) модели, например, уточнение параметров β модели объекта управления $МОУ$. При этом в качестве характеристик ОУ принимают характеристики A_M $МОУ$, скорректированной в смысле оптимума ε_N , где N – в общем случае оператор или функционал, $y_M(t)$ – выход модели. Обычно идентификация по замкнутой схеме сводится к нахождению экстремума выбранного критерия близости ε_N модели и объекта, зависящего от искомых коэффициентов β модели. Для решения этой задачи используют методы поиска экстремума (метод Ньютона, градиентный,

метод наискорейшего спуска, метод стохастической аппроксимации и методы случайного поиска).

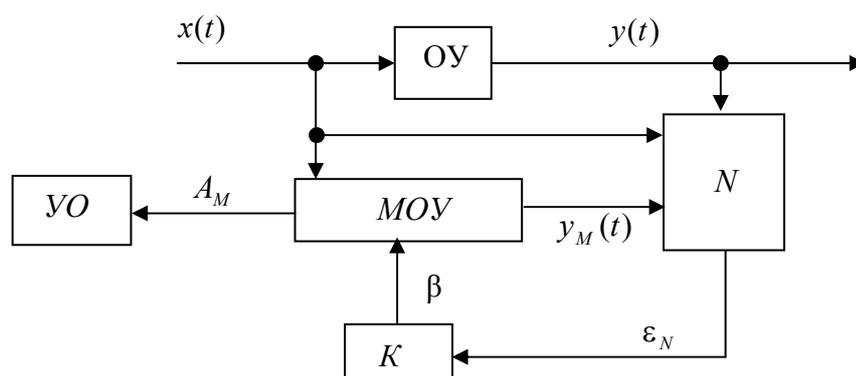


Рисунок 3 – Замкнутая схема идентификации объекта управления

Считается, что при постановке и решении задач идентификации важное значение имеет область приложения получаемых результатов:

а) при исследовании объектов основной целью является получение структуры и оценка параметров модели, адекватно отражающей основные закономерности процессов, протекающих в объекте;

б) в задачах управления идентификация объекта управления необходима для выработки стратегии управления, как правило, не требующей строгой адекватности модели и объекта управления.

Таким образом, автоматизация процессов формализации представления объекта исследования должна обеспечить инструментальными средствами для реализации всех возможностей идентификации объекта управления.

Оценки показывают, что, в общем, решение вопросов формализации представлений об объекте исследования, организации процесса моделирования и анализа получаемых результатов – это создание взаимообусловленных формальных языков для каждого из трех отмеченных разделов с их последующей реализацией в конкретных средах операционных систем (вычислительных машин). Поэтому естественным направлением автоматизации исследований фрикционного сцепления тяговых машин может являться создание и реализация трех языков.

Однако анализ специфики прикладных исследований фрикционного сцепления позволяет говорить о наличии не одной, а множества моделей составляющих элементов привода сцепления [8]. В такой ситуации целесообразно языки первых двух разделов представить в форме одного языка, реализующего взаимодействие моделей этих составляющих элементов привода сцепления.

2.1 Множественность моделей

Представим условно процесс исследования фрикционного сцепления тяговых машин пятёркой операторов: $\langle O, G, H, E, T \rangle$, где O – функция воздействия человека-оператора на привод, G – модель привода сцепления, H – модель гидравлического усилителя, E – параметры, характеризующую внешнюю среду, T – параметры узлов трансмиссии, взаимосвязанных с приводом сцепления. Отметим, что все операторы, за исключением модели привода сцепления G , отражают представления о среде.

В реальности привод сцепления, являющийся фактически элементом трансмиссии, рассматривается как объект исследования (как система). При этом в

каждой прикладной разработке *предметом* исследования могут быть разные множества «элементов», отношений и связей объекта исследования (этой системы), обусловленные конкретными целевыми установками исследователя. Поэтому каждая конкретная математическая модель фрикционного сцепления может быть в известной степени уникальна и только всё множество моделей, соответствующих конкретным целевым установкам исследователей, может полноценно отражать закономерности функционирования фрикционного сцепления и трансмиссии в целом. Множественность математических моделей характеризует различия формальных описаний, используемого математического аппарата, различия семиотических средств и языков.

Другими словами, представление приводов сцепления для проведения процессов исследования принципиально требует использования различных моделей. Есть основания полагать, что именно это обеспечит полноту исследования машин и механизмов, в которые включены фрикционные сцепления.

Множества моделей могут характеризоваться определенной взаимосвязанностью, взаимообусловленностью или быть независимыми. Каждому характеру взаимосвязи может соответствовать своё направление автоматизации. Однако, основываясь на том, что важным фактором при построении моделей являются учет реальности передачи энергии от двигателя к рабочим органам машины, можно ожидать глубокой взаимосвязанности моделей и, как следствие, реальности иерархической структуры математических моделей фрикционного сцепления.

Предварительный анализ показывает [8], что привод сцепления приемлемо описывается множеством моделей, представленных неориентированным деревом G в графе трансмиссии. Узлы дерева представимы множеством математических моделей S , среди которых выделяется корневой узел S_0 (1), (2):

$$G = \{S, S_0, \omega\} \quad (1)$$

$$S_0 \in S, \quad (2)$$

где матрица смежности ω описывает взаимосвязь между моделями. Единица на пересечении строки и столбца в матрице означают наличие взаимосвязи между математическими моделями этих узлов.

Каждый элемент множества S описывается формулой (3):

$$f_m^k = f_m^k(\{f_i^{k+1}\}, \{x_j^{k,m}\}) \quad (3)$$

где k – уровень модели, m – номер модели на данном уровне, f_i^{k+1} – модели более низкого уровня, $x_j^{k,m}$ – атрибуты модели, определенные на данном уровне.

2.2 Язык взаимодействия моделей

Языкам универсального характера (ЯУ) свойственно наличие многих типов операторов для обработки операндов. Качественный анализ применимости известных универсальных языков [например, 9-10] для осуществления взаимодействия моделей (3) позволяет сделать относительно ЯУ следующее важное предположение. Несмотря на значительную функциональную избыточность ЯУ относительно задачи взаимодействия моделей, для описания этого взаимодействия требуются, как правило, дополнительные доработки ЯУ, которые могут привести к существенным

усложнениям самого описания механизма взаимодействия моделей. Кроме этого, процессам исследования фрикционного сцепления свойственно использование представления разных частей предмета исследования разными уровнями детализации структуры, что принципиально ограничивает применимость ЯУ. Это приводит к необходимости создания специализированных языков взаимодействия моделей, ориентированных на проведение процессов моделирования при исследовании устройств фрикционного сцепления.

Исходя из наглядности специализации операторов f_m^k взаимодействия моделей (3) по уровням детализации и номерам моделей и в зависимости от сложности и типажа f_m^k , возможны разные варианты построения специализированных языков. Одним из наиболее сложных вопросов является автоматизация исследования фрикционных сцеплений как последовательного использования нескольких систем дифференциальных уравнений [11]. В связи с этим представляется целесообразным сориентировать специализированный язык взаимодействия моделей (ЯВ) на формальный аппарат решения систем дифференциальных уравнений.

Поэтому в создаваемом ЯВ должны быть не только средства описания соответствующих математических моделей компонентов фрикционного сцепления, но и средства формулирования заданий по достижению конечного результата и осуществления вычислительного эксперимента по решению систем дифференциальных уравнений.

Особенностью языка является выделение групп моделей на основе их вхождения в граф фрикционного сцепления, а также обозначение взаимосвязи через совместно используемые параметры, являющиеся входными для одних моделей и результатами моделирования для других. Атомами такого языка являются представления констант, параметров, моделей и экспериментов. Иными словами, можно записать обобщенную грамматику L_1 , задающую данный язык:

$$\begin{array}{lll}
 L_1 \rightarrow P_1 M_1 A_1 & M_1 \rightarrow M_2 M_1 & A_2 \rightarrow A_3 P_3 M_2 C \\
 P_1 \rightarrow P_2 P_1 & M_2 \rightarrow O P_3 M_3 & A_3 \rightarrow \langle \text{задание} \rangle \\
 P_2 \rightarrow P_3 | E & M_3 \rightarrow O P_3 M_3 | E & O \rightarrow \langle \text{оператор} \rangle \\
 P_3 \rightarrow \langle \text{параметр} \rangle & A_1 \rightarrow A_2 A_1 & C \rightarrow \langle \text{константа} \rangle
 \end{array}$$

Типичная фраза такого языка L_1 состоит из последовательного описания множества используемых параметров P_1 , множества моделей M_1 и множества вычислительных действий A_1 . В свою очередь, множество моделей M_1 строится в виде набора операций O над параметрами P_3 . Вычислительные задания формулируются путем обозначения некоторого задания A_3 по вычислению параметра P_3 из модели M_2 с использованием исходных данных C . Использование правил вывода позволяет получить из предиката P_1 множество предикатов P_2 , которые в свою очередь могут приводить либо к описанию конкретного параметра P_3 , либо представляться пустым множеством E . Аналогичным образом из предиката M_1 с использованием правил вывода получается множество предикатов M_2 , которые могут быть аналогичным образом представлены в виде последовательности $O P_2 M_3$, приводящей к описанию модели терминами самого языка, то есть представленными атомами. $\langle \text{параметр} \rangle, \langle \text{задание} \rangle, \langle \text{оператор} \rangle, \langle \text{константа} \rangle$.

2.3 Интерактивная система создания отчетов, количественно характеризующих процесс анализа полученных результатов

Практические исследования ориентированы не только и не столько на получение количественных характеристик предмета исследования, сколько на анализ этих характеристик относительно какого-либо критерия. В данной связи особый интерес у исследователя вызывает использование некоторого набора функций обработки полученных экспериментальных данных. Причем конкретный состав этих функций и критериев для оценки может существенно отличаться в зависимости от выбранного предмета исследования и проводимого анализа. Можно сказать, что существует потребность в формальном описании постэкспериментальных действий.

Система реализует простейший язык, задаваемый грамматикой L_2 . В его основе лежит ориентация на статистическую обработку набора получаемых данных, представляющего собой поток значений параметров:

$$\begin{aligned} L_2 &\rightarrow F(F_1) & F &\rightarrow \langle \text{функция_обработки} \rangle \\ F_1 &\rightarrow P_1 | F(F_1) & P &\rightarrow \langle \text{параметр} \rangle \\ P_1 &\rightarrow PP_1 \end{aligned}$$

Фразы L_2 данного языка описывают последовательное применение множества функций F к множеству параметров P . В свою очередь параметр P может описываться уже полученными результатами применения некоторой функции обработки к некоторому набору параметров. Это обуславливает необходимость введения правила вывода $F_1 \rightarrow P_1 | F(F_1)$. Правило $P_1 \rightarrow PP_1$ описывает принципиальную возможность использования в качестве входа функции не одного, а нескольких параметров.

Использование L_2 является обоснованным с использованием неповторяющегося набора данных. Такой набор возможно получить, проводя набор вычислительных операций, например, с использованием языка L_1 . Таким образом пара языков L_1 и L_2 является взаимообусловленной.

3 Основные положения методики автоматизации

Методика автоматизации – это:

1. Построение неориентированного дерева взаимодействия моделей узлов фрикционного сцепления по структуре привода сцепления и обобщенной схеме процесса исследования фрикционного сцепления.
2. Построение формального языка взаимодействия моделей.
3. Разработка языка описания для идентификации узлов фрикционного сцепления.
4. Разработка формального языка ввода исходных данных и формулировки задания этапов исследования или плана эксперимента.
5. Разработка языка формирования отчетов (графические, семиотические, образные и т.п.) для анализа результатов исследования.
6. Реализация формальных языков взаимодействия моделей, идентификации узлов, формирования отчетов в единой структуре языка формулировки заданий в операционной среде цифровой вычислительной машины.

Таким образом, методика автоматизации состоит из последовательного исполнения шести этапов. Каждый этап может осуществляться по-разному. Так, построение неориентированного дерева взаимодействия моделей зависит от конструкции привода и конкретного множества целей исследования. Построение

формального языка взаимодействия моделей во многом определяется методическими приверженностями разработчика в формулировании синтаксиса и задании семантики. Разработка языка описания для идентификации узлов фрикционного сцепления обусловлена априорно выбранным формальным (математическим) аппаратом. Разработка формального языка ввода исходных данных и формулировки задания этапов исследования или плана эксперимента осуществляется под значительным влиянием опыта исследователя закономерностей функционирования фрикционного сцепления и разработчика формальных языков. Разработка языка формирования отчетов (графические, семиотические, образные и т.п.) для анализа результатов исследования сильно связана с многообразием конкретных целей исследования и моделирования. Наконец, реализация формальных языков взаимодействия моделей, идентификации узлов, формирования отчетов в единой структуре языка формулировки заданий в операционной среде цифровой вычислительной машины существенно определяется операционными системами и архитектурой конкретной вычислительной машины.

Поэтому в каждом конкретном случае предложенная методика может привести к построению разных систем автоматизации. Можно предположить, что это обстоятельство скорее позитивного плана, поскольку, во-первых, не существует двух одинаковых исследований с одинаковыми инструментальными средствами исследования, включая интеллектуальные возможности, способности и претензии исследователя. И, во-вторых, это позволяет максимально приблизиться к достижению результатов конкретных направлений исследования.

Надо особо подчеркнуть определенную ограниченность предложенной методики автоматизации в аспекте возможных сложностей реализуемости первого положения по построению неориентированного дерева взаимодействия моделей узлов фрикционного сцепления по структуре привода сцепления и обобщенной схеме процесса исследования фрикционного сцепления. Первое положение возможно к применению только тогда, когда до процесса исследования априорно определена структура привода сцепления.

ВЫВОДЫ

1. Предложенная методика автоматизации принципиально реализуема.
2. Предложенная методика автоматизации исследований делает процесс исследования более продуктивным, комфортным и информативным.
3. Предложенная методика автоматизации может быть использована для создания методики испытаний как при осуществлении стендовых и полевых испытаний, так и при организации испытательных полигонов новой техники на промышленном предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов М.А. К вопросу исследования совместной работы постоянно-замкнутой муфты сцепления с гидравлическими сервомеханизмами различных типов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. –Павлодар, 1970. – 203 с.
2. Рыжов Ю.Н. Повышение эксплуатационных качеств трактора Т-130 за счет снижения динамической нагруженности системы «фрикционное сцепление - гидроусилитель – тормозок»: дис. ... канд. техн. наук. –Москва, 2008.
3. Скурихин В.И. Системотехника //Энциклопедия кибернетики. – Киев: Гл. редакция Укр. Сов. Энциклопедии, 1975. – Том 2. – С. 356-357.
4. Морозов К. Е. Математические модели в кибернетике. – М.: Знание, 1968. – 48 с.

5. Системный анализ в экономике и организации производства [под общей редакцией проф. С.А. Валуева и В.Н. Волковой]. – Л.: Политехника, 1991. – 398 с.
6. Ордынцев В.М. Математическое описание объектов автоматизации. – М.: Наука, 1965. – 357 с.
7. Энциклопедия кибернетики. – Киев: Гл. редакция Укр. Сов. Энциклопедии, 1975. – Том 2. – 607 с.
8. Долгов Е.П., Рыжов Ю.Н. Особенности моделирования в АСНИ привода сцепления // Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2008. - №4-3/272(550) – С. 65-68.
9. Язык UML. Руководство пользователя. Второе издание / Буч Грэди, Рамбо Джеймс, Якобсон Ивар – М. ДМК-Пресс, 2007. – 496 с.
10. Загидуллин Р.Ш. LabView в исследованиях и разработках – М.: Горячая линия - Телеком, 2005. – 352 с.
11. Долгов Е.П., Константинов И.С., Рыжов Ю.Н. Численное моделирование динамических нагрузок в приводе сцепления с гидравлическим усилителем // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2007. – №11. – С. 9–12.

Раков Владимир Иванович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы»
Тел.: + 7(4862) 76-19-10
E-mail: rakov2000@hotmail.ru

Долгов Евгений Петрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Ассистент кафедры «Информационные системы»
Тел.: + 7(4862) 43-26-19
E-mail: dolgov@ostu.ru

Д.С. ШЕМОИЧУК

ПОЛНОТА И ТОЧНОСТЬ МУЛЬТИМЕДИА КОНТЕНТА ДЛЯ СУЩЕСТВЕННО ИНТЕНСИФИЦИРОВАННЫХ МУЛЬТИМЕДИА СИСТЕМ

Статья посвящена исследованию интенсифицированных мультимедиа систем с позиции регулирования их основных функциональных характеристик путем гармонизации и нормирования медиаконтента. Приводятся рекомендации по выбору и улучшению важнейших характеристик мультимедиа систем, причем на основании экспериментальных проверок обосновывается продуктивность гармонизации в качестве основного средства повышения значений комплексных показателей полноты и точности информационного обеспечения пользователей.

Ключевые слова: мультимедиа системы; медиаконтент; интернет-технологии; информационное обеспечение.

This article is devoted to investigation of intensified multimedia systems from the point of their main functional characteristics by the way of harmonisation and normalization of media content. Recommendations about a choice and improvement of the most important characteristics of multimedia systems are provided. Except that the efficiency of harmonisation as a main facility of raising the value of complex indexes of recall and precision of informational support of the user mainly based on experiments.

Key words: multimedia; media content; precision; compression; bandwidths.

Предметом представленного в настоящей статье исследования является оценка зависимости коэффициентов полноты и точности информационного обеспечения пользователя Интернет/Экстранет/Интранет-технологий средствами мультимедиа от меры нагрузки.

Мультимедиа информационное обеспечение становится неотъемлемой частью информационной поддержки самых различных областей жизнедеятельности социума, в том числе и в сфере образовательных технологий. В этой сфере, как ни в какой иной, необходимо достижение высокой точности и достаточной полноты отображения мультимедиа информации в сочетании с простотой её поиска и вывода на внешние устройства, а также предельно простым обслуживанием всех программно-аппаратных средств, задействованных в этом процессе.

В семантических информационных системах аналогичные задачи оценки и регулирования точности и полноты отображения текстовой (письменной) информации традиционно решают, опираясь на анализ и улучшение коэффициента точности и коэффициента полноты [1, 2]. В мультимедиа системах до недавнего времени такая оценка не применялась ввиду относительно фрагментарного их использования, да и принятая в семантических системах оценка релевантности и полноты откликов лишь отчасти пригодна к мультимедиа системам. Лишь отчасти потому, что такая оценка отображает только семантическую составляющую точности и полноты откликов на запросы, совершенно не учитывая в случае мультимедиа потоков их большую интенсивность, специфику сжатия и конвертирования информации, особенности воздействия на качество отображения информации самими техническими средствами мультимедиа. Учитывать же эти составляющие совершенно необходимо, поскольку в последнее время доля медиафайлов в общем информационном потоке пользователей резко возрастает, а сами мультимедиа

составляющие информационного обеспечения (в том числе в образовании) существенно интенсифицируются.

В этой связи автором предложено модифицировать представления о точности и полноте информационного отображения, введя для мультимедиа, по сравнению с семантическими системами, расширенные комплексные понятия полноты и точности отображения мультимедиа информации, учитывающие совокупность семантических аспектов оценки и специфических мультимедиа составляющих технологического свойства, которые были перечислены выше.

Согласно предложению автора настоящей статьи, для существенно интенсифицируемых мультимедиа систем расширенный комплексный коэффициент полноты определяется как: $P_{медиа} = n_a / (n_a + n_c)$ – отношение числа релевантных медиафайлов в выдаче к общему числу релевантных медиафайлов в контейнере (n_a – число медиафайлов, реально выданных системой и входящих в желаемую выдачу, n_c – число медиафайлов, не выданных системой, но входящих в желаемую выдачу). Аналогично расширенный комплексный коэффициент точности: $T_{медиа} = n_a / (n_a + n_b)$ – отношение числа релевантных медиафайлов к общему объёму выдачи, где n_b – число медиафайлов, выданных системой, но не входящих в желаемую выдачу.

Такая трактовка автора обсуждалась на конференции CSTB'2008, где встретила понимание и поддержку специалистов, работающих в сфере медиа обеспечения социума. В завершённом виде методика и алгоритм оценки и регулирования полноты и точности мультимедиа обеспечения в зависимости от нагрузки на Интернет/Экстранет/Интранет- технологии передана в отрасль образования в виде депонента ВИНТИ [3].

Рассмотрим эту зависимость полноты и точности мультимедиа обеспечения от нагрузки на примерах реальной практики автора статьи информационного обслуживания подразделений МИРЭА и сотрудничающих с ним учреждений образования, тем более что ограничение и снижение нагрузок на внутривузовскую сеть для МИРЭА, как и для многих других учреждений образования, является достаточно актуальной задачей. В качестве объекта исследования будем использовать образовательный портал «Дети.Музыка-Видео.Интернет», разработанный в рамках госбюджетной НИОКР Московским межвузовским специализированным по школьно-студенческому творчеству и его информатизации в системе непрерывного образования учебно-методическим центром НИТ «Новые технологии обучения». (Этот портал поддерживает систему дополнительного образования детей в Московском городском Дворце детского (юношеского) творчества (МГДД(Ю)Т)).

В расчеты и экспериментальные проверки были заложены следующие типовые значения пропускной способности каналов [4], характерные для МИРЭА, МГДД(Ю)Т и других потребителей информационных услуг мультимедиа порталов:

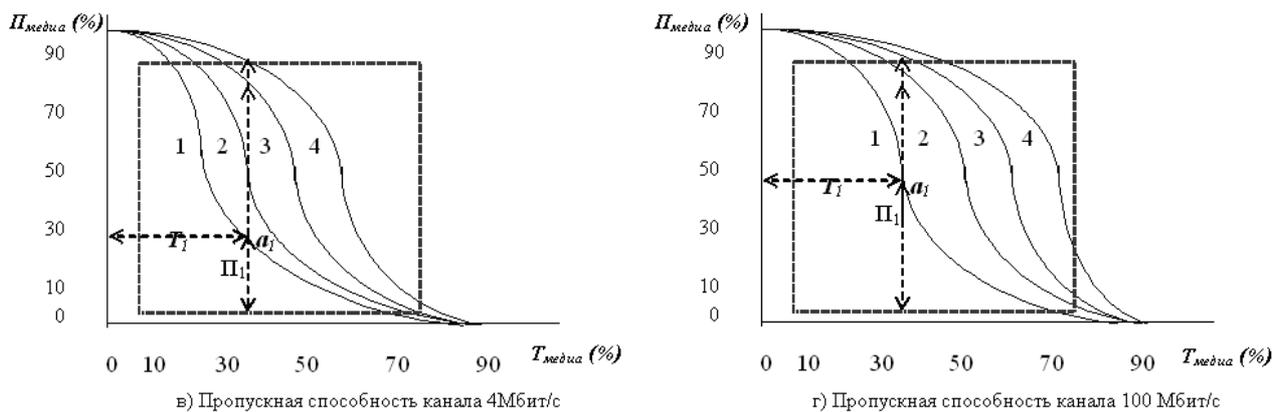
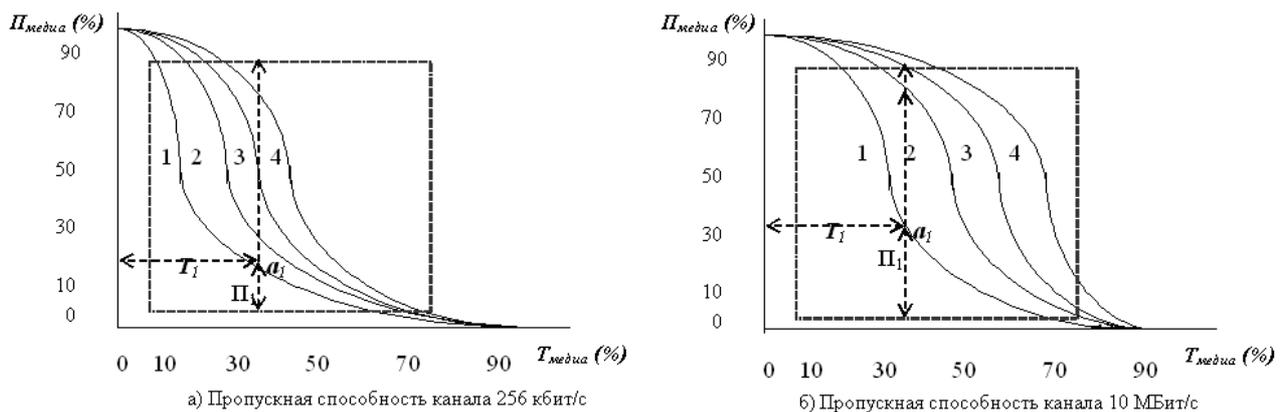
- 256 Кбит/с – скорость большинства ADSL подключений;
- 4096 Кбит/с (4 Мбит/с) – скорость Интернета, предоставляемого студентам в МИРЭА;
- 10240 Кбит/с (10 Мбит/с) – скорость стандарта IEEE 802.3 Ethernet;
- 102400 Кбит/с (100 Мбит/с) – скорость стандарта IEEE 802.3u Fast Ethernet.

Соотношение между расширенными комплексными коэффициентами полноты и точности, исходя из их определения, имеет следующий вид:

$$P_{\text{медиа}} = \frac{T_{\text{медиа}} \cdot n_b}{T_{\text{медиа}} \cdot n_b + n_c(1 - T_{\text{медиа}})} \quad (1)$$

Проанализировав в соответствии с приведенной выше формулой различные комбинации взаимозависимостей расширенных комплексных коэффициентов полноты и точности, автор получил типизированные альбомы семейств этих характеристик для отобранных значений пропускной способности каналов (256, 4096, 10240, 102400 Кбит/с).

В качестве примера на рисунке 1 (а, б, в, г) приведены 4 семейства характеристических кривых. Здесь по оси абсцисс отложено значение расширенного комплексного коэффициента точности ($T_{\text{медиа}}$) поиска медиаконтента. По оси ординат отложены величины расширенного комплексного коэффициента полноты ($P_{\text{медиа}}$) поиска. Каждая пронумерованная кривая на рисунке 1 отображает взаимную зависимость указанных выше коэффициентов для разных степеней сжатия медиафайлов. Все входящие в расчеты данные получены экспериментальным путем (многократные и многочисленные замеры производились студентами МИРЭА, выполняющими цикл практических работ по дисциплине «Мультимедиа технология» направления профессиональной подготовки ВШ РФ «Информационные системы»).



- 1 - сжатие с потерей
 2 - сжатие в 4 раза
 3 - сжатие в 2 раза
 4 - без сжатия
- , где 1, 2, 3, 4 - номер кривой на графиках

Рисунок 1 - Графики зависимостей между достижимыми показателями полноты ($P_{\text{медиа}}$) и точности ($T_{\text{медиа}}$) при различной пропускной способности информационных каналов

Из представленных выше семейств характеристик зависимости расширенных комплексных коэффициентов полноты от точности мультимедиа систем видно, что для всех реперных точек, то есть в наиболее часто встречающихся случаях работы с мультимедиа системами, по мере сжатия (компрессии) медиафайлов соотношение полноты и точности смещается в сторону снижения точности при неизменной полноте и, наоборот, в сторону увеличения полноты при удержании заданной точности.

Следовательно, сжимая медиафайлы в целях разгрузки системы и увеличения скорости канальной ее доставки, необходимо оценивать и учитывать дрейф указанного соотношения «полнота / точность». При этом по мере увеличения степени сжатия медиаконтента упомянутая выше зависимость ослабевает. Таким образом, на точности отображения системой мультимедиа информации наиболее отрицательно отражается начальное сжатие (до 2 раз), а затем это воздействие ослабляется, принимая почти безразличный характер в случаях сжатия с потерями.

Однако эти зоны не являются самыми привлекательными для исследователей и проектировщиков мультимедиа систем, поскольку ни о каком современном качестве медиаобслуживания в них и речи быть не может. Следовательно, эффективно работать можно в зоне сжатий от 2 до 4 раз. Такова рекомендательная позиция автора настоящей статьи.

Второй, не менее значимый вывод этой части исследования: соотношение «полнота / точность» для различных значений коэффициента сжатия (вплоть до 10 раз) существенно зависит от изначальной скорости трансляции, то есть производительности канала передачи медиаконтента.

Скорость изменения этого соотношения максимальна при высоких пропускных способностях (в рассматриваемом случае до 100 Мбит/с) и минимальна при низких способностях, например, модемного телефонного уровня – остальные значения занимают промежуточные положения между ними. Естественно, в настоящее время интерес представляют области от 256 Кбит/с до 100 Мбит/с.

Приведенные выше (рисунок 1) семейства характеристик, по мнению автора, могут быть отнесены к достаточно широкому кругу задач моделирования и проектирования мультимедиа систем. В частности, решения продуктивны в отношении существенно интенсифицированных, нагруженных мультимедиа систем, поскольку предоставляют возможность проектировщику этих систем мгновенно получать требуемые коэффициенты отношения полноты и точности в широком диапазоне компрессий и скоростей обслуживания медиаконтента.

К инструментам воздействия на рассматриваемые коэффициенты традиционно могут быть отнесены нормирование и гармонизация контента [5].

Здесь под нормированием понимается принятие мер по снижению дисперсии и математического ожидания размеров медиафайла в пределах каждого массива мультимедиа контента. Гармонизация в мультимедиа технологиях более всего связана с комбинаторикой различных перестановок и удалений тех или иных файлов [6]. Можно полагать, что такой взгляд достаточно продуктивен в проектной деятельности мультимедиа систем, тем более что он совпадает с традиционными подходами в проектировании семантических систем.

Ниже на рисунке 2 представлены полученные автором по экспериментальным данным зависимости отношения полноты и точности мультимедийных систем в условиях производимого нормирования для упомянутых выше четырех скоростных режимов сетевой отдачи: 256 Кбит/с, 4 Мбит/с, 10 Мбит/с, 100 Мбит/с.

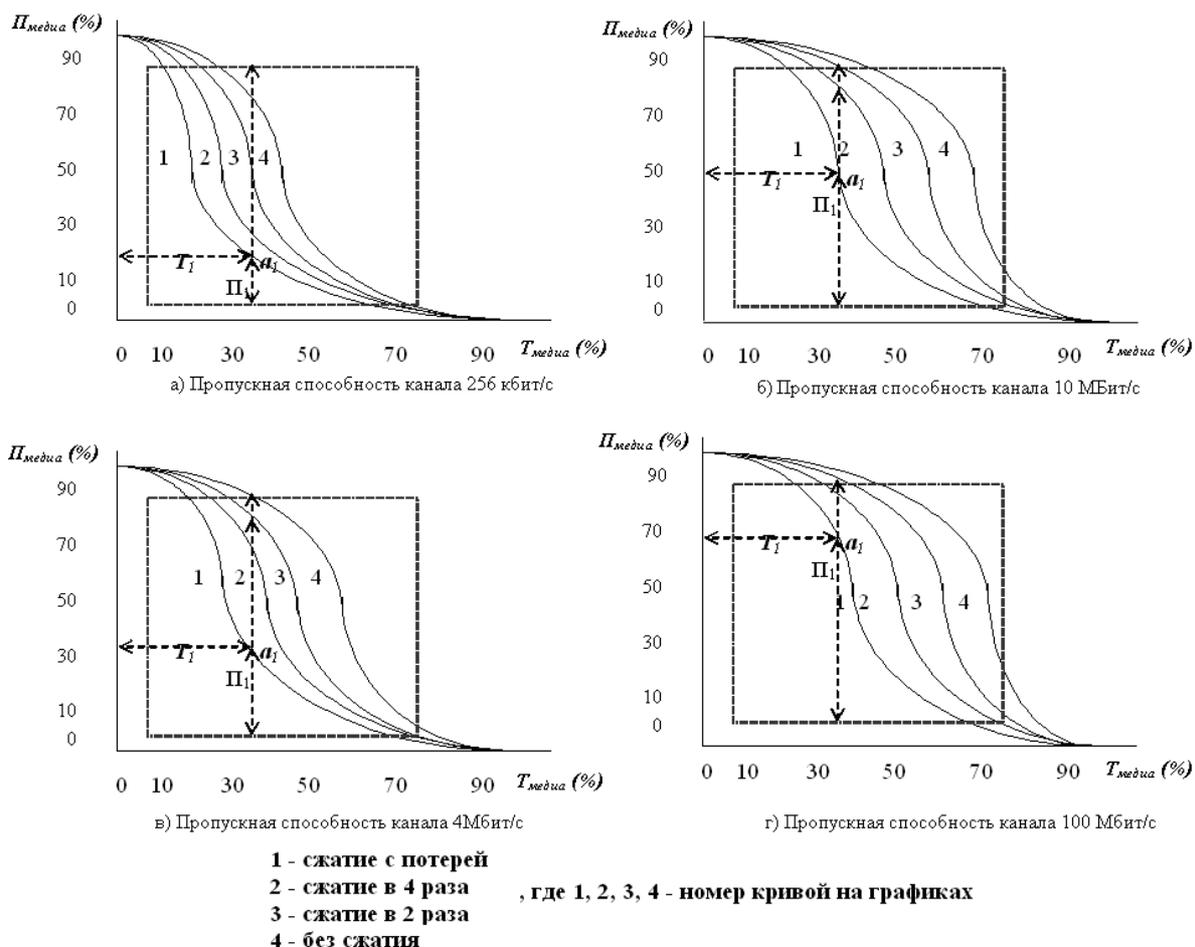


Рисунок 2 - Графики зависимостей между достижимыми показателями полноты и точности при нормировании

Из представленных на рисунке 2 четырех семейств характеристических кривых, по мнению автора, наиболее чувствительным к нормированию является случай при пропускной способности канала в 100 Мбит/с, а затем эта чувствительность плавно снижается по мере уменьшения пропускной способности каналов.

Проведенный методом компьютерного наложения ненормированных и нормированных семейств друг на друга, точечный расчет сравнения результатов показывает, что нормирование мультимедиа-контента дает выигрыш в точности до 10 - 15 процентов в самом лучшем случае, то есть для наибольшей скорости и фактическом отсутствии компрессии. Компрессия и снижение скорости в значительной мере снижают эффективность нормирования с позиций роста точности по отношению к полноте системы, притом, что процедуры нормирования трудоемки, ресурсоемки и не всегда четко формализуются.

Выше гармонизация мультимедиа-контента была определена как систематизация и унификация в результате изменения состава, свойств и признаков составляющих контента. Сюда можно отнести следующие приемы администратора и модератора мультимедийных порталов и пользователей мультимедиа библиотек в сетях:

- пересортировка контента на предмет устранения файлов – источников шума, файлов иного недоброкачественного свойства;
- ликвидация файлов сомнительных и неудобных расширений и плохо идентифицируемых;

- устранение адекватов и маскировок под разнообразие контента;
- переброска файлов и субконтейнеров в контейнер по принципу сужения разброса их величин относительно математического ожидания величин в том или ином контейнере;
- видеоизменения в разбиении на контейнеры и преобразование инфологических связей между ними и т.д.

Все эти меры направлены на улучшение так называемого коэффициента гармонизации мультимедиа систем [6], то есть коэффициента, показывающего, во сколько раз увеличился коэффициент точности системы при неизменной полноте в результате гармонизации. Как и в семантических системах, в мультимедийных конструкциях усилия модератора или системного администратора на практике позволяют достичь значения коэффициента гармонизации в пределах от 20 % до 40 %. Эти пределы характеризуют области воздействия на контент в диапазоне весьма малых временных и ресурсных затрат, поскольку такое воздействие на медиаконтент легко формализуется и поддерживается введением соответствующих несложных транзакций. В рамках обозначенного выше интервала, в частности, для двух значений коэффициента гармонизации: 20% и 40%, автором выявлено, насколько реализуется сближение расширенных комплексных коэффициентов полноты и точности для интенсифицированных мультимедиа.

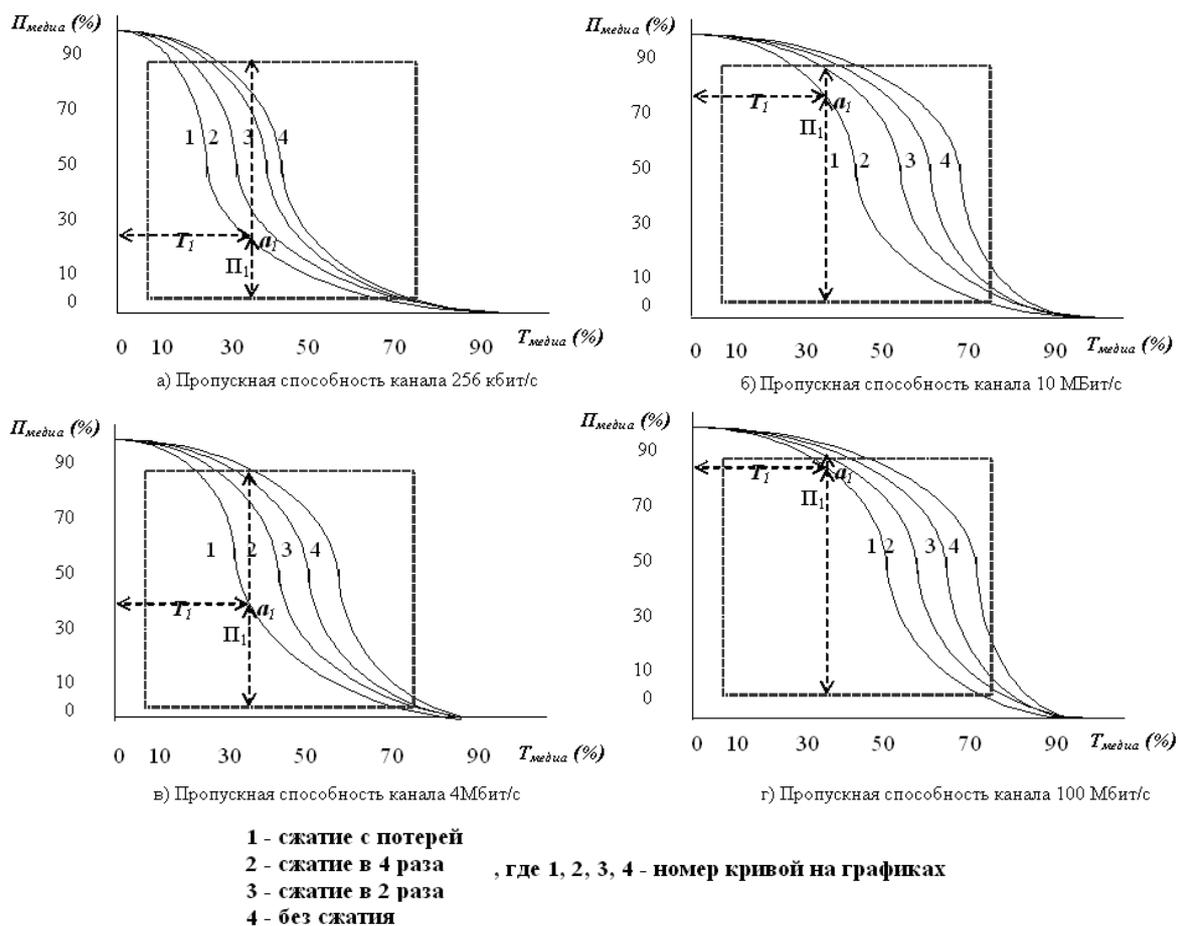


Рисунок 3 - Графики зависимостей между достижимыми показателями полноты и точности при гармонизации в 20 %

Экспериментальные исследования автора на гармонизацию медиаконтента, выполненные с группой студентов, (рисунки 3, 4) показали, что ее использование для управления полнотой и точностью в интенсифицированных мультимедиа системах является наиболее действенным способом по сравнению с другими проверенными в настоящей работе, в частности, с нормированием. Показано, что для несжатых медиафайлов в потоках со скоростью до 100 Мбит/с значения расширенных комплексных коэффициентов полноты и точности отображения медиаинформации возросли в 1,5 – 2,1 раза. Действенность гармонизации при этом заметно снижается для низкоскоростных доставок и для значительной компрессии, но даже в худших их сочетаниях не опускается ниже 20 %.

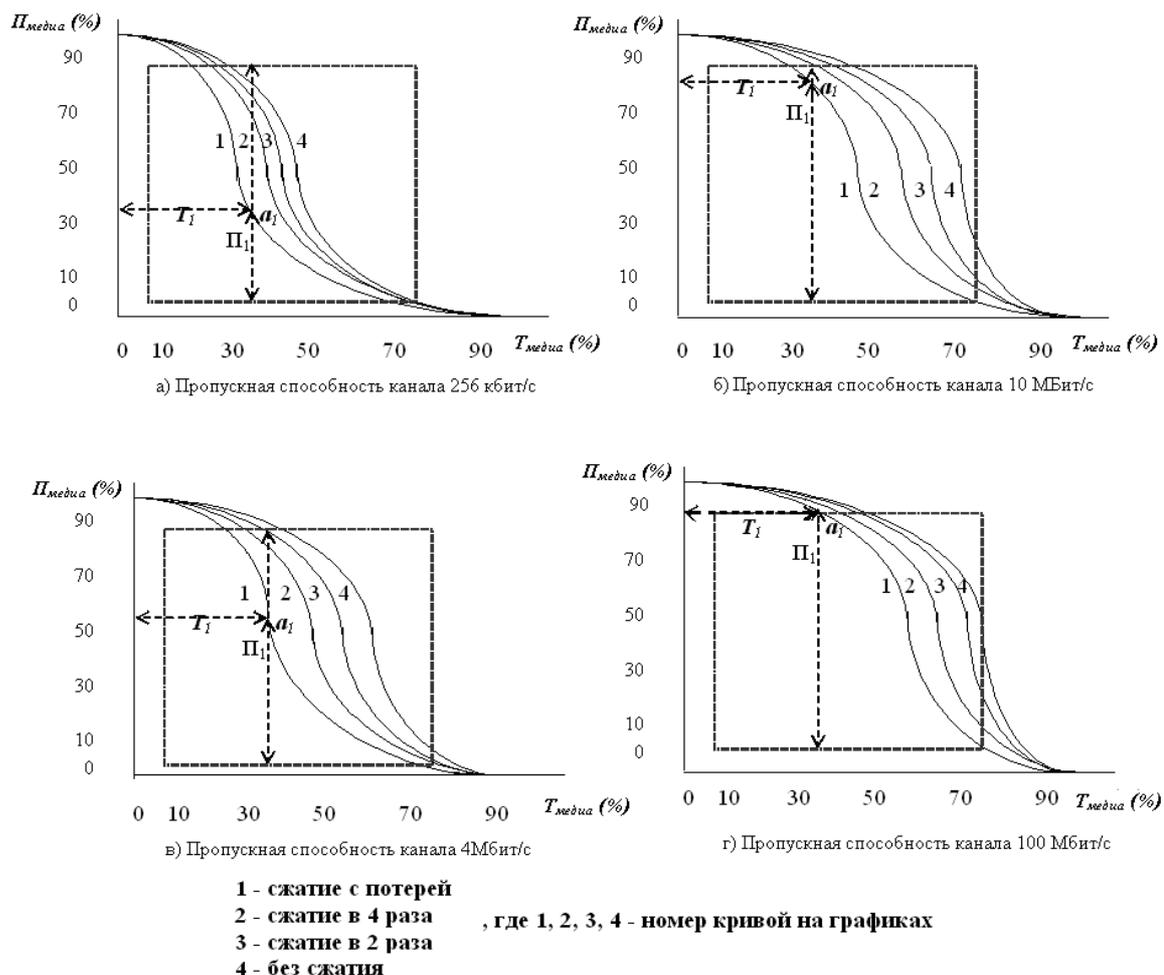


Рисунок 4 - Графики зависимостей между достижимыми показателями полноты и точности при гармонизации 40 %

Приведенные в настоящей статье результаты экспериментальной работы с медиаконтентом и представленные рекомендации учтены в проекте специализированного отраслевого мультиагентного мультимедиапортала системы дополнительного образования детей и юношества. В частности, проведен комплекс проектных работ по гармонизации медиаконтента, что позволило в пределах заданной весьма значительной нагрузки портала (28 Эрланг) существенно улучшить качество информационного обеспечения многочисленных пользователей (по сравнению с проектными вариантами, не

связанными с гармонизацией контента или ограниченными только нормированием контента). Классификационные признаки мультимедиа систем гармонизированного контента зарегистрированы в соавторстве с коллегами по исследованию в Отраслевом фонде алгоритмов и программ [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Современная информатика: наука, технология, деятельность / Гиляревский Р. С. и др. – М.: ВИНТИ, 1998. – 312 с.
2. Васильев В.И., Романов Л.Г., Червонный А.А. Основы теории систем: Конспект лекций. – М.: МГТУ ГА, 1994. – 104 с.
3. Математическое моделирование и улучшение функционала мультимедиа систем / Мордвинов В.А., Шемончук Д.С.; МИРЭА. – МОСКВА, 2008. – 30 с.: ил. – Библиог.: 14 назв. – Рус, 3 назв. – Англ. – Деп. в ВИНТИ 29.01.08 № 58-B2008.
4. Дж. Мартин. Системный анализ передачи данных. – Том 2 // Перевод с англ. – М.: Мир, 1975. – 432 с.
5. Иванников А.Д. и др. Развитие системы образовательных порталов в аспекте стандартизации и сертификации информационно-коммуникационных технологий. // Сборник научных статей «Интернет-порталы: содержание и технологии». – Выпуск 3. [Редкол.: А.Н. Тихонов (пред.) и др.]; ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика». – М.: Просвещение, 2005. – С. 48-67.
6. Мордвинов В.А. Аналитические исследования и инженерные расчеты в практике проектирования информационных систем, порталов и картелей. Обеспечение качества и сертификация программных средств в проектах // Новые информационные технологии в образовании: учебно-методические материалы: «Проектирование и сопровождение информационных систем, порталов и картелей в образовании, науке и бизнесе». – Вып. 02. – М.: МГДД(Ю)Т-МИРЭА-ГНИИ ИТТ «Информика», 2004. – 70 с.
7. Дементьев И.О., Ильин И.В., Мордвинов В.А., Чернова О.С., Чикалова В.М. Классификатор информационных систем. – 45 с. – ОФАП - МОСКВА, 2008 / Рег.№11390.

Шемончук Дмитрий Сергеевич

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), г. Москва

Ассистент кафедры технических и информационных средств систем управления

Тел. 8(495)434-93-70

E-mail: shemonchuk@mirea.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

В статье изложен подход к формированию информационно-технологического обеспечения типового ситуационного центра. Подход основан на заблаговременном построении и анализе сценариев развития проблемной ситуации. Формирование информационно-технологического обеспечения происходит с учетом наиболее вероятных сценариев развития ситуаций. Материал предназначен для специалистов в области технологий принятия решения, организации ситуационных центров (комнат).

Ключевые слова: *ситуационный центр; сценарий; ситуация; вероятность; дерево событий; булева функция; логико-вероятностный подход; информационно-технологическое обеспечение.*

In clause the approach to formation of a supply with information-technological typical situational the center is stated. The approach is based on preliminary construction and the analysis of scripts of development of a problem situation. Formation is information - technological maintenance occurs in view of the most probable scripts of development of situations. Given clause is intended for experts in the field of technologies of decision-making, the organization of the situational centers (rooms).

Keywords: *the Situational centre; scenario; situation; probability; tree event; boolean function; logician-probabilistic approach; information-technological provision.*

На современном этапе развития систем управления все большее внимание уделяется процессам коллективного принятия решения. В данной области наиболее актуальной является технология ситуационных центров (СЦ). В настоящее время разработан ряд типовых решений по развертыванию СЦ, определен набор функциональных требований, режимы функционирования, примерный состав программно-аппаратного комплекса. Активно обсуждаются технологии поиска, обработки, хранения, представления информации, пригодные для реализации в СЦ; определена роль ситуационных центров в процессе принятия решения; разработаны принципы управления [1].

В состав ситуационных центров предполагается включать набор программно-аппаратных средств и информационных фондов, обеспечивающих поддержку принятия широкого спектра решений. Однако в условиях ограничения по времени может возникать неопределенность в выборе необходимых средств обеспечения процесса выработки решения в проблемной ситуации. Это особенно актуально для мобильных СЦ, время развертывания и технические мощности которых ограничены.

На сегодняшний день исследователями и специалистами в области разработки и эксплуатации СЦ не предложен формализованный способ организации мероприятий по формированию необходимой и достаточной структуры всестороннего обеспечения. Разработка структуры и состава компонентов производится на основе личного опыта экспертов данной области, что в отсутствие научно обоснованного подхода является «узким местом» проектирования ситуационных центров.

Требования к структуре СЦ прямо зависят от содержания решаемых задач, поэтому и методика должна быть ориентирована на конкретные сценарии развития ситуации. Построение сценариев – один из методов прогнозирования, который состоит в построении логической, логико-временной цепочки событий при переходе объекта исследования из одного состояния в другое[6].

В процессе научного поиска были проанализированы следующие методы моделирования развития ситуаций: деревья событий, деревья неисправностей (отказов), теория Марковских цепей, теория графов.

Для решения рассматриваемой задачи наиболее подходящим является метод деревьев событий, так как он позволяет смоделировать сценарии развития ситуации с учетом сложной структуры причинно следственных связей (комбинаций событий в логических отношениях И, ИЛИ), при этом дает количественную оценку вероятности конечного события, которое и является проблемной ситуацией, требующей разрешения. Полученная оценка может использоваться для выявления наиболее вероятных сценариев развития ситуации, следовательно, появляется возможность заблаговременной подготовки СЦ к решению определенного перечня задач.

Под формализацией сценария подразумевается разработка дерева событий: оно включает инициирующие события, промежуточные события, и конечное событие – возможная проблемная ситуация, от характера которой зависит необходимая структура СЦ. Все элементы дерева взаимосвязаны логическими операторами, поэтому конечное событие можно представить как функцию алгебры логики.

Булева функция ставит в соответствие логическим аргументам логическое значение и представляет собой набор логических операций. Основными логическими операциями являются: дизъюнкция (\vee), конъюнкция (\wedge) и отрицание (\neg). Правило де Моргана (закон инверсий) позволяет представить конъюнкцию через дизъюнкцию инверсных высказываний и наоборот: $A \vee B = (A' \wedge B)'$, $A \wedge B = (A' \vee B')'$.

Дизъюнктивная нормальная форма (ДНФ) в булевой логике – это дизъюнкция элементарных конъюнкций. Например: $(a \wedge b \wedge c) \vee (d \wedge e \wedge f) \vee (c \wedge d)$. Существует несколько форм ДНФ. Если ранги элементарных конъюнкций одинаковы, говорят о совершенной ДНФ (СДНФ), например: $ab \vee cd$. Элементарные конъюнкции ортогональны, если их произведение равно нулю: $a \wedge b'$ и $a \wedge b \wedge c$. Если все члены ДНФ попарно ортогональны, имеет место ортогональная ДНФ (ОДНФ). Бесповторная ДНФ не содержит аргументов с одинаковыми индексами, например: $x_2 x_1 \vee (x_5' \vee x_4 x_3')$. Вероятностная функция P есть вероятность того, что булева функция истинна: $P\{f(x_1 \dots x_n) = 1\}$.

Аргументами булевой функции являются логические переменные – в данном случае это инициирующие события. Зная оценки вероятности возникновения инициирующих событий, можно рассчитать вероятность конечного события, но для этого необходимо произвести переход от логической модели к вероятностной.

Для того, чтобы перейти от булевой функции к вероятностной, следует представить $f(x_1 \dots x_n)$ в виде:

- СДНФ;
- ОДНФ;
- бесповторной функции в базисе конъюнкция-отрицание.

Проблема исходных данных является ключевой для любого аналитического метода.

Невозможность получения достоверных исходных данных может снизить и практическую ценность результатов применения данного метода. В рассматриваемом случае исходными данными являются вероятности инициирующих событий (ИС):

$R_i = P(z_i = 1)$. Вероятность того, что *i*-е ИС произойдет;

$Q_i = P(z_i = 0)$. Вероятность' того, что *i*-е ИС не произойдет.

Рассмотрим на примере процесс расчета вероятности сценария развития чрезвычайного происшествия на избирательном пункте в процессе голосования граждан. В таблице 1 представлен ряд инициирующих событий, которые могут послужить поводом развития негативной ситуации.

Таблица 1 – Исходные данные

Название ИС	Обозначение в формуле	Вероятность возникновения событий
Ошибка обслуживающего персонала	Z_1	0,08(R1)
Отказ по техническим причинам	Z_2	0,04(R2)
Отказ в результате иных причин	Z_3	0,02(R3)
Отсутствие запасного оборудования	Z_4	0,6(R4)
Непригодность помещения (перемещение избирательного участка)	Z_5	0,3(R5)
Отказ элементов системы «ГАС-Выборы»	Z_6	0,05(R6)
Отсутствие запасных элементов	Z_7	0,3(R7)

На рисунке 1 представлен сценарий развития в виде дерева событий, связанных между собой логическими операторами.

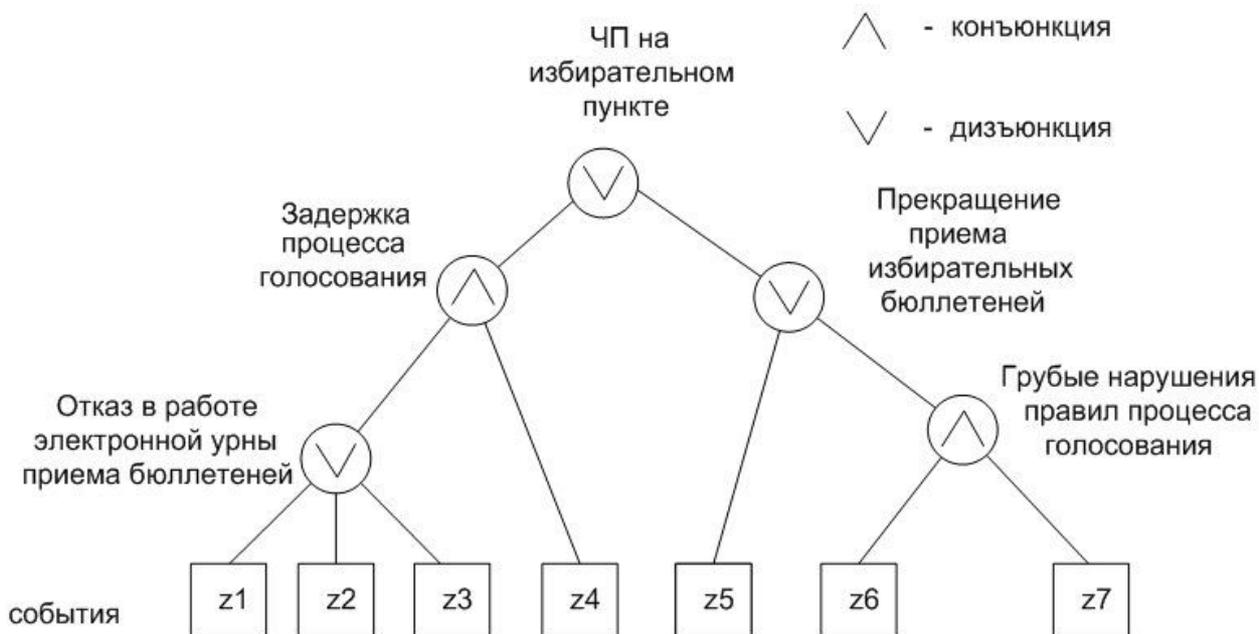


Рисунок 1 – Пример сценария развития ситуации на избирательном пункте

Пример расчетов

1. Запишем с помощью операторов булевой алгебры функцию, описывающую сценарий представленный на рисунке 1.

$$y(z_1...z_7) = z_4 (z_1 \vee z_2 \vee z_3) \vee (z_5 \vee z_6 z_7).$$

2. Функцию $y(z_1...z_7)$ заменяем вероятностной функцией. В данном простом примере можно привести ее к бесповторной функции в базисе конъюнкция, отрицание. Инвертируя $y(z_1...z_7)$ последовательно, получаем:

$$z_4(z_1 \vee z_2 \vee z_3) = z_4(z_1'z_2'z_3)'$$

$$(z_5 \vee z_6z_7) = (z_5'(z_6z_7)')'$$

$$y(z_1...z_7) = \{[z_4(z_1'z_2'z_3)']' \vee z_5'(z_6z_7)'\}' = \{\xi_1 \wedge \xi_2\}'.$$

Таким образом, функция $y(z_1...z_7)$ представлена в виде бесповторной булевой функции в базисе конъюнкция-отрицание. Переходим к вероятностной функции $P\{y(z_1...z_m) = 1\}$, при этом z_i заменяем на R_i , а z_i' на

$$Q_i = 1 - R_i:$$

$$\xi_1 = 1 - R_4(1 - Q_1Q_2Q_3)$$

$$\xi_2 = Q_5(1 - R_6R_7).$$

3. Ищем значение функции:

$$\xi_1 = 1 - 0,6(1 - 0,92*0,96*0,98) = 0,919$$

$$\xi_2 = 0,7(1 - 0,05*0,3) = 0,68$$

$$P\{y(z_1...z_7)=1\} = 1 - \xi_1 \xi_2 = 1 - 0,62 = \mathbf{0,38}.$$

Таким образом рассчитана вероятность того, что при заданных исходных вероятностях ИС ($z_1...z_7$) по заданному сценарию на избирательном пункте с вероятностью 0,39 произойдет ЧП, преимущественно связанное с техническими причинами.

При анализе сценариев развития ситуации могут использоваться несколько типов исходных данных:

– тактико-технические характеристики технических средств (например, к ним могут относиться электронные урны приема бюллетеней – отказ данных устройств может привести к срыву (задержке) выборов мероприятий);

– характеристики работы служб различных видов обеспечения процесса голосования (например, избирательной комиссии, обслуживающего персонала системы «ГАС-Выборы»);

– оценки вероятностей возникновения событий социального характера, которые могут иметь негативные последствия на ход мероприятий (как правило, для получения количественной оценки данной вероятности привлекается группа экспертов, строятся сложные многофакторные модели).

Проведение заблаговременного анализа предстоящих мероприятий позволяет выявить наиболее вероятные сценарии развития проблемных ситуаций. Исходя из этого, было бы целесообразно подготовить необходимые силы и средства СЦ, обеспечивающие решение возникающих задач.

Например, можно сформировать перечень средств необходимых при реализации того или иного сценария развития ситуации (в таблице 2 представлены условные вероятности использования средств ситуационного центра в зависимости от сценариев развития ситуации).

Таблица 2 – Сводная таблица средств и вероятностей их применения в определенных сценариях

Средства\сценарии	1	..	..	..	..	..	..	..	m
X1	P ₁₁	..	..	..	..	..	..	..	P _{1m}
..
..
..
..
..
..
Xn	P _{n1}	..	..	..	..	..	..	..	P _{nm}

P_{ij} – условная вероятность того, что средство X_i будет использоваться в j - м сценарии ($P(X_i / j)$);
 $i = 1..n$ – номер средства;
 $j = 1..m$ – номер сценария.

Зная вероятность реализации сценария и условную вероятность использования того или иного средства, можно рассчитать полную вероятность применения X_i -го средства в каждом из сценариев:

$$P(X_i) = P(X_i / j) * P(j),$$

где $P(X_i)$ – полная вероятность применения средства X_i ;

$P(X_i / j)$ – условная вероятность применения X_i средства в j сценарии;

$P(j)$ – вероятность сценария.

Таким образом, мы заблаговременно, построив возможный сценарий развития ситуации, получили количественную оценку вероятности того, что средство X_i будет востребовано при решении той или иной задачи ситуационного центра. В данном примере мы рассмотрели применение логико-вероятностных методов для моделирования сценариев развития ситуации, применение данной методики позволит повысить эффективность функционирования ситуационных центров за счет повышения оперативности реагирования ситуационного центра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы научно-практической конференции «Ситуационные центры и современные информационно-аналитические технологии поддержки принятия решений». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://iu5-02.polubotu.ru>
2. Хоффман Л. Дж. Современные методы защиты информации: Пер. с англ. / Под ред. В.А. Герасименко. – М.: Сов. радио, 1980. – 264 с.
3. Коваль Е.В., Кудинов Е.В., Лаврентьев А.В. Экспертная система для оценки уровня информационной защищенности объектов. – К.: «Изв. вузов. Радиоэлектроника». – 1998. – С.122-123.
4. Методические рекомендации участковой избирательной комиссии/Под ред. журнала «Местная Власть», – Ростов-на-Дону, Институт развития избирательных систем (ИРИС). – Москва; Издательский дом «Коммерсантъ», 2001.
5. И.А. Рябинин. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника. – 2000. – 84 с.

6. Коласс Б. Управление финансовой деятельностью предприятия. Проблемы, концепции и методы: учебн. пособие / Пер. с франц. – М.: Финансы, ЮНИТИ, 1997. –576 с.

Сазонов Михаил Анатольевич
Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук, преподаватель
Тел. (4862) 41-99-32
E-mail: sma77@list.ru

Пыж Максим Николаевич

Академия ФСО России, г. Орел
Курсант
Тел. (4862) 41-99-32
E-mail: sma77@list.ru

Кузьменко Надежда Олеговна

Академия ФСО России, г. Орел
Курсант
Тел. (4862) 41-99-32
E-mail: sma77@list.ru

МОДЕЛЬ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ СУБЪЕКТОВ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Предлагается модель обнаружения аномального поведения субъекта в процессе его взаимодействия с ИВС, учитывающая индивидуальный характер точности оценки аномальности для каждого субъекта.

Ключевые слова: обнаружение атак; обнаружение аномального поведения; компьютерная безопасность.

The model of detection of abnormal behaviour of the subject in the course of its interaction with computer system considering individual character of accuracy of an estimation of anomaly for each subject is offered.

Keywords: Intrusion detection; abnormal behavior detection; computer safety.

Задача разработки модели обнаружения аномального поведения заключается в аналитическом описании процессов обнаружения признаков индивидуальности взаимодействия пользователей с ИВС и принятия достоверных решений о его нормальности с целью их последующей реализации и оценки эффективности.

Математическая модель обнаружения аномального поведения субъекта в процессе его взаимодействия с ИВС учитывает следующие особенности описываемой предметной области, установленные в ходе анализа процесса обнаружения аномального поведения и отражающие ее новизну:

– значения признаков поведения субъектов, отражающих индивидуальность процесса их взаимодействия с ИВС, подчиняются усеченному (в положительной области) нормальному закону распределения;

– поведение каждого субъекта характеризуется множеством частных (собственных) признаков $\{N\}$, что обосновывает необходимость разработки автоматического алгоритма их обнаружения на основе анализа обучающей выборки данных аудита;

– процедура выбора признаков индивидуальности процесса взаимодействия субъекта с ИВС заключается в расчете весовой функции параметров обнаружения, учитывающей вклад каждого признака в результат оценки поведения субъекта путем ее включения в решающее правило;

– значения и размер частного множества признаков индивидуальности определяют индивидуальный характер точности оценки аномальности для каждого субъекта, что обосновывает необходимость оценки значений вероятности ошибок первого и второго рода на этапе обучения с целью сокращения исходного множества признаков $\{M\}$ до достаточного $\{N\}$; определение факта преднамеренного «саботажа» системы обнаружения аномалий.

Особенность признаков поведения субъектов ИВС, характеризующихся размытыми и пересекающимися областями распознавания принадлежащих конкретным классам пользователей, обосновывает целесообразность применения строго определенных средств описания пространства признаков. Нестабильность воспроизведения статических и динамических характеристик процесса взаимодействия «человек-ИВС» приводит к размыванию образа объекта распознавания в признаковом пространстве [1].

В результате проведенного сравнительного анализа для описания индивидуальности процесса взаимодействия «человек-ИВС» выбраны вероятностные признаки. Профиль поведения субъекта ИВС характеризуется множеством вероятностных признаков $\{M\}$, образующих вектор случайных величин $\mathbf{r} = [r_1, r_2, r_3, \dots, r_M]$. Тогда совместная плотность вероятности нескольких случайных величин r связана с функцией распределения $P(r_1, r_2, r_3, \dots, r_M)$ следующим выражением:

$$P(r_1, r_2, r_3, \dots, r_M) = \int_{-\infty}^{r_1} \int_{-\infty}^{r_2} \int_{-\infty}^{r_3} \dots \int_{-\infty}^{r_M} p(r_1, r_2, r_3, \dots, r_M) d r_1 d r_2 d r_3, \dots, d r_M \quad (1)$$

Если существует $p(r_1, r_2, r_3, \dots, r_M)$ вектора \mathbf{r} , то для независимости вероятностных признаков, входящих в данный вектор, необходимо и достаточно, чтобы совместная плотность вероятности была равна произведению плотности вероятности отдельных признаков [3]. Проведенный анализ параметров профиля поведения показал, что признаки обладают существенными корреляционными связями и принятие решения отдельно по каждому параметру профиля поведения приводит к ошибкам распознавания. Для уменьшения ошибок предлагается на этапе обучения СР реализовать процедуру оценки совместной функции плотности вероятности $p(r_1, r_2, r_3, \dots, r_M)$ для каждого субъекта.

Анализ методов обнаружения аномального поведения субъектов ИВС, показал, что наиболее эффективной и легко осуществимой технологией классификации является процедура, основанная на отнесении текущего профиля поведения субъекта \mathbf{r} только к двум классам: «Свой» или «Чужой». Данная процедура наиболее точно соответствует классической задаче подтверждения подлинности пользователей вычислительной сети, состоящей из этапов идентификации и аутентификации, что позволяет избежать зависимости времени принятия решения и надежности обнаружения от размера множества легитимных пользователей $\{K\}$. Эта схема позволяет привести априорный алфавит классов $\{K\}$ к именованному алфавиту «Свой-1», «Свой-2», ..., «Свой- K » и дополнительному гипотетическому классу «Чужой», характеризующему потенциально возможных посторонних пользователей $k_i \notin \{K\}$, а также легитимных пользователей $k_i \in \{K\}$, кроме k_n , где n – идентификационный номер распознаваемого пользователя. Таким образом, предлагается свести задачу оценки степени аномальности поведения субъекта к задаче проверки двух гипотез [2], в которой каждое значение множества индивидуальных признаков профиля поведения $\{N\}$, характеризующих процесс взаимодействия «человек-ИВС», соответствует одной из двух гипотез – «Нормальное» или «Аномальное». Модель процесса оценки степени аномальности поведения субъектов ИВС представлена на рисунке 1.

Источник событий S представляет собой последовательность записей о действиях субъектов ИВС $\{P\} = \{K\} \cup \{H\}$ создаваемых системой аудита. Где $\{H\}$ – множество нарушителей (пытающихся) действующих под чужими идентификаторами. Выход источника соответствует совокупности значений признаков профиля поведения $\{M\}$, которые отображаются как точка θ в M -мерном пространстве параметров. В пространстве M гипотезы представляют собой подпространства χ : «Свой-1», «Свой-2», ..., «Свой- K ». Каждой гипотезе χ соответствует совокупность точек, однозначно определяющих положение и размер χ в M . Отображение M в пространство наблюдений Z осуществляется согласно условной функции плотности вероятности $p(\mathbf{r}/\theta)$, которая предполагается известной для всех значений θ в пространстве M . Правило решения разделяет пространство

наблюдений Z на две части, соответствующие двум возможным исходам: «Свой»=«Нормальное поведение» – гипотеза H_1 или «Чужой»= «Аномалия» – гипотеза H_0 . При этом граница разделяющей поверхности $f_n(Z)$ проводится между областью именованного объекта k_n , определяемого на этапе идентификации, и областью «Все чужие», в которую также входят $k_i \in \{K\}$ кроме k_n .

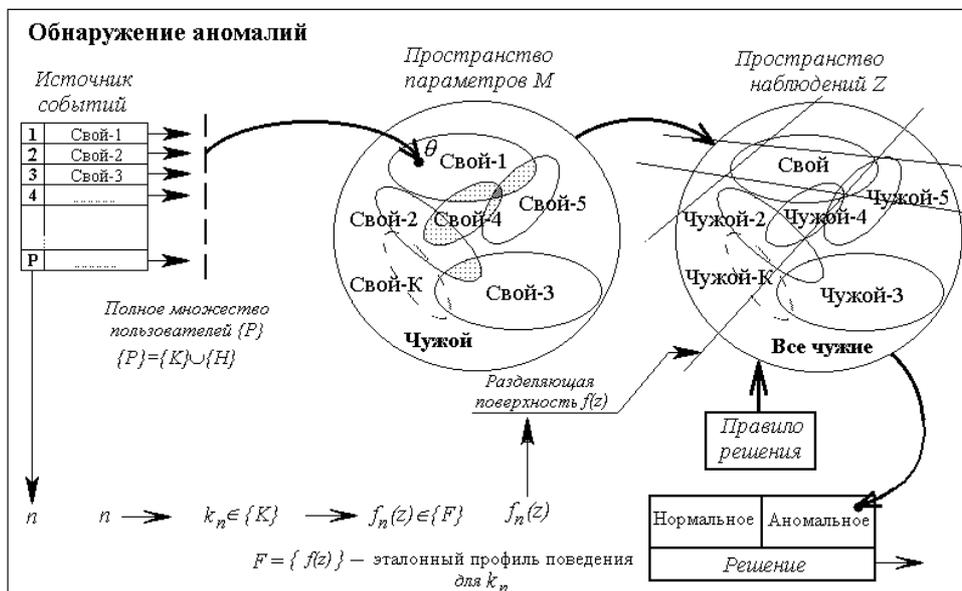


Рисунок 1 - Модель процесса оценки степени аномальности поведения субъектов ИВС

Для формирования оптимального решающего правила предлагается использовать критерий Байеса (Bayes) [2] для двухальтернативной задачи распознавания при числе классов $K = 2$. Данный критерий позволяет учесть дополнительную априорную информацию о классах распознавания и исходные данные, полученные при обучении. Выходные значения параметров источника событий S подчиняются некоторым распределениям вероятностей P_0 и P_1 . При этом каждому возможному решению приписывается некоторая стоимость потерь

$\left\{ \begin{matrix} \Pi_{00} & \Pi_{01} \\ \Pi_{10} & \Pi_{11} \end{matrix} \right\}$, где Π_{kl} , $0 \leq k, l \leq 1$, количественно выражает потери от принятия решения

H_k , когда в действительности профиль текущего поведения \mathbf{r} принадлежит классу H_l . Поскольку каждое решение системы обнаружения будет связано с определенными потерями, необходимо, чтобы правило решения было построено таким образом, чтобы в среднем эти потери были как можно меньше. Если обозначить ожидаемую величину потерь как риск R , то

$$R = \sum_{k=0}^{K-1} P_k \sum_{l=0}^{K-1} \Pi_{kl} P(H_k / H_l), \quad (2)$$

где $P(H_k/H_l)$ – вероятность принятия решения о принадлежности профиля текущего поведения \mathbf{r} к классу H_k , когда в действительности она принадлежит к классу H_l . При $k = l$ решение является истинным, в противном случае нет. Учитывая, что стоимость ошибочно принятых решений выше, чем стоимость правильных решений ($\Pi_{10} > \Pi_{00}$, $\Pi_{01} > \Pi_{11}$), вероятностный механизм перехода определяет точки в пространстве наблюдений Z в соответствии с двумя известными условными плотностями вероятностей $p(\mathbf{r}/H_0)$ и $p(\mathbf{r}/H_1)$ и решающее правило формализуется таким образом, чтобы величина байесовского риска (2) была сведена к минимуму; окончательное выражение байесовского критерия принимает следующий вид [2]:

$$L(\mathbf{r}) = \frac{p(\mathbf{r} / H_1)}{p(\mathbf{r} / H_0)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \frac{P_0(\Pi_{10} - \Pi_{00})}{P_1(\Pi_{01} - \Pi_{11})}, \quad (3)$$

где $L(\mathbf{r})$ – отношение правдоподобия; верхнее неравенство соответствует решению о принадлежности профиля текущего поведения \mathbf{r} классу H_1 , нижнее – классу H_0 . Величина в левой части неравенства (3) представляет собой отношение двух функций случайной величины \mathbf{r} , поэтому $L(\mathbf{r})$, так же является случайной величиной. Независимо от размерности \mathbf{r} величина $L(\mathbf{r})$ является одномерной. Отношение в правой части (3) является порогом испытания η :

$$\eta = \frac{P_0(\Pi_{10} - \Pi_{00})}{P_1(\Pi_{01} - \Pi_{11})}. \quad (4)$$

Выбор порога принятия решения (ППР) η заключается в расчете отношения (4) на основе априорных вероятностей классов и стоимости потерь для конкретной СР. Для системы обнаружения аномального поведения пользователей значения P_0 и P_1 определяются вероятностью доступа к ИВС нарушителя.

В общем случае на выбор значения порога η оказывают влияние ряд объективных факторов, определяемых условиями функционирования системы защиты информации от НСД, такие, как структура подсистемы мониторинга безопасности и обнаружения атак S , заданный уровень доступа каждого пользователя, стоимость защищаемой информации G , доступный вычислительный ресурс R , система требований к достоверности, оперативности, ресурсоемкости процесса обнаружения аномального поведения B . Сложность формализации перечисленных выше факторов делает нецелесообразным определение η как фиксированного порога для любой системы защиты информации от НСД. Задача определения порога принятия решения заключается в расчете значения η не только индивидуально для каждой системы защиты информации от НСД, но и для каждого субъекта ИВС. Значение η является составной частью эталонного профиля поведения.

Для решения данной задачи предлагается привести критерий Байеса (3) к критерию максимального правдоподобия (КМП) [2]:

$$L(\mathbf{r}) \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \eta. \quad (5)$$

Таким образом, процесс оценки степени аномальности поведения субъектов ИВС реализован на основе решающего правила (5), заключающегося в вычислении величины $L(\mathbf{r})$ и сравнении с переменным порогом η , учитывающим изменения значений априорных вероятностей доступа пользователей $\{P\}$ и стоимостей ошибочных решений при изменении условий функционирования системы обнаружения. При $L(\mathbf{r}) \geq \eta$ принимается решение: поведение пользователя «Нормальное», в противном случае, при $L(\mathbf{r}) < \eta$: поведение пользователя «Аномально» и администратору безопасности выдается сообщение для принятия решения. Первоначальное значение порога η полагается равным единице.

Задача разработки процедуры формирования весовой функции параметров обнаружения заключается в определении: при каких условиях значения параметров профиля поведения являются признаками индивидуальности процесса взаимодействия «человек-ИВС» пользователей; критерия отнесения множества

параметров к ограниченной совокупности признаков; математического выражение для описания веса признака в множестве $\{N\}$; условие учета признаков индивидуальности в выражении решающего правила.

При нормальном распределении значений множества параметров обнаружения $\{M\}$ построение эталонов для классов «Свой» и «Чужой» существенно упрощается, поскольку вместо сложных процедур формирования оценок условных многомерных плотностей вероятностей достаточно вычислить по обучающим выборкам данных аудита \mathbf{r}_i из класса n выборочный вектор средних

$$\mathbf{m}_n = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \mathbf{r}_i, \quad \mathbf{r}_i^T = (r_{1i}, r_{2i}, r_{3i}, \dots, r_{im}) \quad (6)$$

и выборочную ковариационную матрицу

$$\mathbf{K}_n = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D (\mathbf{r}_i - \mathbf{m}_n)(\mathbf{r}_i - \mathbf{m}_n)^T, \quad (7)$$

которые являются оценками максимального правдоподобия вектора средних \mathbf{m}_n и ковариационной матрицы \mathbf{K}_n рассматриваемой нормальной совокупности параметров [2]. Выборочные вектор средних (6) и матрица (7) являются состоятельными оценками, причем (6) кроме того, еще несмещенная оценка, тогда как (7) смещенная, поскольку ее среднее значение равно

$$m_1\{\mathbf{K}_k\} = [(D-1)/D]\mathbf{K}_n. \quad (8)$$

Несмещенная оценка \mathbf{K}_n получается умножением (7) на $(D/(D-1))$, тогда

$$\mathbf{K}_n = \frac{1}{D-1} \sum_{i=1}^D (\mathbf{r}_i - \mathbf{m}_n)(\mathbf{r}_i - \mathbf{m}_n)^T. \quad (9)$$

Таким образом, выборочный вектор средних \mathbf{m}_n многомерной нормальной совокупности \mathbf{r} распределен по нормальному закону со средним значением, равным точному значению \mathbf{m}_n , и дисперсией \mathbf{K}_n/D [2].

Для проведения дальнейших вычислений необходимо ввести матрицу \mathbf{Q}_n обратную матрице \mathbf{K}_n , тогда

$$\mathbf{Q}_n = \mathbf{K}_n^{-1}, \quad (10)$$

$$\mathbf{Q}_n \mathbf{K}_n = \mathbf{K}_n \mathbf{Q}_n = \mathbf{I}, \quad (11)$$

где \mathbf{I} – единичная матрица. Учитывая, что n принимает значение 0 для класса «Чужой» и 1 для класса «Свой», выражение плотности вероятности нормального случайного вектора \mathbf{r} принимает следующий вид [2]:

по гипотезе H_1

$$p(\mathbf{r} / H_1) = [2\pi^{M/2} |\mathbf{K}_1|^{1/2}]^{-1} \times \exp[-\frac{1}{2}(\mathbf{r}^T - \mathbf{m}_1^T) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{r} - \mathbf{m}_1)], \quad (12)$$

по гипотезе H_0

$$p(\mathbf{r} / H_0) = [2\pi^{M/2} |\mathbf{K}_0|^{1/2}]^{-1} \times \exp[-\frac{1}{2}(\mathbf{r}^T - \mathbf{m}_0^T) \mathbf{Q}_0 (\mathbf{r} - \mathbf{m}_0)]. \quad (13)$$

Для получения решающего правила на основе априорно неизвестных параметров предлагается заменить истинные значения \mathbf{m}_1 , \mathbf{m}_0 , \mathbf{K}_1 , \mathbf{K}_0 эталонного профиля поведения их оценками (6) и (7), полученными на этапе обучения. Тогда КМП (5) записывается в следующем виде:

$$L(\mathbf{r}) = \frac{p(\mathbf{r} / H_1)}{p(\mathbf{r} / H_0)} = \frac{|\mathbf{K}_0|^{1/2} \times \exp[-\frac{1}{2}(\mathbf{r}^T - \mathbf{m}_1^T) \mathbf{Q}_1 (\mathbf{r} - \mathbf{m}_1)]}{|\mathbf{K}_1|^{1/2} \times \exp[-\frac{1}{2}(\mathbf{r}^T - \mathbf{m}_0^T) \mathbf{Q}_0 (\mathbf{r} - \mathbf{m}_0)]} \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \eta. \quad (14)$$

Для удобства анализа экспоненциальной зависимости целесообразно прологарифмировать (14). Тогда в результате математического преобразования (14) получается статистическое правило решения для нормально распределенных многомерных случайных величин, которое заключается в следующем: наблюдаемый профиль текущего поведения $\mathbf{r}^T = [r_1, r_2, r_3, \dots, r_M]$ принадлежит классу «Свой», если

$$\frac{1}{2}(\mathbf{r}^T - \mathbf{m}_0^T)\mathbf{Q}_0(\mathbf{r} - \mathbf{m}_0) - \frac{1}{2}(\mathbf{r}^T - \mathbf{m}_1^T)\mathbf{Q}_1(\mathbf{r} - \mathbf{m}_1) \geq \ln \eta + \frac{1}{2} \ln |\mathbf{K}_1| - \frac{1}{2} \ln |\mathbf{K}_0|, \quad (15)$$

и к классу «Чужой», если выполняется противоположное неравенство, где $|\mathbf{K}_0|$ и $|\mathbf{K}_1|$ – определители M -го порядка соответствующих матриц. Из (15) видно, что процедура распознавания заключается в расчете разности между двумя квадратичными формами и сравнении результата с переменным порогом. Таким образом, задача обнаружения аномалий заключается в следующем:

– полное множество $\{P\}$ потенциальных нарушителей $k_i \notin \{K\}$ а также легитимных пользователей $k_i \in \{K\}$ кроме k_n , где n – идентификационный номер оцениваемого пользователя, принадлежат к классу «Чужой» и описываются значением эталона \mathbf{m}_0 и \mathbf{K}_0 ;

– каждый легитимный пользователь $k_n \in \{K\}$ принадлежит к именованному классу «Свой» и описывается значением эталонов \mathbf{m}_n и \mathbf{K}_n .

Решение о принадлежности профиля текущего поведения \mathbf{r} к классам распознавания «Свой» или «Чужой» реализуется путем расчета неравенства (15). Требуется определить выражение для учета признаков индивидуальности в решающем правиле (15).

Существуют частные задачи распознавания, в которых становится возможным существенно упростить выражение (15) за счет равенства векторов средних $\mathbf{m}_0 = \mathbf{m}_1$ и/или ковариационных матриц $\mathbf{K}_0 = \mathbf{K}_1$ [2]. Анализ задачи обнаружения аномального поведения субъектов ИВС, проведенный в данном исследовании, показал, что вектора средних и ковариационные матрицы для различных пользователей не обладают описанным выше свойством. Тем не менее, для формирования весовой функции параметров предлагается рассмотреть наиболее важный случай, который заключается в статистической независимости параметров r_i , имеющих различные дисперсии. Особенность данной задачи заключается в том, что ковариационная матрица \mathbf{K} и обратная ей матрица \mathbf{Q} становятся диагональными матрицами:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & 0 \\ & \sigma_2^2 & \\ 0 & & \sigma_M^2 \end{bmatrix}, \quad (2.28) \quad \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & & 0 \\ & \frac{1}{\sigma_2^2} & \\ 0 & & \frac{1}{\sigma_M^2} \end{bmatrix}, \quad (16)$$

где σ_i^2 – дисперсия i -го признака вектора \mathbf{r} , а правило решения (15) преобразуется к виду

$$L(\mathbf{r}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \frac{(r_i - m_{i0})^2}{\sigma_{i0}^2} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \frac{(r_i - m_{i1})^2}{\sigma_{i1}^2} \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \ln \eta + \frac{1}{2} \ln \sum_{i=1}^M \sigma_{i1}^2 - \frac{1}{2} \ln \sum_{i=1}^M \sigma_{i0}^2. \quad (17)$$

Как видно из (17), разностные компоненты в левой части неравенства участвуют в формировании величины $L(\mathbf{r})$ со своими весами, значения которых

обратно пропорциональны дисперсиям σ_i^2 соответствующих параметров r_i . Величина дисперсии σ_i^2 определяется способностью каждого субъекта стабильно воспроизводить значения эталонных параметров обнаружения $\{M\}$ при каждом сеансе работы. Чем выше стабильность воспроизведения $\{M\}$, тем меньше значение дисперсии σ_i^2 . При этом параметр $r_i \in \mathbf{r}$, который имеет максимальное значение σ_i^2 , вносит наименьший вклад в формирование суммы по каждой гипотезе в левой части неравенства (17), а следовательно, и в результат формирования решения.

Таким образом, для выбора частного множества признаков индивидуальности $\{N\}$ предлагается в качестве критерия оценки информативности множества параметров $\{M\}$ использовать максимум стабильности их воспроизведения каждым субъектом $\{K\}$, то есть минимум дисперсии σ_i^2 . Анализ характеристик процесса взаимодействия «человек-ИВС», показал, что приведенная выше гипотеза о статистической независимости параметров обнаружения является несостоятельной. Данные параметры обладают определенными корреляционными связями, индивидуальными для каждого из субъектов и требующими их учета при выборе множества $\{N\}$. Поэтому элементы главной диагонали ковариационной матрицы \mathbf{K} отличаются от значений дисперсий σ_i^2 параметров r_i , а нулевые элементы приобретают числовые значения, отражающие степень их корреляции.

Таким образом, задача расчета весовой функции параметров обнаружения $\{N\}$ заключается в вычислении матрицы \mathbf{Q} для каждого пользователя на основе анализа обучающей выборки данных аудита. Сущность данной задачи заключается в следующем. На начальном этапе формируется обучающая выборка значений параметров обнаружения $\{M\}$ для пользователя $k_n \in \{K\}$. Используя оценки (6) и (7), рассчитываются эталонные \mathbf{m}_n и \mathbf{K}_n . Получение весовой функции параметров \mathbf{Q}_n осуществляется путем обращения матрицы \mathbf{K}_n . При этом устойчивость процедуры обращения определяется порядком матрицы $\mathbf{K}_n - M$. С ростом M устойчивость снижается, приводя к ошибочным значениям весовой функции. Необходимость устранения данного недостатка обосновывает применение дополнительных средств регуляризации процедур обращения матриц высокого порядка, направленных на повышение точности значений \mathbf{Q}_n .

Использование обратной матрицы \mathbf{Q}_n для формирования частного множества признаков индивидуальности процесса взаимодействия «человек-ИВС» обладает следующими преимуществами:

- способность каждого пользователя $k_n \in \{K\}$ стабильно воспроизводить значение каждого параметра обнаружения $\{M\}$ характеризуется ковариационной матрицей \mathbf{Q}_n , которая также является и эталоном для k_n , что не требует дополнительного вычислительного и временного ресурса для расчета весовой функции параметров;

- использование \mathbf{Q}_n для оценки информативности параметров обнаружения $\{M\}$ позволяет учесть существующие корреляционные связи данных параметров на этапе принятия решения;

- процедура взвешивания множества параметров $\{M\}$ включена в процедуру принятия решения на основе вычисления неравенства (15), которая является оптимальным решающим правилом [2];

– расчет Q_n на основе (7) и (10) является автоматической процедурой, что позволяет формировать множество $\{N\}$ индивидуально для каждого пользователя на этапе обучения системы обнаружения.

Таким образом, в результате расчета оценок (6) и (7) на основе обучающих выборок данных аудита о действиях пользователей $k_n \in \{K\}$ получены эталонные m_n и K_n . Имеется решающее правило (15), обеспечивающее учет признаков индивидуальности процесса взаимодействия «человек-ИВС» пользователей путем взвешивания параметров обнаружения $\{M\}$ в соответствии с критерием максимума стабильности воспроизведения значений эталонов пользователями при каждом сеансе работы. Весовая функция параметров обнаружения формируется на основе расчета Q_n путем обращения матрицы. Задача обращения матриц высокого порядка требует применения дополнительных средств регуляризации процедур вычисления обратных матриц.

Задача разработки средств автоматического обнаружения признаков индивидуальности процесса взаимодействия «человек-ИВС» пользователя $\{N\}$ заключается в следующем: на основе анализа модели обнаружения аномального поведения пользователей разработать адаптивный алгоритм выбора и обоснования достаточности частного множества признаков обнаружения, адекватно отражающих уникальность этого процесса для обеспечения точности обнаружения, не ниже заданной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.П. Обнаружение нарушителя на основе выявления аномалий. Формализация задачи. Проблемы информационной безопасности // Компьютерные системы. – 1999. – № 1. – с.44-49.
2. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том I: Теория обнаружения, оценок и линейной модуляции: Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1972. – 744 с.
3. Купер Дж., Макгилемм К. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. – М.: Мир, 1989. – 376 с.

Сергей Владимирович Можин

Академия ФСО России, г. Орел

Преподаватель

Тел. (4862) 41-99-33

E-mail: kattz@rambler.ru

И.С. КОНСТАНТИНОВ, А.А. СТЫЧУК, С.С. МОЗГОВ, А.С. ЗАСИМОВ

РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ИНТЕРНЕТ-СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ ДОКУМЕНТОВ

В статье рассмотрена проблема обеспечения конфиденциальности документов в процессе документооборота. Представлен возможный путь решения проблемы конфиденциальности документов при современном документообороте – разработка специализированного Интернет-сайта системы обеспечения конфиденциальности документов. Описано решение одной из наиболее важных задач при создании Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов – разработка и исследование организационной структуры данной системы.

Ключевые слова: интернет-система; конфиденциальность; документ; документооборот; система электронного документооборота; печатный документ; интернет-сайт; авторизация.

In article the problem of maintenance of confidentiality of documents in the course of document circulation is considered. The possible way of the decision of a problem of confidentiality of documents is presented at modern document circulation – working out of a specialised Internet site of system of maintenance of confidentiality of documents. The decision of one of the most important problems is described at creation of The Internet system of maintenance of confidentiality of documents – working out and research of organizational structure of the given system.

Keywords: internet-system; confidentiality; document; document circulation; system of electronic document circulation; printing document; internet-site; authorization.

ВВЕДЕНИЕ

Конфиденциальность информации, в соответствии с Федеральным законом РФ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации», – обязательное для выполнения лицом, получившим доступ к определенной информации, требование не передавать такую информацию третьим лицам без согласия ее обладателя. Базовый элемент любой системы документооборота – документ. Внутри системы электронного документооборота (СЭД) документом может быть файл, а может быть запись в базе данных. Говоря о конфиденциальном документообороте, часто подразумевают именно защиту документов, защиту той информации, которую они в себе несут. В этом случае все сводится к задаче защиты данных от несанкционированного доступа.

Одним из возможных путей решения проблемы конфиденциальности документов современного документооборота может быть разработка специализированного Интернет-сайта системы обеспечения конфиденциальности документов. На данном сайте необходимо разместить описание предоставляемых услуг, а также возможность регистрации для потенциальных клиентов (заказчиков). Заказчиками могут быть все организации и частные лица, желающие обеспечить конфиденциальность обращения своих документов. Зарегистрированные клиенты получают доступ к возможностям программной системы, размещенным на Интернет-сайте.

Для обеспечения функционирования Интернет-сайта необходимо создание целой системы разработки, обслуживания и поддержки предоставляемых услуг, которая должна включать технические, программные, организационные, информационные и методические средства. Интернет-система обеспечения

конфиденциальности документов [1] позволит эффективно противодействовать нештатным, ошибочным и противоправным действиям легальных участников документооборота, предотвратить противоправные информационные и материальные вложения в легальную корреспонденцию со стороны посторонних лиц, исключить ошибки при пересылке, регистрации и получении корреспонденции [2].

Целью данной статьи является описание разработанной организационной структуры Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

К защите системы электронного документооборота необходим комплексный подход, который подразумевает защиту на всех уровнях СЭД. Начиная от защиты физических носителей информации, данных на них, и заканчивая организационными мерами.

Таким образом, необходимо защищать, во-первых, аппаратные элементы системы. Это компьютеры, серверы, элементы компьютерной сети и сетевое оборудование (как активное – маршрутизаторы, свитчи (switch) и т.д., так и пассивное – кабели, розетки и т.д.). Необходимо предусмотреть такие угрозы, как поломка оборудования, доступ злоумышленника к оборудованию, отключение питания и т.д.

Во-вторых, защита необходима файлам системы. Это файлы программного обеспечения и базы данных, уровень между аппаратными устройствами системы и логическими элементами системы и физическими составляющими. В противном случае появляется возможность влияния злоумышленником или внешними обстоятельствами на файлы СЭД, не проникая в систему, т.е. как бы снаружи. Например, файлы базы могут быть скопированы злоумышленником или повреждены в результате сбоя операционной системы или оборудования. В-третьих, необходимо защищать документы и информацию, находящиеся внутри системы.

Используя такой подход, можно построить систему, защищенную на всех уровнях, и рубежи обороны от угроз на каждом уровне. Стоимость подобной защиты может сравняться со стоимостью самой СЭД, поэтому всегда нужно искать разумный баланс между безопасностью и стоимостью.

Угрозы для системы электронного документооборота достаточно стандартны и могут быть классифицированы следующим образом. Угроза целостности – повреждение и уничтожение информации, искажение информации – как не намеренное в случае ошибок и сбоев, так и злоумышленное. Угроза конфиденциальности – это любое нарушение конфиденциальности, в том числе кража, перехват информации, изменения маршрутов следования. Угроза работоспособности системы – всевозможные угрозы, реализация которых приведет к нарушению или прекращению работы системы; сюда входят как умышленные атаки, так и ошибки пользователей, а также сбои в оборудовании и программном обеспечении.

Защиту именно от этих угроз в той или иной мере должна реализовывать любая система электронного документооборота. При этом, с одной стороны, при внедрении СЭД, упорядочивании и консолидации информации увеличиваются риски реализации угроз, но с другой стороны, упорядочение документооборота позволяет выстроить более качественную систему защиты.

В целом можно выделить несколько основных групп источников угроз: легальные пользователи системы, административный IT-персонал, внешние

злоумышленники. Возможна реализация угроз от легальных пользователей в разных классах: угрозы конфиденциальности, угрозы целостности. Пользователь системы – это потенциальный злоумышленник, он может сознательно или не сознательно нарушить конфиденциальность информации. Особая группа – это административный IT-персонал или персонал службы IT-безопасности. Эта группа, как правило, имеет неограниченные полномочия и доступ к хранилищам данных, поэтому к ней нужно отнестись с особым вниманием. Они не только имеют большие полномочия, но и наиболее квалифицированы в вопросах безопасности и информационных возможностей. Согласно многочисленным исследованиям, от 70 до 80% потерь от преступлений приходится на атаки изнутри. Набор внешних злоумышленников сугубо индивидуален. Это могут быть и конкуренты, и партнеры, и даже клиенты.

Любая СЭД, претендующая на звание «защищенной», должна как минимум предусмотреть механизм защиты от основных ее угроз: обеспечение сохранности документов, обеспечение безопасного доступа, обеспечение подлинности документов, протоколирование действия пользователей.

Огромным преимуществом для конфиденциальности информации обладают криптографические методы защиты данных. Их применение позволяет не нарушить конфиденциальность документа даже в случае его попадания в руки стороннего лица. Любой криптографический алгоритм обладает таким свойством, как криптостойкость. Нет шифров, которые нельзя было бы взломать – это вопрос только времени и средств. Те алгоритмы, которые еще несколько лет назад считались надежными, сегодня уже успешно демонстративно взламываются.

Кроме того, не стоит забывать об организационных мерах защиты. Какой бы эффективной криптография не была, ничто не помешает третьему лицу прочитать документ, стоя за плечом человека, который имеет к нему доступ. Или расшифровать информацию, воспользовавшись ключом, который находится в столе сотрудника.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать функциональные требования к разрабатываемой Интернет-системе обеспечения конфиденциальности документов (ИСОКД):

1. ИСОКД должна обеспечивать безопасное и надежное хранение электронных документов.
2. Хранение документов осуществляется централизованно на файловом сервере, или децентрализованно на различных файловых хранилищах.
3. Доступ к серверу осуществляется через сеть Интернет.
4. На всех этапах взаимодействия клиента с хранилищем через публичные сети необходимо обеспечить безопасный и конфиденциальный информационный обмен.
5. ИСОКД должна быть реализована с поддержкой многоязыкового интерфейса на основе языковых констант, что позволит добавлять языковое представление информации по мере необходимости.
6. ИСОКД должна включать в свой состав механизм защиты от взлома простым подбором паролей (brute force).
7. ИСОКД должна предоставлять механизм регистрации новых пользователей.
8. ИСОКД должна поддерживать различные средства доступа к файловым хранилищам (SSH (SCP, SSHFS), FTP (SFTP), WebDAV, Web(HTTP, HTTPS)).
9. ИСОКД должна реализовывать поддержку хотя бы одного протокола,

позволяющего в различных операционных системах осуществлять подключение удаленного хранилища документов в качестве локальной папки.

10. Все данные, хранящиеся в системе, должны шифроваться алгоритмами, позволяющими предотвратить несанкционированный доступ к личным данным, в том числе и со стороны администраторов системы.

11. В систему необходимо добавить как можно больше механизмов осуществления платежей через сеть Интернет.

Для обеспечения реализации и сопровождения Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов предполагается решение следующих задач:

1. Задачи по разработке и поддержке программной системы:

- создание и отладка программной системы
- создание и отладка Интернет-сайта;
- поддержание базы данных технических устройств (принтеров, сканеров и т. д.) в актуальном состоянии;
- модификация и исправление алгоритмов кодирования информации с целью защиты от подделок.

2. Задачи маркетинга:

- создание сети продаж;
- реклама;
- анализ сбыта услуг.

3. Сервисное обслуживание:

- мониторинг технических средств заказчиков (принтеров, сканеров и т. д.);
- ведение баз данных;
- сбор информации от клиентов;
- регистрация ошибок и нештатных ситуаций.

4. Обучение эксплуатации системы.

Предполагается два типа взаимодействия пользователей с программной системой через Интернет-сайт:

- организация хранения информации о кодируемых печатных документах (ПД) в базе данных, создаваемой внутри структуры программной системы;
- организация хранения информации о ПД внутри базы данных клиента, расположенной удаленно от программной системы, с целью обеспечения более высокого уровня конфиденциальности доступа к данным.

При организации удаленного хранения информации необходимо обучение персонала клиента основам работы с создаваемым прикладным программным обеспечением. В рамках обучения планируется знакомство со структурой баз данных документов, хранящихся внутри программной системы, с основными алгоритмами и их возможностями, используемыми в прикладном программном обеспечении, с основами создания прикладного интерфейса программных продуктов, специфицированных под документооборот клиента, и их взаимодействие с программной системой (Интернет-сайтом и базами данных).

Для реализации поставленных задач предлагается использовать следующую организационную структуру Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов [2]:

1. Аппарат управления (администрация, менеджмент, хозяйственное обслуживание).

2. Группа разработчиков сайта (реализация задач по разработке и поддержке программной системы).

3. Группа маркетинга предоставляемых на сайте услуг (реализация задач маркетинга).

4. Сервисный центр (реализация задач сервисного обслуживания). Сервисный центр будет включать: механизм обратной связи на сайте, а также операторский центр (call-центр) для обслуживания клиентов по телефону.

5. Учебный центр (реализация задач обучения эксплуатации системы).

Логическая схема построения Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов представлена на рисунке 1.

Архитектура Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов представлена на рисунке 2.

Разработана подсистема авторизации пользователей, включающая в свой состав механизм защиты от взлома простым подбором паролей (brute force). Экранная форма разрабатываемого Интернет-сайта приведена на рисунке 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможными путями решения существующих проблем по обеспечению конфиденциальности в современном документообороте можно назвать такие, как усовершенствование электронных цифровых подписей (ЭЦП), создание высокоэффективных алгоритмов и технологий кодирования (декодирования) для нанесения специальных маркеров на бумажный носитель и последующей идентификации этих документов. Еще одним путем решения можно назвать исследования и разработки методов генерации уникальных фрагментов отпечатков, чтобы с их помощью обеспечить возможность идентификации (визуальной и/или автоматизированной) авторов документов, электронно-вычислительных машин и принтеров, на которых были изготовлены и распечатаны документы, для подтверждения их подлинности на любом виде носителя: будь то электронный или бумажный – в оперативном документообороте [3]. Совершенствование известных и разработка новых методов и средств обеспечения конфиденциальности документов является актуальной проблемой, требующей глубоких исследований. Ее решение позволит существенно повысить объем и улучшить качество услуг, предоставляемых на Интернет-сайте системы обеспечения конфиденциальности документов.

В заключение можно выделить направление для дальнейших исследований. Это разработка формализованного представления функциональности Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов.

Работа ведется при финансовой поддержке государства в лице Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (<http://www.fasie.ru/>).

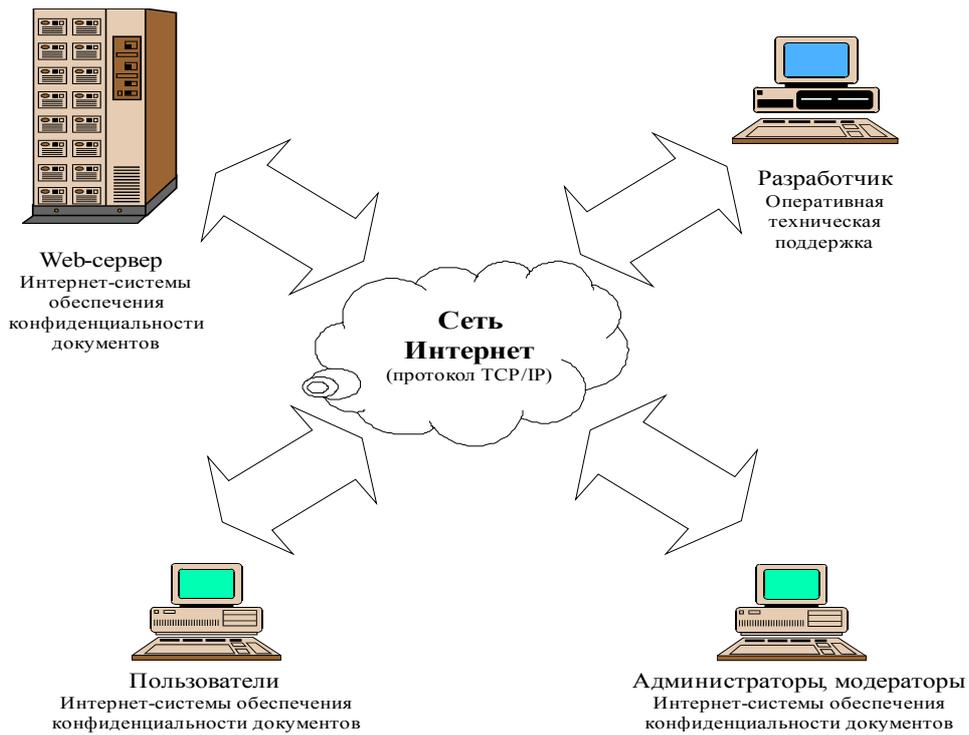


Рисунок 1 – Схема построения Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов

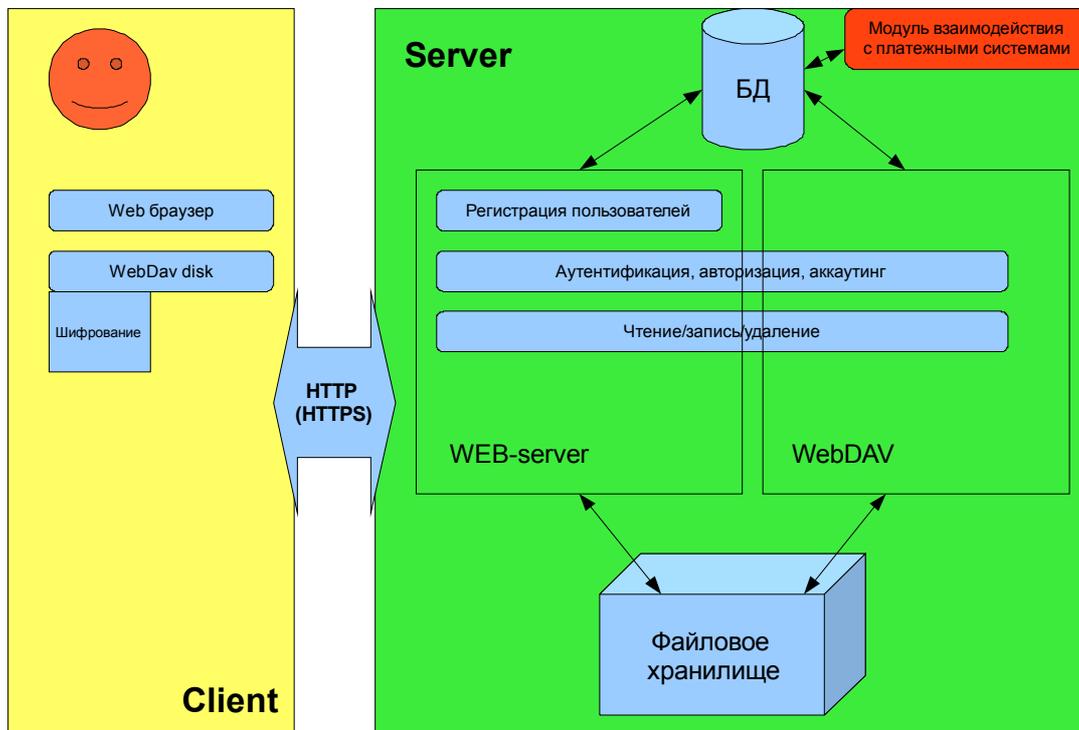


Рисунок 2 – Схема архитектуры Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов

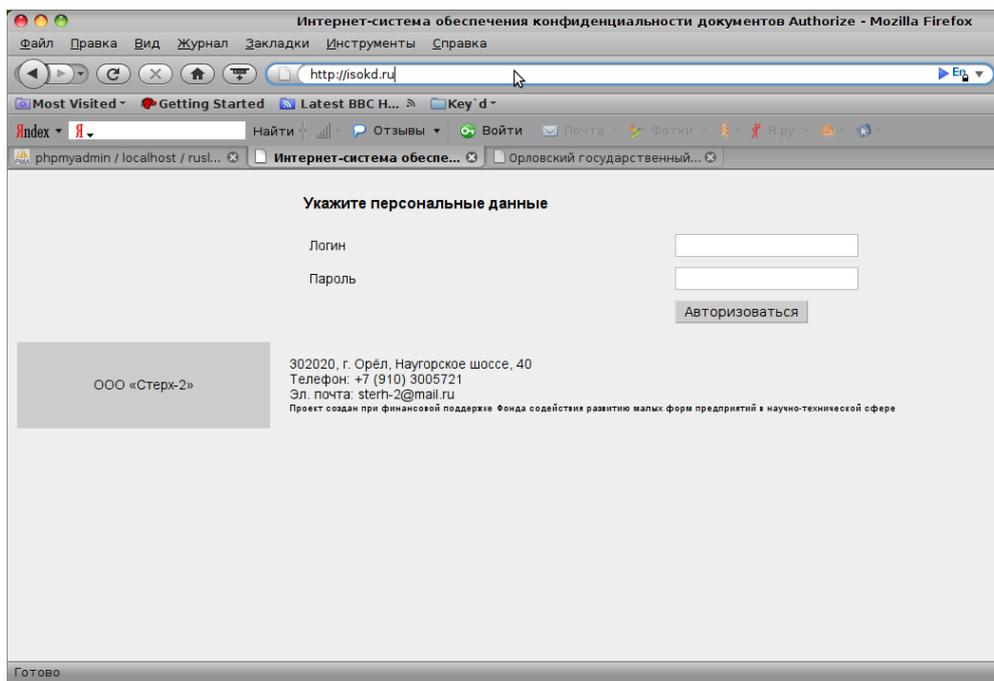


Рисунок 3 – Экранная форма страницы авторизации пользователя

ЛИТЕРАТУРА

1. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2009610390. Интернет-система обеспечения конфиденциальности документов / О. П. Архипов, И. С. Константинов, А. А. Стычук, А. И. Фролов, Р. А. Лунёв, С. С. Мозгов, И. В. Бизин, В. Н. Волков, Д. В. Рыженков, А. Н. Савенков, Н. А. Кравцова, О. Э. Лысков, Е. П. Долгов, А. А. Митин (РФ). – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16.01.2009 г.
2. Исследование принципов и разработка организационного и методического обеспечения системы конфиденциальности документов: разработка презентационной версии Интернет-системы обеспечения конфиденциальности документов / отчет о НИР (промежуточ.) / ООО «Стерх-2»; рук. Константинов И. С. – Орел, 2009. – 14 с. – Исполн.: Стычук А. А. – № ГР 01200950766.
3. Архипов О. П., Архипов П.О., Бородина Л.Н. Технологии создания уникальных растров. – М.: ИПИ РАН, 2006. – 76 с.

Константинов Игорь Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Информационные системы»
Тел. (4862) 40-96-14
E-mail: konstantinov@ostu.ru

Стычук Алексей Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»
Тел. (4862) 40-96-14
E-mail: stychuk@ostu.ru

Мозгов Сергей Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Информационные системы»
Тел. (4862) 43-26-19
E-mail: mozgovs@mail.ru

Засимов Алексей Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Проектирование и технология электронных и вычислительных систем»
Тел. (4862) 43-26-19
E-mail: alexz@ostu.ru

Д.А.БУРАКОВ, В.Н.КОПЫЛОВ, В.Ю.РОМАСЬКО. Е.В.ШВЕЦОВА

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ СИБИРСКИХ РЕК НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА

Представлена информационная технология, основанная на математической модели формирования стока в бассейнах рек Обь и Енисей. В бассейнах выделяются ландшафтно-гидрологические районы и высотные зоны. Физико-статистический водно-балансовый метод прогноза стока весеннего половодья опирается на уравнение водного баланса, записанного в форме уравнений стока для емкостного или инфильтрационно-емкостного типов поглощения воды бассейном. Модель усваивает метеорологические и гидрологические параметры. Для оптимизации параметров снегонакопления и снеготаяния, а также для текущей корректировки прогноза притока воды в водохранилища и ежедневных уровней воды используется спутниковая информация. В рамках технологии создана база данных ежедневных наблюдений в последние 19 лет на десятках гидрологических постов и метеорологических станций, расположенных в бассейнах рек Енисей, Обь, Иртыш.

Ключевые слова: Информационная технология; математическая модель формирования стока; уравнение водного баланса; гидрологический прогноз; расчет снегонакопления; расчет снеготаяния; оптимизация параметров модели; спутниковая информация; база гидрометеорологических данных.

The information technology based on mathematical model of drain formation process in pools of the rivers Ob and Yenisei is submitted. The landscapes - hydrological areas and high-altitude zones were allocated in pools. The physics - statistical water - balance method of the drain forecast of a spring high water is based on the equation of the water balance which has been written down in the form of the drain equations for capacitor or for infiltration-capacitor types of water pool's absorption. The model acquires meteorological and hydrological parameters. The satellite information is used for optimization of snow accumulation and thawing parameters, and also for the current updating of the water inflow and daily water levels forecast. Within the framework of technology the big database was created. It includes of daily supervisions in last 19 years on tens of hydrological posts and meteorological stations which are located in pools of Yenisei, Ob and Irtysh rivers.

Keywords: Information technology; mathematical model of drain formation; equation of water balance; hydrological forecast; account of snow accumulation; account of snow thawing process; optimization of model parameters; satellite information; hydrometeorological database.

В основу прогноза характеристик весеннего половодья и притока воды в водохранилища в бассейнах Оби и Енисея положена концептуальная модель формирования стока сибирских рек, разработанная авторами [1-3]. Основные принципы построения модели:

- в бассейне выделяются ландшафтно-гидрологические районы и высотные зоны;
- в районах и высотных зонах пространственная неравномерность снегонакопления и емкостного поглощения учитывается с применением вероятностных распределений;
- русловое добегание воды рассчитывается с применением функции плотности вероятностного распределения времени добегания элементарных объемов воды и теоретических формул моментов распределения времени добегания.

Структурно модель состоит из блоков, выполняющих следующие функции:

- расчет снегонакопления по районам и высотным зонам бассейна;
- расчет снеготаяния и площади снегового покрытия;
- расчет водоотдачи бассейна от талых вод и жидких осадков с учетом поглощения и задержания воды;
- расчет динамического запаса воды на склонах и притока воды в русловую сеть;
- расчет руслового добега воды к замыкающему створу.

Модель усваивает как метеорологические параметры (снегонакопление, температуру воздуха, осадки), так и гидрологические (уровни или расходы воды в речной сети бассейна). Территориальное многообразие процессов стока учитывается путем выделения в бассейне ландшафтно-гидрологических районов [3,7]. В горных условиях в каждом районе обязательно учитывается высотная поясность через выделение высотных зон. Ход температуры воздуха, снеготаяния и осадков рассчитываются по данным опорных станций с помощью соответствующих высотных градиентов для каждой высотной зоны. Неизвестные параметры в формулах отдельных блоков модели определяются сочетанием методов оптимизации и линейной регрессии [8].

Зависимость слоя весеннего стока y от подачи воды $S+x$ (S – запас воды в снежном покрове; x -осадки периода снеготаяния) при гиперболическом виде функции территориального распределения вододерживающей емкости [9] выражается в виде

$$y = (1 - w)(S + x - P_{\max} \operatorname{th} \frac{S + x}{P_{\max}}), \quad (1)$$

где P_{\max} – вододерживающая емкость бассейна (максимальные потери);

w – доля постоянно бессточной площади.

Вододерживающая емкость бассейна изменяется по годам в зависимости от осеннего увлажнения. Согласно (1), если $S+x=0$, то $y=0$, т.е. весенний сток формируется только за счет поступления воды $S+x$. В действительности, по мере оттаивания весной верхнего слоя почв и грунтов на тех участках бассейна, в пределах которых «избыток» почвенного увлажнения U превышает емкостное задержание, слой U также принимает участие в формировании стока. С учетом этого

$$Y = (1 - w)[(S + x + U) - P_{\max} \times \operatorname{th}(\frac{S + x + U}{P_{\max}})], \quad (2)$$

где P_{\max} – максимальное значение вододерживающей емкости для наиболее сухих предшествующих условий; U - приращение влагосодержания бассейна перед началом снеготаяния в конкретном году за счет осеннего увлажнения и возможного подтягивания влаги к фронту промерзания зимой.

В Сибири, вследствие преобладания суровых зим и ежегодно глубокого промерзания почв, U можно рассматривать как функцию только показателя осеннего увлажнения m

$$U = c + d \lg(m + 1), \quad (3)$$

где c и d – коэффициенты, которые нами определяются для каждой реки (или нескольких рек в однородных условиях ландшафта) методами оптимизации.

В рассматриваемой модели водоудерживающая емкость бассейна включает как задержание в микропонижениях, так и свободную почвенно-грунтовую емкость. Параметр p_{max} , характеризующий водоудерживающую емкость бассейнов в годы наиболее низкого предшествующего увлажнения, в степной и лесостепной зоне Сибири составляет около 190–220 мм. Эти значения принимаются за теоретический верхний предел p_{max} для равнин и платообразных возвышенностей Сибири. Учет временного хода инфильтрации по известным формулам впитывания (формулы кривых инфильтрации) при суточном расчетном интервале представляется нецелесообразным.

В основе подмодели поверхностной составляющей склонового притока в русловую сеть $q(t)$ лежит концепция динамического (гравитационного) запаса воды $W(t)$ на склонах, связанного с $q(t)$ в общем случае не линейно [1-3]:

$$W(t+1) = W(t) + v(t) - q(t), \quad (4)$$

$$v(t) = (h - Z - I)_t \varphi(t), \quad (5)$$

$$q(t) = \alpha \{0,5[W(t) + W(t+1)]\}^n, \quad (6)$$

где t – время;

$v(t)$ – суточная водоотдача бассейна [8];

$\varphi(t)$ – относительная действующая площадь, в пределах которой происходит пополнение динамического запаса воды (изменяется от нуля в состоянии высыхания бассейна, до $(1-\omega)$ при насыщении почвы водой);

h – слой подачи дождевой (талой) воды за расчётный интервал;

Z – испарение (задается по средним многолетним данным, либо по одной из известных формул);

I – впитывание, связанное с пополнением базисного стока и определяемое по расходу воды Q_{min} в конце кривой истощения ($I = 86.4Q_{min}/F$, мм/сут);

α – переменный коэффициент, учитывающий гидравлические условия и другие факторы;

n – показатель степени.

В период снеготаяния водоотдача бассейна $v(t)$ определяется с применением формулы (2) по уравнению $v(t) = Y(t) - Y(t-1)$, в котором $H = S + x$ заменяется суммой $H = \sum (h - Z - I)_i$, рассчитываемой за период от начала снеготаяния до соответствующих моментов времени t и $(t-1)$. Подчеркнем, что в расчетах дождевого стока, проходящего по талой почве, водоотдача от дождей определяется аналогично, но в основе лежит уравнение (1), в котором водоудерживающая емкость P_{max} задается по эмпирической зависимости от величины притока в русловую сеть $q(t)$ перед выпадением дождя [2,3]. В период истощения (спада), когда суточные осадки меньше суммы потерь на испарение и впитывание, $v(t) = \varphi(t) (x - Z - I)_t$. Здесь $\varphi(t)$ – доля площади речного бассейна, с которой формируются потери динамического запаса воды; $(x - Z - I) < 0$; $v(t) < 0$. Размеры $\varphi(t)$ в период истощения сокращаются по мере спада притока, что учитывается уравнением $\varphi(t) = (1-\omega) \{1 - \exp[-a_c q(t)]\}$; a_c – коэффициент [1,3]. Подача воды на склон h определяется для периода снеготаяния и выпадения дождя. Суточное таяние снега рассчитывается по средней суточной температуре воздуха Θ и коэффициентам снеготаяния K , которые назначаются различными для открытых и лесных территорий. Таяние в лесу рассчитывается по формуле $h_n = K_n \times \Theta$ (при $\Theta < 0^0$ $h_n = 0$), а таяние в поле определяется как $h_n = K_n \times (\Theta + 2)$ (при $\Theta + 2 < 0^0$ $h_n = 0$). Изменение альbedo снежного покрова в ходе снеготаяния учитывается через повышающие множители к величине коэффициента снеготаяния по мере схода

снега и появления проталин. Неравномерность распределения снега по площади водосбора учитывается по способу А.Г. Ковзеля [9]. Водоудерживающая емкость снега определяется с использованием коэффициента его водоудерживающей способности. Для оптимизации модельных блоков снегонакопления и снеготаяния используется космическая информация о динамике площади одновременного снеготаяния [5,6].

Более детальная модель склонового притока основана на его представлении в виде суммы трех составляющих:

1) «динамичный», т.е. поверхностный, а также быстрый почвенно-грунтовый приток q ;

2) «медленный» (q_m) поверхностный почвенно-грунтовый приток, формирующий нижнюю часть гидрографа половодья (паводка);

3) «базисный», устойчивый приток, с постоянным расходом воды $Q_{min.}$, на который выходит кривая истощения (спада). Опыт показал, что такой подход обеспечивает более высокую точность расчетов для небольших горных рек.

Явление временного задержания воды в снежной толще и под снегом учитывается через коэффициент α в формуле (6), интегрально характеризующий гидравлические условия склонового стока [2,3]. В период снеготаяния

$$\alpha(t) = \alpha_0 \exp\left[\frac{-\beta S_o(t-1)}{W_{t-1} + 1}\right], \quad (7)$$

где α_0 – максимальные значения α (после схода снега);

$S_o(t)$ – оставшийся снеготаяние на склонах;

β – коэффициент, учитывающий эффект снижения скоростей склонового стока вследствие сопротивления снежного покрова.

В период похолоданий

$$\alpha(t+1) = \alpha(t) / (1 + \zeta |\theta^\circ|) \quad (8)$$

где $|\theta^\circ|$ – абсолютное значение средней суточной температуры воздуха;

ζ – коэффициент.

В [4] рассмотрена подмодель водоотдачи оттаивающей почвы при неустойчивой весенней погоде и повторном замерзании-таянии воды в снежном покрове и почве.

Русловая трансформация притока рассчитывается с помощью интеграла свертки

$$Q(t + \Delta t) = \left[\sum_{i=1}^n \int_0^{\Delta t} q_i(t + \Delta t - \tau) f_{q_i}(\tau) d\tau \right] + Q_w(t + \Delta t) + Q_{min}, \quad (9)$$

где $Q(t + \Delta t)$ – расход воды в замыкающем створе;

t – дата выпуска прогноза;

Δt – заблаговременность прогноза;

n – число ландшафтно-гидрологических районов, на которые разбит речной бассейн;

$q_i(t)$ – суммарный приток в русловую сеть с i -ого района;

$f_{q_i}(\tau)$ – кривая добега бокового притока с i -ого района (функция влияния) [2,3];

$Q_w(t + \Delta t)$ – составляющая расхода воды, обусловленная истощением начального (на момент t) запаса воды в русловой сети;

Q_{min} – устойчивое (базисное) питание реки.

Выразив запас воды в русловой сети в зависимости от высот уровней воды $H_i(t)$ в пунктах наблюдений, получим следующее уравнение (вывод приведен в [3]):

$$H(t+\Delta t)=[c_0 \sum \int_0^{\Delta t} q_i(t+\Delta t-\tau) f_{q_i}(\tau) d\tau + \sum c_i (H_i(t) - H_{i\min})^{y1} + \sum c_{i+1} (H_i(t) - H_i(t-1))^{1/y2} + H_{\min}] \quad (10)$$

где H – прогнозируемый уровень воды в замыкающем створе;

$c_i, y1, y2$ – коэффициенты;

$H_{i\min}$ – минимальный уровень воды в i -м пункте речной системы, принятый за условный нуль отсчета;

H_{\min} – то же в замыкающем створе.

Подмодель добегания бокового притока основана на вероятностной трактовке кривой добегания $f_{q_i}(\tau)$. Эта кривая трактуется как плотность распределения времени добегания элементарных объемов воды [1,2]. Преимуществом такой трактовки является возможность аппроксимации кривой добегания гибкими статистическими распределениями с оценкой моментов этих распределений по теоретическим зависимостям, использующим агрегированные коэффициенты.

Спутниковая информация используется для оптимизации параметров блока снегонакопления и снеготаяния гидролого-математической модели, для оценки снегонакопления и картирования нормы запаса воды в снеге в горах по ретроспективным данным, а также для текущей корректировки прогноза притока воды в водохранилища ГЭС и ежедневных уровней (расходов воды).

С целью создания единой программы, в которой можно было бы производить автоматизированную обработку растровой информации для определения площади заснеженности речных бассейнов в оперативном режиме, разработан и реализован пакет программ «Служба мониторинга заснеженности». Конечным результатом работы программы является распределение относительной и абсолютной площади снега по высотным зонам в пределах речного бассейна. «Служба мониторинга заснеженности» является масштабируемым, многопоточным приложением, работает полностью автоматически, добавляет и обновляет данные в течение 30 минут после получения, представляет результаты в виде изображений, отчетов и графиков, и обеспечивает доступ к ним через Интернет.

Созданная информационная технология предусматривает оптимизацию параметров математической модели прогноза в ходе ее применения. Для этого используется электронная база многолетних гидрометеорологических данных наблюдений, обеспечивающая автоматизированный перебор и моделирование возможных гидрометеорологических ситуаций. База включает ежедневные данные наблюдений десятков гидрологических постов и метеорологических станций за последние 19 лет. Были отобраны годы с непрерывными рядами гидрометеорологических наблюдений по большинству станций и постов, находящихся в бассейнах Енисея, Оби и Нижнего Иртыша.

Структура базы данных строилась на основе онтологии модели гидрометеорологических наблюдений. Онтологический подход обеспечивает стандартизацию, полноту и расширяемость представления накапливаемых данных. Такое построение структуры базы наблюдаемых данных на основе онтологии предметной области предоставляет возможность многократного их использования для различных прикладных задач.

Практическое использование технологии показало хорошее качество прогнозов ежедневных и максимальных уровней воды на реках Сибири и притока воды в водохранилища Енисейских и Обской ГЭС.

Рассмотренная информационная технология одобрена Центральной методической комиссией Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, внедрена в оперативную практику отделов

гидрологических прогнозов Западно-Сибирского (Новосибирск), Средне-Сибирского (Красноярск) и внедряется в Обь-Иртышском (Омск) территориальном управлении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [3,5,6]. Технология может быть адаптирована к другим рекам России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бураков Д.А. Кривые добегания и расчет гидрографа весеннего половодья. –Томск: Томский госуниверситет, 1978.– 129 с.
2. Бураков Д.А. Математическая модель расчета гидрографа весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов.– Метеорология и гидрология, 1978. – № 1. – С.49–59.
3. Бураков Д.А., Авдеева Ю.В. Технология оперативных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды на основе спутниковой информации о заснеженности (на примере р. Нижняя Тунгуска).– Метеорология и гидрология, 1996. – №10. – С.75–87.
4. Бураков Д.А., Адамович А.А. Учет весенних заморозков в гидролого-математической модели прогноза наводнений в бассейне Енисея // Труды VII научной конференции «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф». – том 1, Красноярск, 2003, с.14–21.
5. Бураков Д.А., Кашкин В. Б., Сухинин А. И., Ромасько В. Ю., Ратненко И.В. Методика определения заснеженности речного бассейна по спутниковым данным для оперативных прогнозов стока. – Метеорология и гидрология, 1996. – № 8. – С.100–109.
6. Копылов В.Н. Международный проект мониторинга паводковой обстановки в северных территориях с использованием данных ДЗЗ / Информационные технологии и обратные задачи рационального природопользования // Материалы междунар. конференции 12-14 апреля 2005 г.– Ханты-Мансийск: ГП «Полиграфист»,2005. – С.181-184.
7. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1988.– 312 с.
8. Корень В.И. Математические модели гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.– 199 с.
9. Попов Е. Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.: Гидрометеиздат, 1963.– 256 с.

Бураков Дмитрий Анатольевич

Средне-Сибирское территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Красноярск
Доктор географических наук, профессор, главный гидролог

Копылов Василий Николаевич

Югорский научно-исследовательский институт
информационных технологий, г. Ханты-Мансийск
Доктор технических наук, главный научный сотрудник
Тел.+73467359140
E-mail: kvn@uriit.ru

Ромасько Виктор Юрьевич

Сибирский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
по делам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, г. Красноярск;
Начальник отдела

Швецова Елена Васильевна,

Новосибирский государственный
технический университет, г. Новосибирск
Ассистент

А.Л. ПРАВДИН, М.В. ЖУПЛОВ

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ СХЕМЫ ПРОФИЛИРОВАНИЯ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

В статье ставятся вопросы задания, расчёта и оценки точности обработки винтовых поверхностей при погрешностях установки инструмента. Приводятся частные решения поставленных вопросов, включая алгоритмы расчёта отклонений и формализацию задачи поиска максимально допустимых отклонений параметров установки инструмента. Рассмотрение производится на примере математической модели обработки дисковой фрезой полузакрытой винтовой поверхности, построенной на основе методики профилирования, базирующейся на трёхмерном отображении схемы профилирования.

Ключевые слова: винтовая поверхность; профилирование; точность обработки; интерактивная программная система.

Questions of setting, calculating and valuation of accuracy of processing of screw surfaces through errors of installation of a tool are formulated and detailed in the article. Individual decisions of the put questions, including algorithms of deviation calculation and permissible errors of installation maximization are resulted. Consideration is made on an example of mathematical model of processing by a disk mill of the half-closed screw surface constructed on the basis of a method of profiling, a scheme of profiling based three-dimensional displays.

Keywords: screw surface; profiling; accuracy of processing; interactive program system.

ВВЕДЕНИЕ

При профилировании металлорежущего инструмента для обработки деталей, содержащих винтовую поверхность (ВП) возможно не только определить профиль инструмента, но и оценить влияние ряда факторов на точность обработки ВП спрофилированным инструментом. Под точностью обработки понимаются численно выраженные несоответствия между параметрами поверхности, заданной в конструкторской документации (КД) и параметрами поверхности, реально произведённой в производственных условиях.

В связи с этим возникает ряд вопросов задания, вычисления и оценки точности, которые формулируются в данной работе. Предлагается детализация и решение отдельных из поставленных вопросов при использовании метода профилирования [1], основанного на трёхмерном отображении схемы профилирования. В работе подразумевается рассмотрение профилирования дисковой фрезы для обработки полузакрытой ВП из работы [2].

Целью данной работы является структурирование и решение задач задания и определения точности в рамках методики профилирования инструмента на основе пространственного отображения схемы резания. Практической значимостью работы является детализация решения основных вопросов, достаточная для реализации методики профилирования, содержащей оценку точности обработки, в виде интерактивной программной системы (ИПС) для ЭВМ.

1 ФОРМУЛИРОВКА И ДЕТАЛИЗАЦИЯ ВОПРОСОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Основными факторами, влияющими на точность лезвийной обработки заготовки, являются биение, несоосность, др. погрешности оборудования, допуски на изготовление заготовки и инструмента, силы резания, вибрации системы, износ режущего инструмента, погрешности установки и настройки оснастки. Если принять, что система СПИД является достаточно жесткой и при обработке в ней отсутствуют вибрации и биения, а также оборудование повышенной точности, то ряд факторов в расчете погрешности обработки заготовки можно не учитывать. Такие факторы, как допуски на изготовление инструмента и износ режущего инструмента, могут быть объединены с погрешностями установки и настройки оснастки, по крайней мере, для случая обработки ВП дисковой фрезой.

Процесс профилирования для заданной схемы установки инструмента (СУИ), в рамках процесса технологического проектирования лезвийной обработки ВП, можно представить в виде диаграммы в стандарте IDEF-0 [3] (рисунок 1).

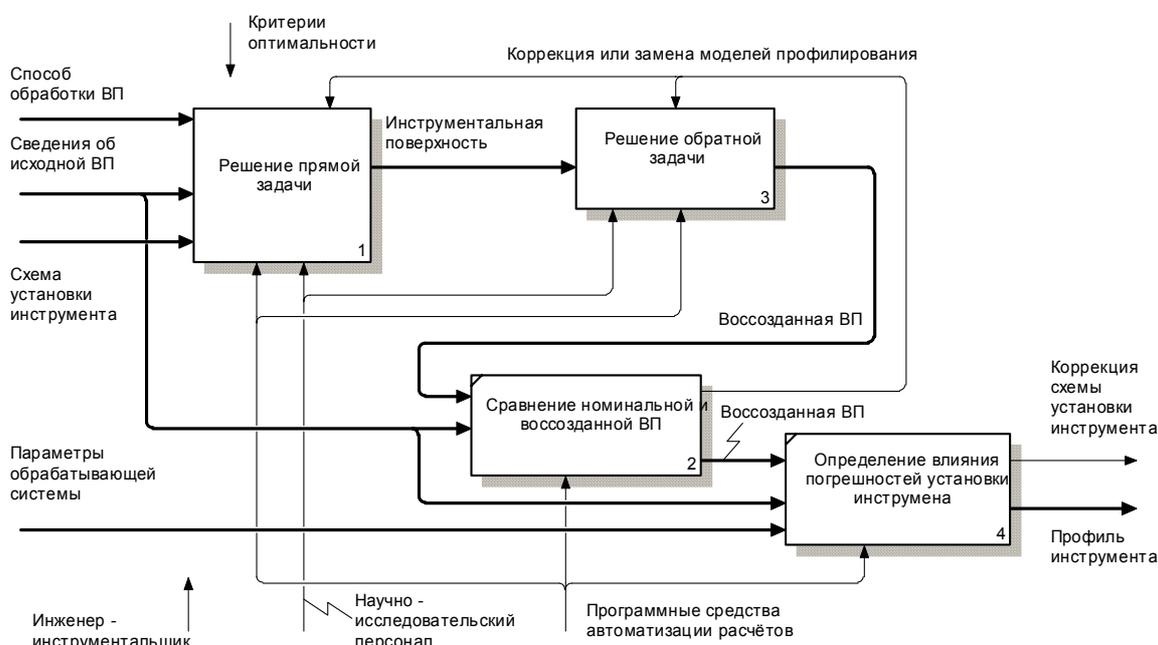


Рисунок 1 – IDEF-0 диаграмма процесса профилирования инструмента

На входе диаграммы:

- способ обработки ВП (например, фрезерование дисковой или концевой фрезой);
- сведения об исходной ВП (для рассматриваемой модели – аналитические описания элементов торцевого профиля ВП и шаг ВП);
- СУИ, представляющая собой совокупность геометрических преобразований, характеризующихся допустимыми погрешностями;
- параметры конкретной обрабатываемой системы, определяющие максимально возможную достижимую точность обработки.

По результатам выполнения процессов может потребоваться коррекция СУИ, если недостижима требуемая точность, что определяется параметрами используемого технологического оборудования. Решение о выборе другого технологического

оборудования принимается, если для заданного невозможно создать допустимую СУИ. Если точность достигнута, на выходе диаграммы получается профиль инструмента.

Разработанный метод профилирования позволяет автоматизировать все процессы, представленные на диаграмме. Основу разработанного метода профилирования составляет математическое описание процесса формообразования инструментальной поверхности (ИП), обкатом вокруг неё ВП (для случая обработки дисковой фрезой) в соответствии с СУИ.

Первоначально описывается ВП в параметрическом виде на основе торцевого профиля и шага ВП. Посредством ввода новых параметров производится вывод выражения, описывающего перемещение ВП в процессе обработки, при этом все движения выполняет ВП относительно ИП. СУИ задаётся элементарными геометрическими преобразованиями, аналогично работе [8]. Профилирование производится определением, в результате совместного обката ВП и ИП, предполагаемой толщины срезаемого слоя [2] для каждой точки (элементарного участка) торцевого профиля ВП. Для каждой такой точки выбирается нулевое значение толщины и для соответствующего сочетания параметров формообразования рассчитываются координаты геометрической точки, принадлежащей одновременно ВП и ИП. Найдя координаты для всех точек исходного торцевого профиля, можно получить профиль инструмента [1,2].

Теперь поставим вопросы, возникающие при определении точности обработки.

Как задавать отклонения? Параметры СУИ, определяемые технологическими базами по КД, в общем случае не совпадают с параметрами, используемыми для описания СУИ с помощью элементарных геометрических преобразований (ЭГП) (здесь: сдвиги и повороты) в рассматриваемом методе профилирования. Пока отсутствует проработанный обобщенный способ взаимосвязи указанных параметров. Поэтому простейшим решением является задание отклонений для параметров ЭГП. Однако разработка обобщённой связки параметров по КД и задания СУИ в виде ЭГП необходима, т.к. по КД задаются параметры готовой детали, и именно по ним можно оценить также влияние параметров износа инструмента. В то же время ЭГП – оптимальный способ описания СУИ как математически, так и на уровне программной реализации.

Как задать точность и как её оценить? Точность изготовления ВП определяется её соответствием КД, однако не всегда возможно задать допустимые пределы искривлений сложных пространственных аналитических поверхностей. Нами предлагается следующий способ задания и оценки точности обработки. Точность в простейшем случае задаётся одним числом.

Для любой точки номинальной ВП, которой соответствует сочетание значений параметров $\{u, p, f, v, p_1..p_n\}$ (u, p, f, v – параметры формообразования ВП, $p_1..p_n$ – номинальные значения параметров СУИ) определяется сферическая область с центром в этой точке и радиусом, равным заданной точности. Если в результате решения обратной задачи профилирования с параметрами СУИ $p'_1..p'_n$ (с внесёнными погрешностями в параметры СУИ) ни одна точка восстановленной ВП не попадает в заданную сферическую область, то точность считается не соблюденной и всё сочетание параметров $p'_1..p'_n$ отвергается.

В общем случае, возможно и желательно использование вероятностного подхода для задания и оценки точности. Если из всего множества точек номинальной ВП условие точности не соблюдается только для определённого процента точек, и при этом максимальное отклонение не превышает определённой доли от исходно заданного, то сочетание параметров $p'_1..p'_n$ всё же может быть принято. При этом если погрешность каждого из параметров считать заданной по определённому закону распределения вероятности, то можно установить вероятность сочетания значений параметров СУИ. Оценив в совокупности эти характеристики, можно принять более взвешенное решение о соответствии восстановленной ВП заданной точности.

Как рассчитывать отклонения? В общем случае необходимо определить максимальное отклонение восстановленной ВП, рассчитанной с учётом погрешностей параметров СУИ по модели профилирования от номинальной ВП. Однако это представляет собой нетривиальную математическую задачу и требует больших вычислительных ресурсов при реализации алгоритма на ЭВМ.

Вторым вопросом здесь является выбор факторных планов (ФП) для анализа отклонений. В случае задания необходимой точности одним значением и задания погрешностей параметров СУИ диапазонами с равновероятными значениями внутри них, достаточно рассмотреть ФП, образованные крайними точками диапазонов. Далее можно исследовать определённое количество точек внутри диапазона. В случае вероятностного подхода задача становится нетривиальной.

Как автоматизировать процесс подбора максимальных допусков параметров СУИ? В процессе расчёта точности требуется найти такое сочетание значений допусков параметров СУИ, чтобы, максимизировав допуски каждого параметра СУИ, получить требуемое значение точности. Таким образом, встаёт задача поиска соответствующих значений допусков, являющаяся задачей многокритериальной оптимизации.

Далее рассмотрим детализацию и решение некоторых из поставленных вопросов.

2 РАСЧЁТ ОТКЛОНЕНИЙ НОМИНАЛЬНОЙ И ВОССТАНОВЛЕННОЙ ВП

Если решать задачу напрямую, т.е. искать расстояния от множества точек одной поверхности до другой поверхности, при реализации на ЭВМ это потребует больших затрат вычислительных ресурсов, а следовательно, времени. Могут быть использованы более эффективные численные алгоритмы, если будет доказана их применимость. Авторами разработано несколько алгоритмов расчёта отклонений по расстоянию между:

- соответствующими точками линии профилирования до и после внесения отклонений параметров установки инструмента;
- соответствующими точками линий ВП до и после внесения отклонений параметров установки инструмента;
- точками линии профилирования после внесения отклонений параметров установки и некоторой областью номинальной ВП, определяемой отклонениями параметров соответствующих точек.

Геометрически разница между алгоритмами показана на рисунке 2.

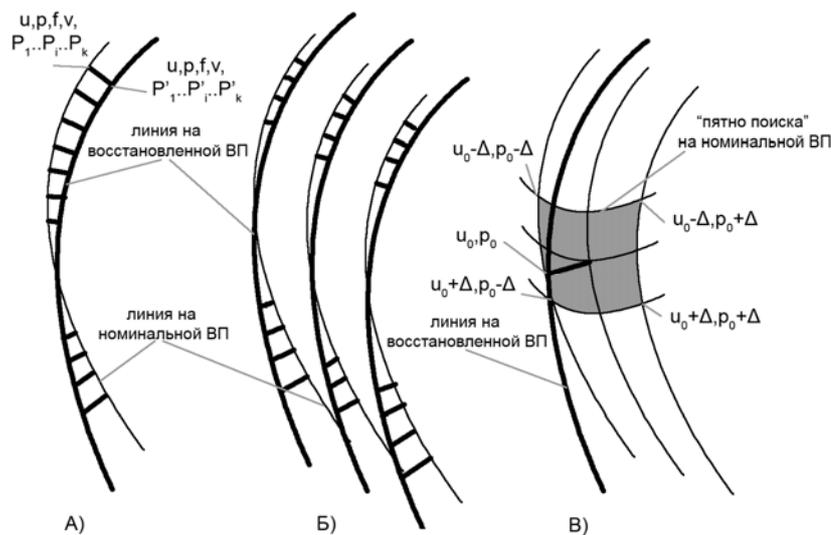


Рисунок 2 – Геометрическая интерпретация алгоритмов

$P_1..P_i..P_k$ – параметры установки инструмента; $P'_1..P'_i..P'_k$ – значения параметров установки инструмента с отклонениями; Δ – максимальные отклонения соответствующих параметров; u, p, v, f – параметры образования ВП

Структуры первого и третьего алгоритмов представлены на рисунке 3 в виде диаграмм активности в стандарте UML [4]. Алгоритмы имеют общую первую часть – генерацию ФП и расчёт линий профилирования с учётом отклонений параметров установки инструмента. При разработке алгоритмов приняты допущения: максимальное допустимое отклонение задано одним значением, отклонения параметров установки задаются максимальными значениями в обе стороны, оценка отклонений производится на основании одного значения, рассчитываемого по условиям максимума и минимума.

На диаграммах не детализируется, что исходный профиль ВП состоит из нескольких элементов, описываемых своими функциями. На рисунке 3а min , max , $delta$ – абстрактные функции, выдающие минимальное, максимальное отклонения и желаемое приращение отклонения конкретного параметра. Так, обычно достаточно исследования крайних значений отклонений, но возможно исследование и промежуточных значений в пределах отклонений. На рисунке 3в u, p, v, f – параметры образования ВП; u', p', v', f' – их значения в рамках некоторой, заданной при расчёте, области. Смысл функций min , max , $delta$ тот же, однако $delta$ здесь всегда подразумевает наличие многих значений в области.

При расчёте средних значений отклонений, необходимо просчитать значения для всех точек, поэтому на диаграммах с рисунков 3б и 3в после определения некорректности элемента ФП, не производится выход из цикла. Ещё одно замечание касается перебора значений параметра u на рисунке 3в: данный параметр отвечает за построение исходного торцевого профиля ВП и имеет фиксированные пределы. Таким образом, при переборе значений этого параметра в некоторой заданной области эти пределы не должны быть нарушены. Разработанные алгоритмы были реализованы в прототипе ИПС для расчёта профиля дисковых фрез для обработки ВП [5]. Было установлено следующее. Первый и второй алгоритм дают совершенно идентичные результаты. Этого можно было ожидать, т.к. алгоритмы отличаются только количеством и типом рассматриваемых линий, принадлежащих одним и тем же поверхностям.

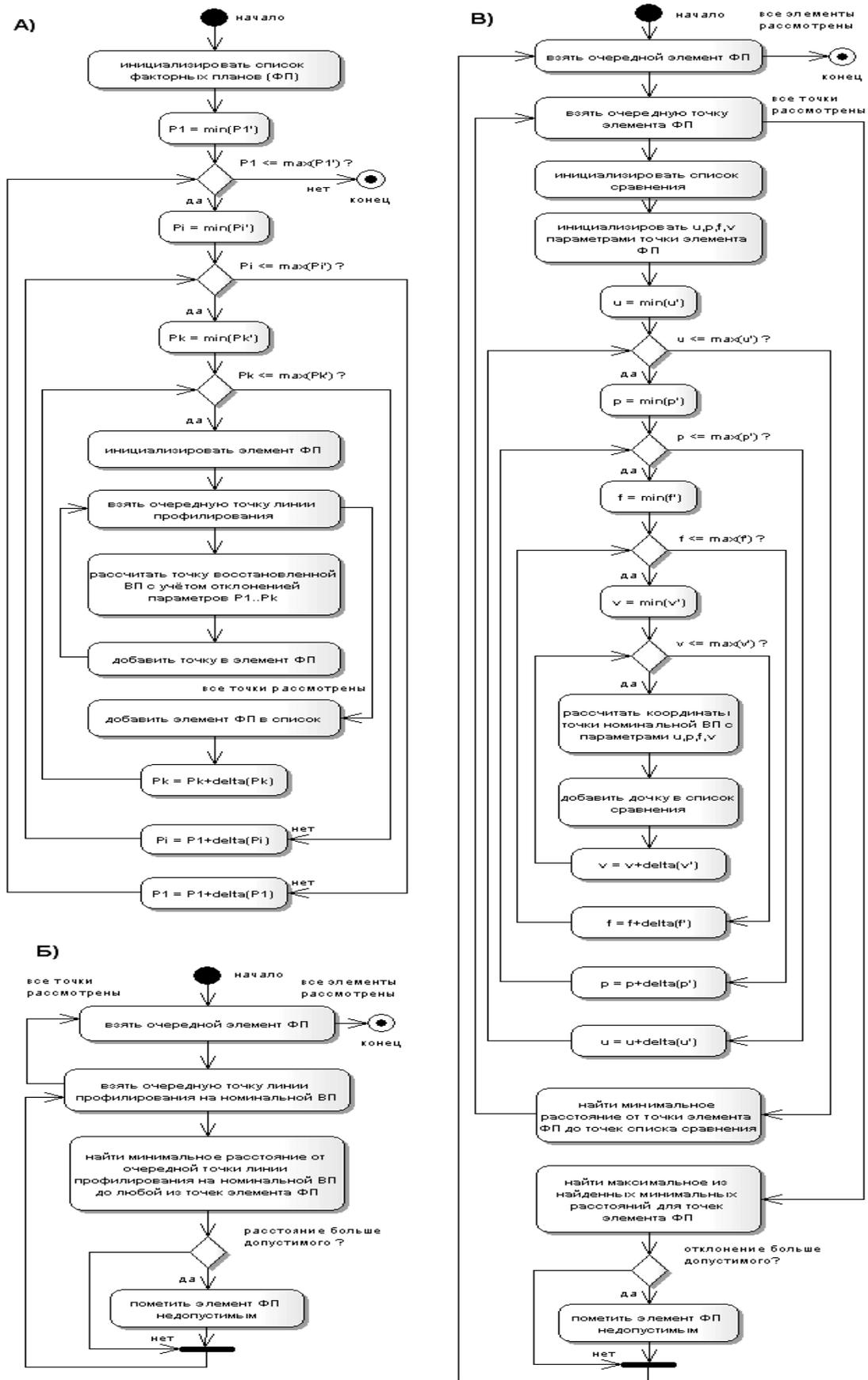


Рисунок 3 - Алгоритмы расчёта отклонений: а) общая первая часть алгоритмов, б) алгоритм на основе сравнения линий профилирования, в) алгоритм на основе расстояния до «пятна поиска» на номинальной ВП

Первый и третий алгоритмы дают немного отличные данные. Алгоритмы были протестированы на различных СУИ, с различными допусками на параметры установки, и при различном разбросе параметров для третьего алгоритма. В некоторых случаях алгоритмы дали идентичные результаты. В процентном отношении, разница в среднем составляла 0.1% при стандартном отклонении 0.27%: несколько значений, как правило, отличаются на 0.5% и более. В худшем случае разница достигала 17% у двух значений из 80 элементов ФП. Этот факт говорит о необходимости дальнейших изысканий.

Следует заметить, что для расчёта точности по третьему алгоритму дополнительно необходимо сформировать размер «пятна поиска» – участка номинальной ВП при изменении u , p и фиксации v , f . Увеличение этого пятна сверх определённых значений не приводит к изменениям результирующих данных алгоритма, но только к росту затрат ресурсов ЭВМ.

При проведении экспериментов с ИПС было установлено, что скорость работы первого алгоритма в несколько раз больше чем второго и в десятки раз больше чем третьего. При этом размер «пятна поиска», заданного только параметрами u и p и объём необходимой памяти для выполнения третьего алгоритма связаны экспоненциально. При средних установках точности (20 значений p , 300 значений u) третий алгоритм давал решение за 1-2 минуты и требовал 1.5 Gb оперативной памяти, в то время как первый при тех же условиях выполнялся примерно за 10 секунд и требовал 20 Mb. Несмотря на возможность оптимизации, полученная информация говорит о целесообразности использования первого алгоритма, особенно при построении ИПС. Однако следует провести дополнительные изыскания по доказательству точности и стабильности погрешности алгоритма.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДБОРА ДОПУСКОВ НА ПАРАМЕТРЫ СУИ

Одним из вопросов определения точности ЛО на этапе профилирования инструмента является определение допусков на параметры СУИ, при фиксированном значении точности (максимального отклонения) обработки. Сделаем следующие допущения. Параметры СУИ $p_i, i \in 1..n$ совпадают с параметрами геометрических преобразований, которыми она моделируется. Используется жёсткое минимаксное задание допусков в виде $p'_i \in [p_i + d_i^- .. p_i + d_i^+]$, где p'_i – значение параметра установки с учётом отклонений, p_i – исходное значение параметра, d_i^- , d_i^+ – допуски, имеющие собственные знаки. Максимальное допустимое отклонение номинальной ВП от восстановленной по результатам профилирования с учётом погрешностей параметров СУИ задаётся одним числом (d_{max}).

Тогда задача подбора допусков на параметры СУИ: максимизировать допуски на параметры СУИ (формула 1), при ограничениях на максимальное отклонение (формула 2).

$$G = \sum_{i=1}^n s_i \left| \frac{d_i^+ - d_i^-}{p_i} \right| \rightarrow \max, s_i \in (0..1], \quad (1)$$

где s_i – коэффициент важности i -го параметра;

G – целевая функция.

$$\begin{aligned}
dev(u, p, f, v, P, P') &= \sqrt{(c.x - c'.x)^2 + (c.y - c'.y)^2 + (c.z - c'.z)^2}, \\
c &= coord(u, p, f, v, P), c' = coord(u, p, f, v, P'), \\
P &= \{p_1..p_n\}, P' = \{p'_1..p'_n\}; \\
maxdev &= \max(dev(u, p, f, v, P, P')), \\
\forall u &\in [\min(u).. \max(u)], \forall p \in [\min(p).. \max(p)], \\
\forall f &\in [\min(f).. \max(f)], \forall v \in [\min(v).. \max(v)], \\
\forall p'_i &\in P' (p'_i \in [p_i + d_i^- .. p_i + d_i^+]); \\
maxdev &\leq d_{\max},
\end{aligned} \tag{2}$$

где dev – функция отклонения точки номинальной ВП при учёте погрешностей параметров СУИ;

$coord$ – функция вычисления координат точек ВП при профилировании;

$maxdev$ – функция, вычисляющая максимальное отклонение восстановленной ВП от номинальной.

В таком виде, для решения задачи применимы только методы прямого поиска из методов условной многокритериальной оптимизации [6 стр. 61, 85], например, методы Хука-Дживса, Бокса, а также методы возможных направлений [7 стр. 45], например метод проекции градиента. Если же ввести условия в состав самой целевой функции, то становятся применимы более простые методы последовательной безусловной минимизации [7 стр. 57], например, метод штрафов, барьеров, множителей Лагранжа. Однако при этом нельзя гарантировать, что не существует лучшего решения. Формула 3 показывает формулировку изменённой целевой функции для метода штрафов. Штрафная функция F обеспечивает достаточное изменение целевой функции G' при выходе за допустимые границы суммарного отклонения и экспоненциальный рост «штрафа» при дальнейшем превышении допустимого значения. Для значений $maxdev - d_{\max}$, стремящихся к нулю справа, штрафная функция имеет значение 1, при этом целевая функция G при количестве параметров установки 3..5 может иметь значения порядка 0.01.

$$\begin{aligned}
F &= \begin{cases} 0, & maxdev \leq d_{\max} \\ e^{maxdev - d_{\max}}, & maxdev > d_{\max} \end{cases} \\
G' &= G - F \rightarrow \max,
\end{aligned} \tag{3}$$

где F – штрафная функция;

G' – изменённая целевая функция.

На основе представленной формализации возможно создание алгоритмов для их последующей программной реализации и исследования. На данный момент в прототипе ИПС [5] реализован расчёт $maxdev$ из формулы 2 по алгоритмам, рассмотренным выше. Как видно из определения, в этой функции необходим перебор параметров u, p, f, v, p'_i , что на уровне программной реализации предполагает задание точности вычислений.

Одним из вопросов автоматизации подбора параметров является оценка найденного решения оператором ИПС. Для этого целесообразно использовать визуализацию, аналогичную изображённой на рисунке 4. На рисунке показан подбор сочетания параметров A (межосевое расстояние) и ω (угол установки инструмента в соответствии с шагом винта) для максимизации радиуса фрезы для СУИ из работы [2], реализованный в одной из версий ИПС. Параметры отложены по осям, на плоскости различным цветом отображена информация: монотонная (в оригинале – красная) область на карте показывает недопустимые сочетания значений параметров,

изменение яркости соответствует изменению максимального радиуса фрезы. Выбрав точку на карте, оператор ИПС видит соответствующие ей рассчитанные параметры.

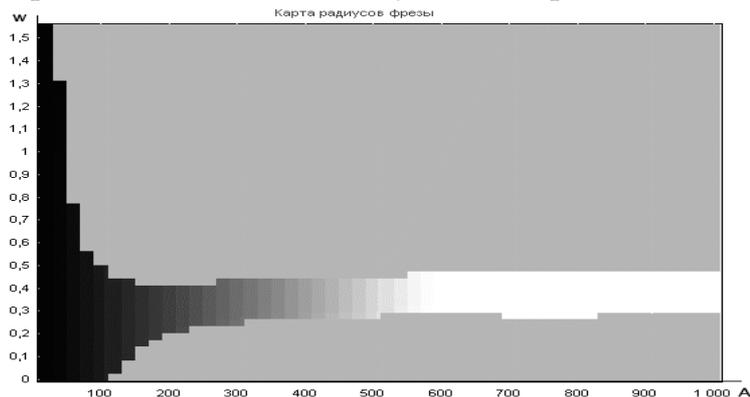


Рисунок 4 – Карта максимальных радиусов фрезы при подборе значений A и ω

В общем случае, для создания подобной визуализации необходимо:

- выбрать целевой (подбираемый) параметр или определить целевую функцию;
- выбрать из числа подбираемых параметров пару наиболее важных, имея возможность фиксировать различные значения других параметров;
- определить отображаемые ограничения на сочетания параметров;
- определить желаемую точность отображаемого изменения параметров.

ВЫВОДЫ

Выявлены и детализированы до уровня задач вопросы определения влияния погрешностей параметров СУИ на точность лезвийной обработки при использовании методики профилирования на основе пространственного отображения схемы резания.

Определены способы решения задач, в том числе: разработана группа алгоритмов и выбран оптимальный алгоритм расчёта отклонений восстановленной ВП, с учётом отклонений параметров СУИ, от номинальной ВП; поставлена математическая задача автоматизации подбора допусков на параметры СУИ и сделаны замечания по её реализации. По результатам исследований разработана ИПС, в которой реализована методика профилирования, включающая простейшие определения точности обработки.

Требуются дальнейшие исследования по:

- применению вероятностного подхода для задания погрешностей и оценки отклонений, генерации ФП при расчёте отклонений;
- связыванию параметров СУИ с параметрами обрабатываемой поверхности относительно технологических баз по КД;
- доказательству стабильности погрешности предложенного алгоритма расчёта отклонений номинальной и восстановленной ВП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусов С.И., Жуплов М.В., Тарапанов А.С. Профилирование дисковых фрез для обработки винтовых поверхностей на основе виртуального отображения кинематической схемы резания // Известия ОрелГТУ. «Фундаментальные и прикладные проблемы техники технологии». – Орел: ОрелГТУ, 2008. – №1/269 (544). – С.41-45.
2. Жуплов М.В., Агарков А.А., Брусов С.И., Тарапанов А.С. Профилирование дисковых фрез для обработки полузакрытых винтовых поверхностей // Известия ОрелГТУ.

«Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – Орел: ОрелГТУ, 2008. – №3-3/271. – С. 10-13

3. Зильбербург. Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. – СПб: «Компьютербург», 2003. – 152 с.
4. Спецификация языка UML v.2.1.2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.omg.org/spec/UML/2.1.2/Infrastructure/PDF/>.
5. Правдин А.Л. Интерактивная программная система для демонстрации процесса лезвийной обработки винтовых поверхностей // Материалы международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в образовании» (НИТО). – Екатеринбург: изд-во РГППУ, 2009 г. – Том 2. – С. 49-50.
6. Андронов С.А. Методы оптимального проектирования: текст лекций. – СПбГУАП, СПб., 2001. – 169 с.
7. Азарнова Т.В., Каширина И.Л., Чернышова Г.Д. Методы оптимизации: учеб. пособие . – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. – 86 с.
8. Петухов Ю.Е. Проектирование инструментов для обработки резанием деталей с фасонной винтовой поверхностью на стадии технологической подготовки производства: Автореферат дис. д-р техн. наук. – Москва, 2004.

Правдин Алексей Леонидович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

Аспирант кафедры «Информационные системы»

Тел.: +7 (4862) 41-98-09

E-mail: pravdinalex@mail.ru

Жуплов Михаил Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

Аспирант кафедры «ТМиКТИ»

Тел.: +7 (960) 648-76-48

E-mail: chuplov@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В ОДНОЧАСТОТНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧАСТОТНО- СЕЛЕКТИВНЫХ ЗАМИРАНИЙ НАВИГАЦИОННЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

В статье рассматривается вопрос модернизации существующей навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем, позволяющей потребителю получать информацию о точности позиционирования в случаях, когда навигационные радиосигналы подвергаются частотно-селективным замираниям. Предлагается процедуру определения вектора состояния потребителя разделить на три этапа с определением величины полного электронного содержания ионосферы.

Ключевые слова: спутниковые радионавигационные системы; частотно-селективные замирания навигационных радиосигналов.

In article the question of modernization of existing navigating equipment of consumers of the satellite radio navigating systems is considered, allowing the consumer to receive the information on accuracy of positioning, in cases when navigating radio signals are exposed frequency-selective interruptions. It is offered to divide procedure of definition of a vector of a condition of the consumer into three stages with definition of size of the full electronic maintenance of an ionosphere.

Keywords: satellite radio navigating systems; frequency-selective interruptions navigating radio signals

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в спутниковых радионавигационных системах (СРНС) процедура определения вектора состояния потребителя разбивается на два этапа [1]. На этапе первичной обработки навигационных радиосигналов (НРС) измеряются радионавигационные параметры (псевдодальность и доплеровское смещение частоты) для каждого навигационного космического аппарата (НКА) выбранного рабочего созвездия. На этапе вторичной обработки решается задача определения вектора состояния потребителя с использованием полученных на первом этапе оценок радионавигационных параметров и навигационных алгоритмов. При этом погрешности позиционирования, в основном, будут зависеть от погрешностей определения псевдодальностей до каждого из НКА созвездия и геометрии взаимного расположения (ГВР) потребителя и НКА, которая определяется величиной геометрического фактора GDOP. Ряд образцов современной навигационной аппаратуры потребителей (НАП) после решения навигационной задачи и выдачи на блок индикации координат потребителя также выдает значение среднеквадратичного отклонения (СКО) определения координат (аппаратура «Грот Н»). При решении данной задачи обычно полагается, что точность измерений псевдодальностей до каждого НКА имеет одинаковый порядок. При этом погрешность определения псевдодальности до зенитного НКА будет меньше чем до НКА, имеющих низкие углы места. Это обусловлено тем, что НРС аппарата с низким углом места проходит до НАП более протяженный путь. Поэтому погрешности, возникающие на трассе распространения НРС, оказывают на такой сигнал большее влияние.

При передаче широкополосных сигналов искусственные возмущения ионосферы, создаваемые на высотах 150...300 км, могут привести к возникновению частотно-селективных замираний (ЧСЗ) принимаемых навигационных радиосигналов СРНС. Это приведет к росту погрешности измерения времени запаздывания сигнала с

ЧСЗ и определяемой ею псевдодальности в $10 \dots 10^3$ раз по сравнению со случаем отсутствия ЧСЗ [2]. В этом случае многократно возрастет погрешность позиционирования. При этом СКО определения координат (СКО позиционирования), выдаваемое на блок индикации НАП, будет ошибочным, так как в НАП отсутствует алгоритм определения погрешностей измерений псевдодальностей в случае возникновения ЧСЗ радиосигнала. Кроме этого, существующая двухэтапная процедура определения вектора состояния потребителя на основе одномоментных измерений не позволяет правильно оценить величину погрешности определения псевдодальностей при возникновении ЧСЗ навигационных радиосигналов.

Целью статьи является разработка устройства, позволяющего определить величину СКО позиционирования в случае возникновения ЧСЗ навигационных радиосигналов при искусственных возмущениях ионосферы.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Известно [1, 3], что степень влияния погрешностей определения псевдодальностей (ΔD) на точность определения пространственно-временных координат (ПВК) потребителя (Δq) определяет ковариационная матрица погрешностей определения ПВК ($R_{\Delta q}$) [1,3,4,5]:

$$R_{\Delta q} = H^{-1} \cdot R_{\Delta D} \cdot (H^{-1})^T = (H^T \cdot R_{\Delta D}^{-1} \cdot H)^{-1}, \quad (1)$$

где H – матрица частных производных от дальностей, дифференцируемых по определяемым параметрам (матрица наблюдений), компонентами которой являются направляющие косинусы линии визирования i -го ($i=1 \dots 4$) НКА в гринвичской системе координат (ГСК); $R_{\Delta D}$ – весовая матрица измерений, на главной диагонали которой находятся дисперсии ошибок измерений псевдодальностей (σ_{Di}^2).

На главной диагонали матрицы $R_{\Delta q}$ расположены искомые дисперсии определения ПВК потребителя в ГСК: $\sigma_X^2, \sigma_Y^2, \sigma_Z^2, \sigma_\tau^2$.

Дисперсия позиционирования потребителя определяется выражением:

$$\sigma_q^2 = \sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2 + \sigma_\tau^2. \quad (2)$$

Обозначим матрицу, обратную матрице наблюдений, как

$$N = H^{-1} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & n_{13} & n_{14} \\ n_{21} & n_{22} & n_{23} & n_{24} \\ n_{31} & n_{32} & n_{33} & n_{34} \\ n_{41} & n_{42} & n_{43} & n_{44} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Тогда с учетом (3) и согласно (1) при условии невырожденности матрицы H диагональные элементы матрицы $R_{\Delta q}$ определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \sigma_X^2 &= n_{11}^2 \sigma_{D1}^2 + n_{12}^2 \sigma_{D2}^2 + n_{13}^2 \sigma_{D3}^2 + n_{14}^2 \sigma_{D4}^2; \\ \sigma_Y^2 &= n_{21}^2 \sigma_{D1}^2 + n_{22}^2 \sigma_{D2}^2 + n_{23}^2 \sigma_{D3}^2 + n_{24}^2 \sigma_{D4}^2; \\ \sigma_Z^2 &= n_{31}^2 \sigma_{D1}^2 + n_{32}^2 \sigma_{D2}^2 + n_{33}^2 \sigma_{D3}^2 + n_{34}^2 \sigma_{D4}^2; \\ \sigma_\tau^2 &= n_{41}^2 \sigma_{D1}^2 + n_{42}^2 \sigma_{D2}^2 + n_{43}^2 \sigma_{D3}^2 + n_{44}^2 \sigma_{D4}^2. \end{aligned} \quad (4)$$

В соответствии с (4) выражение (2) примет вид:

$$\begin{aligned} \sigma_q^2 = & \sigma_{D1}^2 (n_{11}^2 + n_{21}^2 + n_{31}^2 + n_{41}^2) + \sigma_{D2}^2 (n_{12}^2 + n_{22}^2 + n_{32}^2 + n_{42}^2) + \\ & + \sigma_{D3}^2 (n_{13}^2 + n_{23}^2 + n_{33}^2 + n_{43}^2) + \sigma_{D4}^2 (n_{14}^2 + n_{24}^2 + n_{34}^2 + n_{44}^2) = \sum_{i=1}^4 \left(\sigma_{Di}^2 \cdot \sum_{j=1}^4 n_{ji}^2 \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Значения элементов матрицы $N (n_{ij})$ зависят от ГВР потребителя и НКА. Таким образом, итоговая погрешность позиционирования (σ_q) в случае неравноточных измерений зависит как от погрешности определения псевдодальности до каждого НКА (σ_{Di}), так и от ГВР потребителя и НКА. Таким образом, для определения погрешности позиционирования необходимо определить ГВР потребителя и НКА (матрицу $N = H^{-1}$) и погрешность определения псевдодальностей до всех НКА (σ_{Di}).

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ИОНОСФЕРЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Выражение (5) позволяет определить погрешность позиционирования потребителя СРНС (σ_q), при условии известной величины СКО определения псевдодальностей (σ_{Di}). Наибольший вклад в погрешность определения псевдодальностей до НКА вносят ионосферные погрешности. В условиях невозмущенной ионосферы величина ионосферных погрешностей определения псевдодальности обычно не превышает 20 м [6].

Известно [7], что ионосфера является неоднородной средой. Существующие ионосферные неоднородности меняются во времени и зависят от различных факторов. Создаваемые искусственные возмущения ионосферы могут привести к возникновению мелкомасштабных неоднородностей с минимальными и максимальными размерами $L_m = 1\text{ м}$, $L_0 = 10^4\text{ м}$ соответственно и максимальной средней электронной концентрацией (ЭК) $\bar{N}_m = 2 \cdot 10^{12} \dots 2 \cdot 10^{14} \text{ эл/м}^3$. Это приведет к сильному возрастанию СКО флуктуаций ЭК в неоднородностях ионосферы $\sigma_{\Delta N}$, что обусловит сужение ширины полосы когерентности F_k трансionoсферного канала связи вследствие рассеивающих свойств ионосферных неоднородностей [7].

Полное значение полосы когерентности ΔF_k по мере увеличения $\sigma_{\Delta N}$ может сужаться до значений $\Delta F_k < 1\text{ МГц}$. В этом случае будет выполняться условие $\Delta F_0 / \Delta F_k > 1$ (где ΔF_0 – ширина спектра НРС) возникновения ЧСЗ принимаемых радиосигналов СРНС. Возникновение ЧСЗ приводит к большим погрешностям определения псевдодальностей (σ_{Di}) и, как следствие, большой погрешности позиционирования (σ_q). Другими словами, в случае возникновения ЧСЗ возникающие погрешности измерения псевдодальности будут многократно превосходить погрешности измерений, обусловленные влиянием тропосферы, многолучевости распространения сигнала, ошибками в эфемеридном обеспечении и т. д. Следовательно, в условиях сильновозмущенной ионосферы и возникновения ЧСЗ определяющими для величины σ_{Di} являются ионосферные погрешности, которые зависят от величины полного электронного содержания (I).

Величину полного электронного содержания (ПЭС) можно рассчитать в соответствии с [8], как:

$$I = \frac{f_0^2}{40,3} (D_k - D_\phi) = \frac{f_0^2 \cdot c}{40,3} (t_k - t_\phi), \quad (6)$$

где f_0 – несущая частота радиосигнала;

$D_k = c \cdot t_k$ и $D_\phi = c \cdot t_\phi$ – псевдодальности измеренные по коду и по фазе;

c – скорость распространения радиоволн в вакууме;

t_k и t_ϕ – время распространения сигнала, измеренное по коду и по фазе.

Имея ряд оценок ПЭС, проведенных за интервал времени T , можно получить значение СКО ПЭС:

$$\sigma_I = \sqrt{\int_0^T \left(I(t) - \bar{I}(t) \right)^2 dt}, \quad (7)$$

где $\bar{I}(t)$ – математическое ожидание величины ПЭС.

СКО флуктуаций ЭК в неоднородностях ионосферы согласно [7] определяется:

$$\sigma_{\Delta N} \approx \frac{\sigma_I \cdot \sin \gamma}{h_{\mathcal{E}}}, \quad (8)$$

где γ – угол места трассы распространения НРС (угол места НКА);

$h_{\mathcal{E}}$ – эквивалентная толщина ионосферы ($5 \cdot 10^5$ м).

Выражение, определяющее зависимость полной полосы когерентности трансionoсферного канала связи (ΔF_k) от величины $\sigma_{\Delta N}$, имеет вид [7]:

$$\Delta F_k = \frac{\sqrt{2} \cdot c \cdot f_0^2}{80,8 \cdot \pi \cdot \sigma_{\Delta N} \sqrt{L_0 \cdot h_{\mathcal{E}} \cdot \cos ec \gamma \cdot \left(1 + \frac{c^2 \cdot \cos ec^2 \gamma \cdot (h_{\mathcal{E}}^2 + h \cdot \Delta h)}{384 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L_0^2 \cdot L_m^2} \right)}}, \quad (9)$$

где L_m, L_0 – минимальный и максимальный размер ионосферных неоднородностей соответственно (от 10^0 до 10^4 м);

h – высота верхней границы ионосферы ($6 \cdot 10^5$ м);

$\Delta h = h - h_{\mathcal{E}}$.

Параметры навигационных сигналов в СРНС являются детерминированными величинами, параметры неоднородной ионосферы – случайными. Очевидно, что при низких углах места (γ) сигнал пройдет в ионосфере больший путь, а следовательно значение полной полосы когерентности (ΔF_k) уменьшается. Степень ЧСЗ ($\Delta F_0 / \Delta F_k$) такого сигнала будет выше. Исследования [7] показывают, что наибольших значений степень ЧСЗ радиосигнала достигает при размерах ионосферных неоднородностей $L_m = 1$ м, $L_0 = 390$ м. В дальнейшем исследовании данные размеры ионосферных неоднородностей примем за основу.

Знание величины полосы когерентности трансionoсферного канала (ΔF_k) необходимо для определения СКО определения псевдодальности до НКА (σ_D), которое определяется согласно [7], как:

$$\sigma_D = \frac{c}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta F_0 \cdot \bar{E}_r / N_0} \sqrt{\left(1 + \frac{4 \Delta F_0^2}{\pi \Delta F_k^2} \right)^2 + \frac{\bar{E}_r}{N_0} \left(1 + \frac{4 \Delta F_0^2}{\pi \Delta F_k^2} \right)^{3/2}}, \quad (10)$$

где \overline{E}_r / N_0 – отношение средней энергии принимаемого НРС (\overline{E}_r) к спектральной плотности мощности шума (N_0);

ΔF_k определяется в соответствии с (9).

Теперь, подставив полученное в (10) значение σ_D в выражение (5), найдем значение СКО позиционирования (σ_q) в случае возникновения ЧСЗ принимаемых

НРС. Регрессивная зависимость $\overline{\sigma}_q(\sigma_D)$ при значении $\sigma_{\Delta N} = 2 \cdot 10^{13} \text{ эл/м}^3$, когда ЧСЗ подвергается только один из четырех навигационных радиосигналов в созвездии, представлена на рисунке 1.

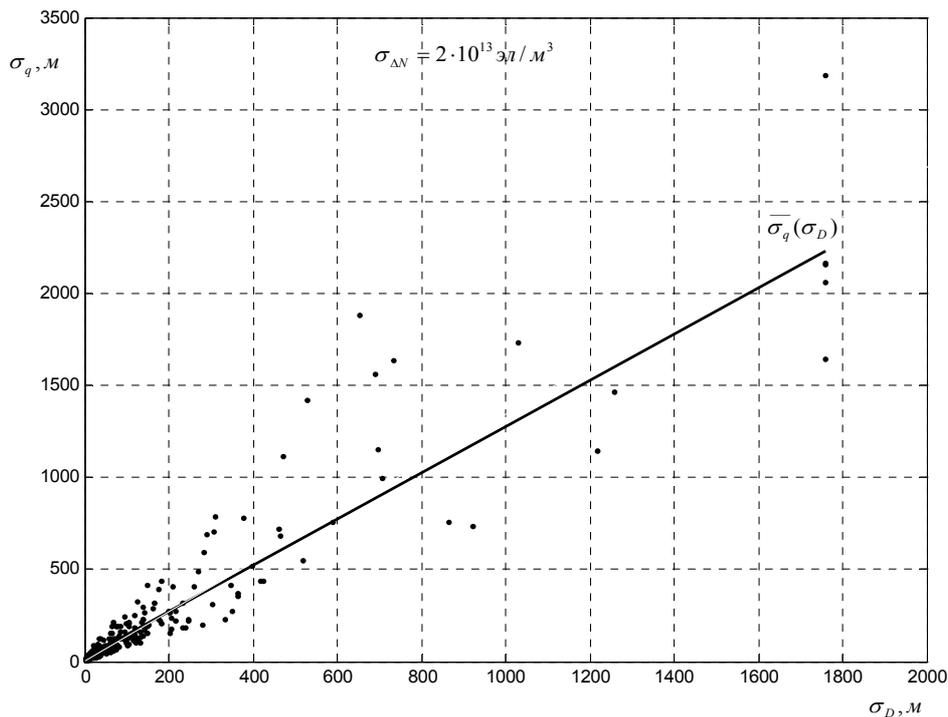


Рисунок 1 – Регрессивная зависимость СКО позиционирования от СКО определения псевдодальностей $\overline{\sigma}_q(\sigma_D)$ при $\sigma_{\Delta N} = 2 \cdot 10^{13} \text{ эл/м}^3$

График на рисунке 1 получен при следующих исходных данных:

- частота НРС $f_0 = 1.6 \text{ ГГц}$;
- размеры ионосферных неоднородностей $L_m = 1 \text{ м}$, $L_0 = 390 \text{ м}$;
- ширина спектра НРС $\Delta F_0 = 10 \text{ МГц}$;
- величина $\overline{E}_r / N_0 = 1000$.

Анализ графиков на рисунке 1 показывает, что зависимость СКО позиционирования (σ_q) от СКО определения псевдодальности (σ_D) не является линейной (точки на рисунке 1), так как σ_q зависит еще и от ГВР потребителя и НКА.

Построенная линия регрессии $\overline{\sigma}_q(\sigma_D)$ определяет линейное приближение σ_q от σ_D . При принятых исходных данных возрастание СКО флуктуаций ЭК до значения

$\sigma_{\Delta N} = 2 \cdot 10^{13} \text{ эл/м}^3$ приводит к возрастанию СКО определения псевдодальностей (σ_D) до 1800 м. Это приводит к погрешностям позиционирования, достигающим значений $\sigma_q \approx 2000 \dots 3000 \text{ м}$. Двукратное увеличение значения $\sigma_{\Delta N}$ приводит к увеличению СКО позиционирования до значений $\sigma_q \approx 7000 \dots 9000 \text{ м}$.

Таким образом, если в НАП решение навигационной задачи реализовано алгоритмами на основе одномоментных измерений псевдодальностей, и в момент измерений хотя бы один НРС подвергается ЧСЗ из-за возникновения ИВИ, погрешность позиционирования достигнет величины в несколько километров. Определить с высокой точностью величину этой погрешности можно только измерив значение ПЭС ионосферы (I). Двухэтапная процедура решения навигационной задачи на основе одномоментных измерений не позволяет это сделать, так как для определения величины I необходимо проводить измерения в течение некоторого интервала времени T .

УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СЛУЧАЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ЗАМИРАНИЙ ПРИНИМАЕМЫХ РАДИОСИГНАЛОВ

Известен способ измерения ПЭС ионосферы [6]. Устройство, позволяющее определять величину ПЭС в соответствии с данным способом, реализовано на базе одночастотного приемника с двухэтапной обработкой данных [1, 3] (рисунок 2).

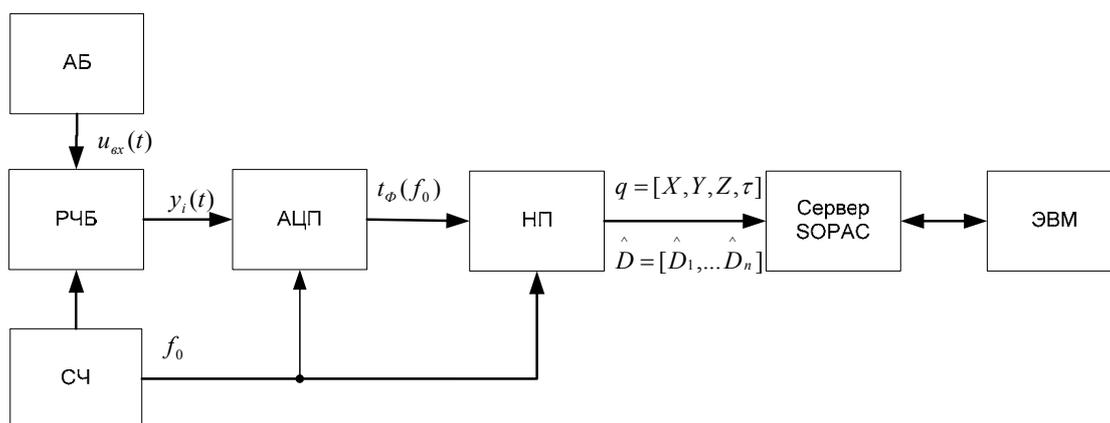


Рисунок 2 – Устройство определения ПЭС ионосферы на основе одночастотной НАП с использованием удаленного сервера SOPAC

Принцип работы данного устройства заключается в следующем: антенный блок (АБ) принимает электромагнитные колебания, излучаемые НКА. С выхода АБ напряжение $u_{вх}(t)$ поступает на вход радиочастотного блока (РЧБ), предназначенного для усиления и селекции принятых сигналов, а также понижения несущей частоты. Синтезатор частот (СЧ) формирует набор гармонических колебаний, необходимых для работы РЧБ, аналого-цифрового процессора (АЦП) и навигационного процессора (НП). АЦП производит поиск и слежение за параметрами сигнала (фазовым t_ϕ и кодовым t_k временем распространения сигнала), а также выделяет навигационное сообщение, передаваемое с частотой 20 Гц (то есть с периодом $T_{и} = 50 \text{ мс}$). В НП решается задача выбора рабочего созвездия навигационных спутников из числа видимых, декодирование навигационных сообщений, в том числе альманаха и эфемеридной информации, решение навигационной задачи с выдачей вектора состояния потребителя (q). Эти данные преобразуются в формат RINEX и по каналу

связи Internet поступают на сервер SOPAC [9] с интервалом $T_p = 30$ с. В сервере SOPAC результаты измерений ($\hat{D} = [\hat{D}_1, \dots, \hat{D}_n]$) хранятся в формате RINEX, предназначенном для хранения и передачи данных навигационных измерений и по запросу электронной вычислительной машины (ЭВМ) по каналу Internet поступают на ее вход. В ЭВМ, в соответствии с выражением (6) проводится расчет ПЭС (I).

На сервер SOPAC поступают данные измерений более чем с 1000 навигационных приемников, на рисунке 2 для удобства изображен лишь один (принцип работы остальных приемников аналогичен описанному выше).

Недостатками данного устройства являются:

- большое количество ручной работы (включая ручной выбор станций на сервере SOPAC) и длительное время обработки данных;
- необходимость передачи большого объема информации по каналам сети Internet.

Известно устройство измерения ПЭС ионосферы при одночастотном режиме работы систем спутниковой навигации без использования сервера SOPAC [10] (рисунок 3). Принцип работы блоков АБ, РЧБ, СЧ, АЦП данного устройства аналогичен работе этих же блоков устройства, представленного на рисунке 3. Отличие состоит в том, что вместо навигационного процессора введен блок вычисления ПЭС (БПЭС), в котором с интервалом 0,05 секунд, в соответствии с выражением (6), рассчитывается значение ПЭС (I). При этом устройство не связано с сервером SOPAC, а вычисленное значение ПЭС отображается в блоке индикации.

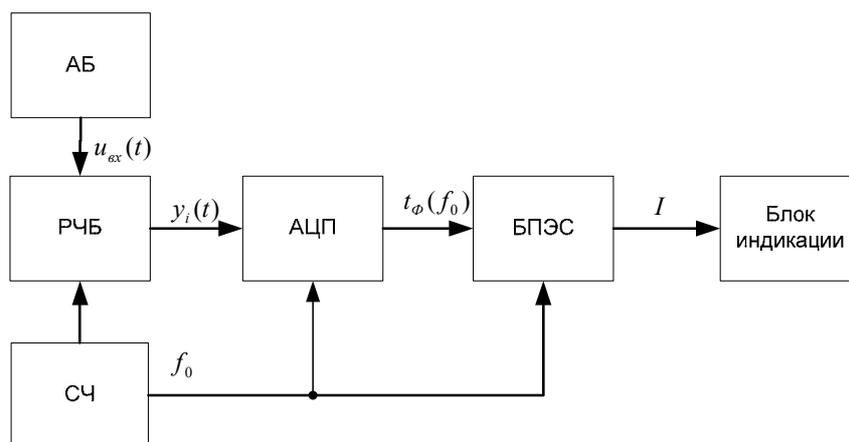


Рисунок 3 – Устройство определения ПЭС ионосферы на основе одночастотной НАП без использования сервера SOPAC

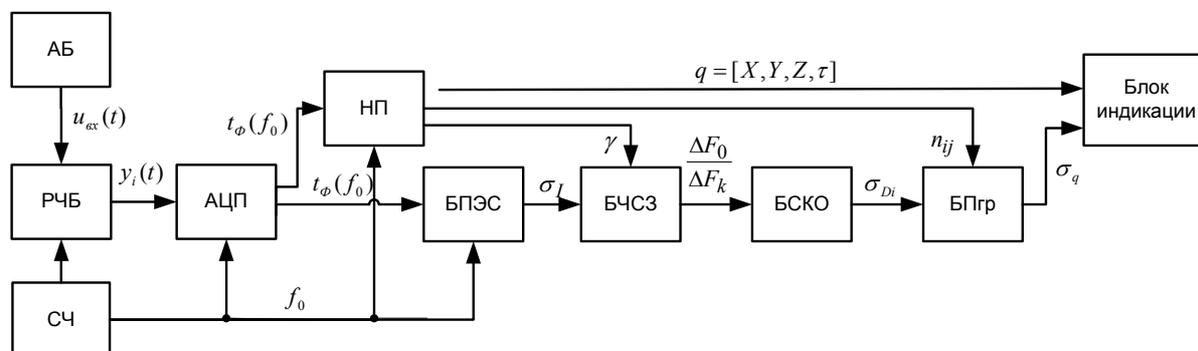


Рисунок 4 – Устройство определения погрешности позиционирования при возникновении ЧСЗ радиосигнала

Данное устройство позволяет определить величину ПЭС, но не дает возможность потребителю СРНС провести сеанс позиционирования вследствие отсутствия навигационного процессора.

На базе устройств, приведенных на рисунках 2 и 3, предлагается устройство, которое позволит потребителю получать свои координаты, а также информацию о погрешности позиционирования с учетом величины ПЭС в ионосфере (рисунок 4).

В данном устройстве процедура определения координат потребителя разбивается не на два, а на три этапа.

На первом этапе в течение интервала времени T (1...2 сек) АБ принимает электромагнитные колебания, излучаемые НКА. С выхода АБ напряжение $u_{\text{вх}}(t)$ поступает на вход РЧБ, предназначенного для усиления и селекции принятых сигналов, а также понижения несущей частоты. СЧ формирует набор гармонических колебаний, необходимых для работы РЧБ, АЦП, НП, БПЭС. АЦП производит поиск и слежение за параметрами сигнала, а также выделяет навигационное сообщение, передаваемое с частотой 20 Гц. Фазовые ($t_{\text{ф}}$) и кодовые ($t_{\text{к}}$) оценки времени распространения сигнала с выхода АЦП поступают на вход НП и на вход блока БПЭС.

На втором этапе в блоке БПЭС, используя накопленные за время T оценки $t_{\text{ф}}$ и $t_{\text{к}}$, в соответствии с выражениями (6) и (7) с интервалом 0,05 секунд происходит вычисление ПЭС ионосферы (I) и СКО ПЭС (σ_I).

На третьем этапе обработки в НП решается задача выбора рабочего созвездия навигационных спутников из числа видимых, декодирование навигационных сообщений, решение навигационной задачи с выдачей координат и параметров движения объекта q . Рассчитанное в блоке БПЭС значение σ_I поступает на вход блока расчета степени ЧСЗ сигнала (БЧСЗ).

Также на вход БЧСЗ поступают рассчитанные в НП значения углов места γ всех видимых НКА. В блоке БЧСЗ в соответствии с выражениями (8) и (9) последовательно вычисляются значения $\sigma_{\Delta N}$ и ΔF_k для всех (i) навигационных радиосигналов. Рассчитанное значение степени ЧСЗ ($\Delta F_0/\Delta F_k$) поступает на вход блока расчета СКО определения псевдодальности (БСКО), где в соответствии с выражением (10) вычисляются значения σ_{D_i} для всех навигационных радиосигналов. Рассчитанные в БСКО значения σ_{D_i} передаются на вход блока расчета погрешности позиционирования (БПгр). Также на вход блока БПгр поступают рассчитанные в НП элементы матрицы N (3). В блоке БПгр в соответствии с выражением (5) рассчитывается величина СКО позиционирования σ_q .

Рассчитанные в НП вектор состояния потребителя q и в БПгр величина СКО позиционирования σ_q отображается в блоке индикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования и представленных рисунков можно сделать следующие выводы.

1. При возникновении ЧСЗ навигационных радиосигналов погрешность определения псевдодальностей σ_D согласно (9) и (10) зависит от величины СКО флуктуаций ЭК в неоднородностях ионосферы ($\sigma_{\Delta N}$), угла места НКА, сигнал которого подвергается ЧСЗ (γ), и размеров ионосферных неоднородностей L_0 и L_m . При сильных возмущениях ионосферы СКО позиционирования (σ_q) достигает значения нескольких километров

2. Существующая двухэтапная процедура определения вектора состояния потребителя на основе одномоментных измерений при возникновении ЧСЗ хотя бы

одного НРС приведет к большим погрешностям позиционирования. При этом выдаваемая аппаратурой величина погрешности позиционирования будет ошибочной, так как не будут учтены погрешности определения псевдодальностей из-за ЧСЗ, являющиеся в данном случае определяющими для погрешности позиционирования (σ_q).

3. Использование устройства, представленного на рисунке 4, позволяет оперативно получать оценки погрешности позиционирования потребителя СРНС (σ_q), определяя непосредственно в навигационном приемнике без использования сети Internet величину ПЭС и зависящую от нее величину погрешности определения псевдодальностей. Накопление в течение периода времени T навигационных измерений позволяет решать навигационную задачи не только алгоритмами на основе одномоментных измерений, но и используя алгоритмы на основе измерений нарастающего объема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харисов В.Н., Перова А.И., Болдина В.А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. – М.: ИПРЖР, 1998. – 400с.
2. Пашинцев В.П., Солчатов М.А., Спирина А.М., Катков К.А. Оценка погрешности измерения псевдодальности в спутниковых радионавигационных системах при возмущениях ионосферы в слое F // Физика волновых процессов, 2007. – Том 10. – №6. – С. 8 – 13.
3. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
4. R.B.Langley. Dilution of precision.// GPS World, Advanstar Communications, Eugene, OR 97401, 2000, USA – p.p. 11-19.
5. Jiexian Wang, H Baku. Caiping Lu Dependency of GPS positioning precision on station location/ GPS Solutions, 2002 – №6 – p.p.91-95.
6. Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. – 480с.
7. Пашинцев В.П., Солчатов М.Э., Гахов Р.П. Влияние ионосферы на характеристики космических систем передачи информации: монография. – М.: Физматлит, 2006. – 184 с.
8. Nisner P., Trethewy V., GPS Ionospheric Determinations Using LI Only// Proceeding of the 5th International conference on “Differential Satellite Navigathion System”. Additional Volume, St. Peterburg, Russia, May, 1996.
9. [Электронный ресурс]: <http://igscd.gpl.nasa.gov:80/igscd/data/format;ftp://sopac.ucsd.edu>.
10. Галушко Ю.И., Пашинцев В.П., Спирина А.М. Устройство измерения полного электронного содержания ионосферы при одночастотном режиме работы систем спутниковой радионавигации //Патент России на полезную модель №76462 от 20.09.08.

Катков Константин Александрович

Ставропольский военный институт связи Ракетных войск, г. Ставрополь
Старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории
Тел. 89188619802
E-mail: kkatkoff@mail.ru

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МОДУЛЕЙ КОРПОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

Информация – это важный актив компании и ее конкурентное преимущество. При нынешней сложившейся ситуации в экономике (увольнение работников и снижение эффективности работы из-за сокращения расходов) перед корпорациями встает необходимость обеспечения гибкого поиска по всем корпоративным данным, а также расширение прогнозирования колебаний спроса.

Ключевые слова: информационные технологии; корпоративные информационные системы; кризис; прогнозирование.

The information is an important active of the company and its competitive advantage. In such economic situation we face the dismissal of workers and the decrease of the efficiency because of the reduction of expenses, corporations feel the necessity of the provision of flexible search in whole corporate data and also forecasting expansion of demand fluctuations.

Keywords: Information technology; corporate information system; crisis; prediction.

Корпоративная информационная система (КИС) – это совокупность информационных систем отдельных подразделений предприятия, объединенных общим документооборотом; каждая из систем выполняет часть задач по управлению принятием решений, а все системы вместе обеспечивают функционирование предприятия.

Возникающие во время кризиса проблемы: недостаток информации при принятии решений, невозможность проводить сложный анализ, значительные затраты времени профессионалов на рутину, трудности в качественной передаче управленческих решений сверху вниз и обратной связи снизу вверх, – решаются внедрением корпоративной информационной системы для управления бизнес-процессами компании.

В сегодняшней ситуации корпоративные информационные системы развиваются по трем основным сценариям:

1. Полная отмена всех программ развития информационных технологий (ИТ) и сокращение персонала ИТ-служб на период кризиса. Поддерживается лишь самый минимальный набор базовых функций корпоративной информационной системы. Данный подход характерен для компаний, деятельность которых (качество работы, оперативность, уровень обслуживания заказчиков и др.) практически никоим образом не зависит от информационных технологий.

2. Максимальное сохранение всего существующего функционала и масштабов корпоративных ИС в условиях достаточно серьезной оптимизации ИТ-бюджетов и, возможно, сокращения персонала ИТ-служб. Резервы для экономии изыскиваются за счет замещения традиционных средств информатизации альтернативными – менее затратными инструментами.

3. Реализация новых программ развития корпоративных информационных систем для формирования новых конкурентных преимуществ компании в период кризиса. Однако и в этом случае первоочередное значение приобретает минимизация инвестиций, направляемых на развитие корпоративных систем.

Основываясь на третьем сценарии, можно предположить, что объем информации, находящийся внутри компании, постоянно возрастает. Значительную часть корпоративных документов составляют web-страницы, электронные письма, аудио- и видеофайлы, поиск которых обычными средствами, предусмотренными

корпоративной информационной системой, зачастую не только неэффективен, но и невозможен из-за отсутствия специальных сервисов. Указанные факты являются основным препятствием на пути к полноценной КИС.

Неструктурированная информация составляет более 80% оперативных документов компаний, что порождает огромные потери времени на поиск информации. В настоящее время во многих корпоративных системах отсутствует единый поиск по всем документам. В разных информационных приложениях есть, как правило, своя локальная система поиска, то есть для того, чтобы найти требуемую информацию, необходимо выполнить самостоятельный поиск в каждом из имеющихся приложений.

Самой главной проблемой внедрения и развития КИС является отсутствие у руководителей осознания необходимости оптимизации корпоративных информационных ресурсов. Из-за ненайденной вовремя информации могут возникнуть последствия, которые выражаются в:

- принятии ошибочных решений из-за отсутствия или недостатка информации;
- дублировании одной и той же работы несколькими сотрудниками;
- сокращении объемов продаж из-за того, что клиенты не могут найти на сайте компании нужной им информации о продукте или услуге;
- снижении производительности труда сотрудников из-за потерь времени на поиск;
- потере ценной информации, которую сотрудники хранят у себя на компьютерах;
- большом количестве времени ответа на просьбы и запросы клиентов.

Одним из вариантов решения проблем является универсальная система корпоративного поиска.

Основными критериями выбора среди имеющихся систем корпоративного поиска являются:

- быстрота и удобство поиска;
- универсальность решения для всех источников данных;
- поддержка большого числа форматов данных;
- компетентная оперативная техподдержка;
- известность, репутация и опыт поставщика;
- качество и надежность решения;
- простота и сжатые сроки внедрения.

Вторым направлением развития модулей КИС в современных условиях является необходимость оценки колебаний спроса. Как бы эффективно не были выстроены бизнес-процессы внутри предприятия, неточно спрогнозированный спрос, который в период кризиса нестабилен, может нанести заметный урон бизнесу, причем имеется ввиду многопараметрическая оценка, учитывающая не только падение, но и изменение структуры спроса.

Методы прогнозирования не замыкаются на попытках простейшими методами спроецировать ситуацию прошлого на будущее. Вместе с этим практически не используется тесная ассоциация технологий прогнозирования с простой линейной экстраполяцией. В случае стремительного роста бизнеса элементарный метод линейного предсказания часто вырождается в стремление запасти столько ресурсов, сколько окажется возможным.

Одним из решений данной проблемы является использование непосредственно информационных технологий прогнозирования, которые должны являться одной из

главных составных частей корпоративной системы. Основными же ограничениями, которые, прежде всего, ассоциируются с применением продуктов прогнозной аналитики, являются их высокая стоимость, сложность и отчасти незрелость российского рынка в отношении их применения.

Развитие корпоративной автоматизации в кризисной ситуации, крайне высокие цены, связанные с практической реализацией подобного функционала на площадке заказчика, в значительной степени являются неподтвержденными. Средствами электронных таблиц, встроенных функций широко распространенных серверов баз данных в этом направлении можно продвинуться достаточно серьезно.

Прогнозирование – это, как минимум, способность всех вовлеченных специалистов работать в терминах статистики и теории вероятности, а в лучшем случае – умение и готовность применять более сложные, но и более совершенные и опробованные методики предсказаний. Речь идет не о знании научных дисциплин, а о культуре управления. Попытки сузить границы неопределенности за счет технологий могут быть связаны не столько непосредственно с продуктом, сколько с человеческим ресурсом.

Здесь же следует заметить, что расходы на повышение квалификации сотрудников в не самые простые для бизнеса времена часто первыми исключаются. Сейчас сотрудники, опасаясь увольнения или, по крайней мере, сокращения собственных доходов, сами мотивированы на хорошую работу. Однако всё это не может заменить качества подготовки в области использования новых информационных технологий.

Поскольку соответствующие алгоритмы, что хорошо известно, очень чувствительны к входным данным, подходить к характеристикам корпоративного информационного ресурса следует особенно взвешенно. Здесь, прежде всего, необходимо достичь баланса таких характеристик, как полнота информации, ее точность, достоверность и, конечно же, стоимость владения информационным ресурсом.

Тема неопределенности перспектив развития стоит перед бизнесом всегда, а значит, она не связана с кризисными явлениями напрямую. Сейчас границы возможных колебаний ничуть не уменьшились количественно, временные горизонты более или менее ясных перспектив при этом сильно сократились. Наряду с ожидаемым падением может сложиться ситуация ухода конкурента с рынка. И тогда надо будет быстро «подхватить» его клиентов, что приведет к некоторому, пусть и локальному, всплеску активности, не говоря уже о том, что в среднесрочной перспективе надо будет разглядеть и стабильный подъем. Кривая активности бизнеса во времени таким образом может оказаться далеко не монотонной, а выглядеть значительно сложнее, чем это было ранее.

Вслед за этим более рельефно начинает осознаваться тезис о том, что неопределенность ситуации далеко не всегда является следствием недостаточности собранной нами информации. Все чаще мы имеем дело с фундаментальным принципом, согласно которому вне зависимости от наличия исходных данных предсказать картину развития бизнеса можно только с определенной степенью вероятности, величина которой, к тому же, существенно зависит от горизонта прогнозирования.

Надо сказать, что отмеченных моментов уже вполне достаточно, чтобы говорить о вероятном смещении приоритетов в области использования информационных технологий в период кризиса. А так как корпоративная

информационная система – это комплекс взаимосвязанных информационных систем и сервисов, обеспечивающих функционирование и развитие средств информационного взаимодействия предприятия, то КИС является не просто фундаментом для существования любой современной компании, а в настоящее время становятся стратегическим активом, который является движущей силой бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипенков С. П., Голубев Д.Л., Максименко О.В. Хранилища данных. От концепции до внедрения. – М.: Диалог-МИФИ, 2002. – 528 с.
2. Животова Е.Л., Солнцева М.С., Степанов А. Корпоративное управление: направление дискуссий // Корпоративные финансы. – 2008. – № 4(8). – С. 124-144.
3. Sperley, Eric. The Enterprise Data Warehouse. Planning, Building, and Implementation. – V.1. – Vilnius: 2008. - 400 стр., с ил.; ISBN 5-8459-0191-X

Ноздрачева Варвара Александровна

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры «Информационные системы»

E-mail: blaze_rain@list.ru

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В ПРОЦЕССАХ СВ-СИНТЕЗА

С применением методов кластерного анализа получены математические зависимости свойств конечного продукта СВ-синтеза в системе Ni-Al от времени механоактивации исходной смеси порошков. Даны практические рекомендации по выбору оптимальных технологических режимов механоактивации в процессах СВ-синтеза при введении в исходную смесь порошков инертных добавок.

Ключевые слова: оптимизация; кластерный анализ; многофакторный; механоактивация; моделирование; самораспространяющийся высокотемпературный синтез.

Using cluster analysis methods experimental dependence of SH-synthesis product in Ni-Al system on mechanical activation duration of initial mixture was obtained. Recommendations for optimal technological regimes choice were given at SH-synthesis processes with inertial additions into initial mixture.

Keywords: optimization; cluster analysis; multiple-factor; mechanical activation; modeling; self-propagating high-temperature synthesis.

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы являлось применение статистических методов факторного анализа для выяснения влияния и определения оптимальных значений технологических параметров предварительной механоактивации дополнительных компонентов, вводимых в основную шихту, на процесс самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС, СВ-синтез) и свойства целевых продуктов. Дополнительные компоненты представляли собой инертный порошковый материал из остатков конечного продукта синтеза в системе Ni-Al. Технологический процесс «механоактивация-СВС» рассматривался для простоты в виде модели «черного ящика» с входными управляемыми воздействиями и выходными откликами на них, которые в своей совокупности рассматривались как полное пространство состояний системы. Вся математическая обработка производилась в пакете программ Origin Pro 8.0 фирмы OriginLab Corporation, специально предназначенном для численного и статистического анализа данных экспериментальных и научной графики.

Анализ полученных результатов показал, что поле экспериментальных данных имеет многофакторный характер. Во-первых, это входные параметры: время механоактивации ($t_{ма}$), тип порошка алюминия, процент добавки оборотов в шихту (%об), условия хранения механоактивированных добавок (воздух-аргон), время хранения механоактивированных добавок, дата проведения опытов. Параметрами отклика нами были определены следующие экспериментальные данные: тепловая полуширина волны горения (h), скорость волны горения (V), коэффициент адиабатического прогорания (S), температура в зоне догорания (T), плотность пикнометрическая (ρ), открытая пористость (Π).

В результате предварительного регрессионного анализа выяснилось, что для всего «в целом» набора экспериментальных данных не удастся обнаружить общей зависимости, однозначно характеризующей связь наиболее важного входного управляемого воздействия – времени механоактивации с выходными данными, характеризующими реакционную способность шихты и свойства конечного продукта.

В связи с этим был проведен кластерный анализ факторного пространства входных и выходных параметров.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ФАКТОРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Анализ факторного пространства базируется на методике парных сравнений, когда каждый результат эксперимента представляется точкой в евклидовом пространстве – порядок между парами объектов (по «сходству») можно представить порядком внутри парных расстояний [1]. Таким образом, экспериментальные точки будут сгруппированы в компактные множества (кластеры) в выбранном факторном пространстве. Внутри кластеров, за счет их близости и сходства, будет обеспечена однородность условий протекания синтеза и воспроизводимость свойств материалов, ввиду их функциональных зависимостей от входных параметров. Таким образом, необходимо решить следующие задачи:

а) получить корреляционные зависимости между входными параметрами процесса механоактивации и откликами факторов, определяющих реакционную способность св-синтеза;

б) сгруппировать экспериментальные данные в компактные и однородные, по условиям проведения эксперимента, – «кластеры» в разных подпространствах многомерного пространства выходных откликов.

при этом важнейшим является вопрос, как построить шкалу на ограниченном множестве данных, чтобы она обеспечивала гомоморфизм неприводимой эмпирической системы с отношениями в числовую систему с отношениями [2].

для таблицы исходных данных [3] факторное пространство откликов имеет размерность 6 и определяется четырьмя теплофизическими характеристиками волны горения: h , v , t , s и двумя физико-механическими параметрами: ρ , μ . общее число проекций шестимерного пространства откликов в двумерное факторное пространство отношений равно 15.

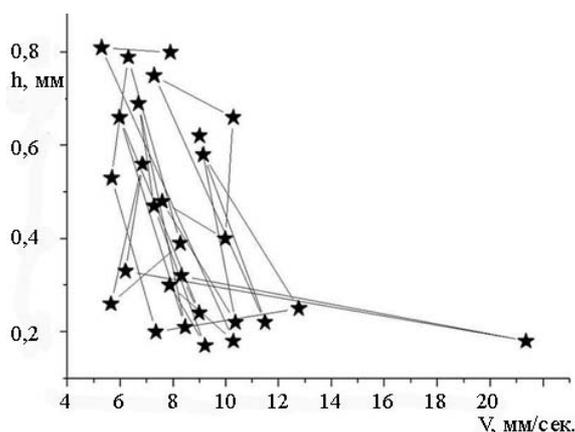


Рисунок 1 - Сортировка факторного пространства hV по времени механоактивации

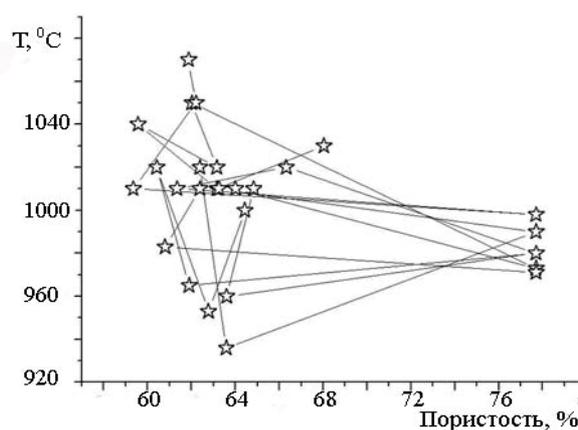


Рисунок 2 - Сортировка факторного пространства TP по времени механоактивации

Для исследования топологии кластеров в этом фазовом пространстве откликов нами были выбраны основные шесть подпространств парных отношений из соображений исключения избыточности и имеющейся физической корреляции между некоторыми из них, например, между плотностью и пористостью или (V, h) и S . На рисунках 1 и 2 изображены соответственно пространства hV и TP , упорядоченные по

входному параметру $t_{ма}$. Здесь видно, что без разделения на кластеры линии сортировки по $t_{ма}$ соединяют далеко топологически расположенные точки и в этих подпространствах необходимо производить более подробный кластерный анализ, как показано далее на рисунках 3 и 4.

Для остальных факторных пространств: rv , tv , hr , sv характерно отсутствие регрессионных зависимостей в парных отношениях, и они исключены из дальнейшего анализа.

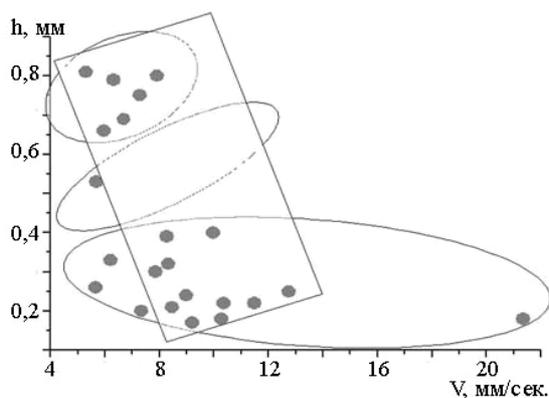


Рисунок 3 - Определение характерных кластеров в факторном пространстве hV

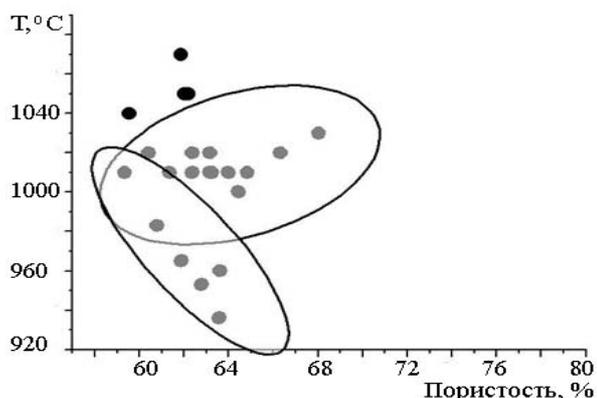


Рисунок 4 – Определение характерных кластеров в факторном пространстве TP

Из двух факторных пространств откликов hv и tp , выбранных нами по признаку наличия существенной регрессионной зависимости парных отношений, наибольший интерес представляет факторное пространство парных отношений hv .

Кластерный и групповой анализ в несмежном факторном пространстве $h-v$

Как известно, скорость распространения фронта горения и фундаментальная длина локализации диссипативных тепловых структур в волне горения свс (или тепловая полуширина волны горения h) достаточно полно характеризует реакционную способность шихты [3].

Основной трудностью кластерного анализа в этом пространстве является сильная зависимость h от скорости горения. Как видно из рисунка 1, при сортировке экспериментальных точек в факторном пространстве hv по времени механоактивации – $t_{ма}$, которая изображается линиями, соединяющие экспериментальные точки по мере возрастания $t_{ма}$, наблюдается топологическая близость линий сортировки, но не самих экспериментальных точек.

По этому топологическому признаку близости нами был выбран первый кластер $hv1$, изображенный на рисунке 3 в виде прямоугольника. На рисунке 5 приведен результат анализа факторного влияния времени механоактивации в кластере $hv1$.

Видно, что в этом кластере при одном и том же времени механоактивации экспериментально наблюдаются совершенно различные характеристики реакционной способности, в частности $tpш - h$, что означает отсутствие зависимости между входными параметрами и выходными откликами. На основании этого данный кластер был исключен из анализа. Аналогичная картина наблюдалась в кластере $hv2$,

изображенном на рисунках 3 и 6, где кроме линий связи сортировки приведена линия регрессии между h и v .

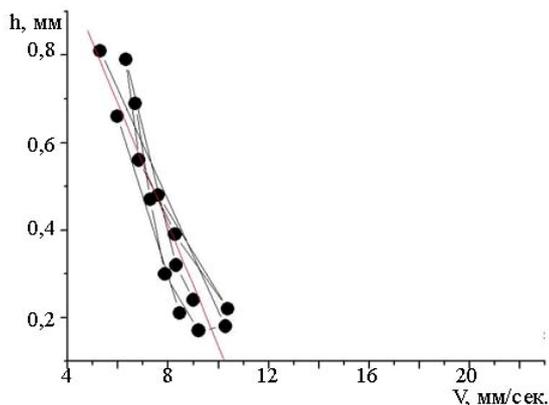


Рисунок 5 - Анализ факторного влияния времени механоактивации в кластере $hV1$

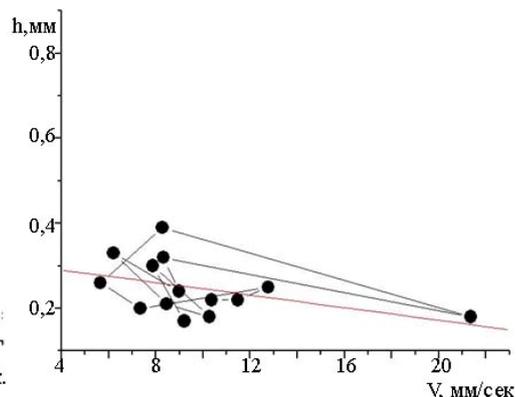


Рисунок 6 - Анализ факторного влияния времени механоактивации в кластере $hV2$

Топологическим признаком кластера $hV2$ являлось группирование экспериментальных точек ниже уровня 0,4 мм, по параметру h , слабая регрессионная зависимость также подтверждает его несущественную роль для дальнейшей обработки. наиболее интересным топологическим кластером в фазовом пространстве hV являлся кластер $hV3$, в который вошли две точки с эталонами реакционной способности шихты. как видно из рисунка 7, в данном кластере наблюдается высокая степень линейной регрессионной зависимости с погрешностью менее 1%. данный кластер явился опорным планом и основой для построения робастных оценок при дальнейшем проведении неметрического факторного анализа других несмежных подпространств, таких как: tV , tV , SV , GV и других [4].

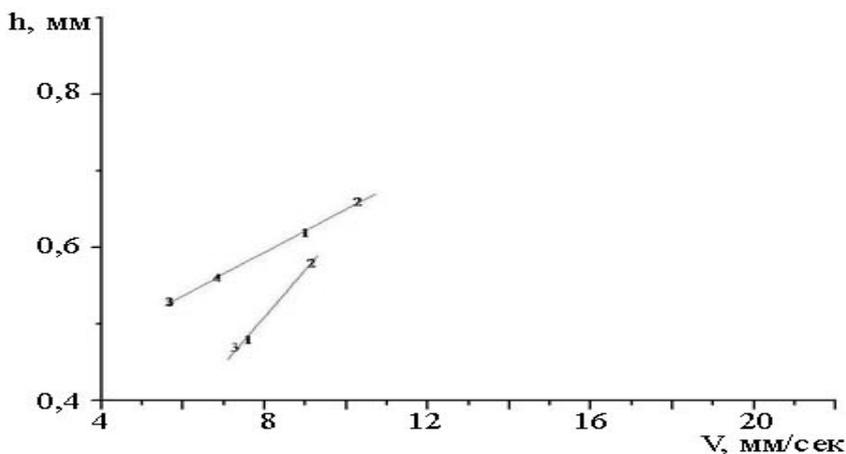


Рисунок 7 - Анализ факторного влияния времени механоактивации в кластере $hV3$

Оставшиеся экспериментальные точки были объединены в кластер $hV4$, который также представлял интерес для дальнейшего анализа, хотя регрессионные связи между h и V более слабые, чем в кластере $hV3$.

Кластерный и групповой анализ в несмежном факторном пространстве t-п

Для расширения анализируемой базы экспериментальных данных и обнаружения общих закономерностей влияния режимов механоактивации на технологические параметры синтеза и свойства СВС-фильтров был применен метод кластерного и группового анализа в несмежном факторном подпространстве ТП. Выбор данного подпространства обуславливался тем, что оно одно из пяти оставшихся подпространств является ортогональным и несмежным подпространству hV , т.е. обладает наиболее информативными дополнительными свойствами. Особенность методики кластерного анализа в несмежном подпространстве заключается в том, что при разбиении экспериментальных точек на кластеры учитывается не только их топологическая близость, но и «схожесть» по признаку принадлежности к одному и тому же кластеру в сопряженном подпространстве hV .

Как видно из рисунков 2 и 4, игнорирование этой особенности позволяет первоначально разбить подпространство ТП на два кластера, внутри которых не обнаруживается устойчивой регрессионной зависимости как в пространстве откликов ТП, так и при сортировке их по входному воздействующему параметру $t_{ма}$. Проведенный групповой анализ метрического факторного эксперимента по всей сводной таблице экспериментальных данных позволил выделить 13 экспериментальных точек в подпространстве ТП, которые по топологическому признаку близости были разбиты на четыре кластера ТП1–ТП4 (рисунок 8). Следует отметить, что не все экспериментальные точки, находившиеся в одном кластере в подпространстве hV , попали соответственно в один и тот же кластер в подпространстве ТП, т.к., по-видимому, в подпространствах hV и ТП одни и те же входные параметры не одинаково значимы для факторов отклика, хотя в основном (до 70%) однокластерных данных в подпространстве hV сгруппировались также в один кластер из подпространства ТП.

Основные результаты оптимизации технологических параметров

Первым интересным результатом, который дал групповой анализ зависимости h от времени механоактивации, явилось проявление во всех четырех случаях обратной экспоненциальной зависимости $h(t_{ма})$, которая была установлена ранее в кластере $hV3$.

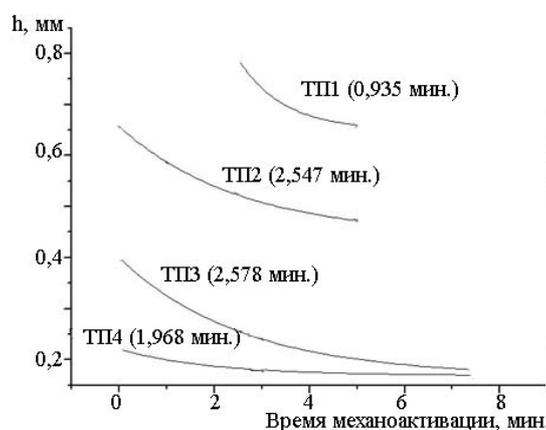


Рисунок 8 – Семейство экспериментальных зависимостей тепловой полуширины волны горения от времени механоактивации по всем кластерам

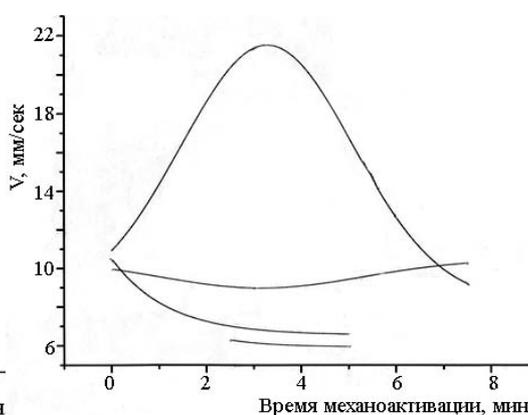


Рисунок 9 – Семейство экспериментальных зависимостей скорости фронта горения от времени механоактивации по всем кластерам ТП

Такое совпадение не представляется случайным. Особенно с учетом того, что в наиболее репрезентативных кластерах ТП2 и ТП3 эффективное время механоактивации совпало с точностью до 1%. В кластере ТП-4, содержащем порошки обоих типов, с временем механоактивации $t_{ма}$ до 7,5 мин эффективное время механоактивации уменьшилось до 1.96 мин. Другим важным для оптимизации технологического процесса фактором является минимальное значение эффективного времени механоактивации, обнаруженное в кластере ТП1 и его значение не превысило 1 мин. Эти особенности кластеров ТП1 ТП4 могут быть теоретически объяснены возникновением в процессе механоактивации устойчивых агломератов с одинаковой фрактальной структурой упаковки частичек порошка [5], что в данном случае подтверждается семейством экспериментальных зависимостей, а именно скорости волны горения от времени механоактивации, приведенном на рисунке 9.

Видно, что только в кластере ТП2 наблюдалось проявление эффектов адсорбции и десорбции газов на поверхности механоактивированных добавок и влияние его на аэродинамические параметры фильтрации газов в режиме горения. Дополнительным фактором для данного кластера мог оказаться и небольшой срок хранения активированной шихты. Для кластера ТП3 отмечено снижение скорости горения от времени механоактивации, что также может быть связано либо с менее интенсивным режимом процесса механоактивации или «старением» порошка. Влияние механоактивации на аэродинамику горения и скорость распространения волны СВС подтверждается полученной ранее закономерностью пористости от времени механоактивации в кластере hV3. Причем максимум пористости в кластере hV3 и максимум скорости фронта горения в кластере ТП2 наблюдаются на одном и том же эффективном значении времени механоактивации $t_{ма} \approx 2,5$ минуты.

ВЫВОДЫ

Применение методики разбиения полного набора экспериментальных данных на отдельные кластеры по топологическому признаку близости откликов системы позволило выделить однородные по условиям проведения и воспроизводимости технологических параметров процессов механоактивации и СВС-синтеза результаты. Это удалось за счет того, что часть технологических параметров, которые являются неуправляемыми и только регистрируются контрольно-измерительной аппаратурой, были включены в пространство откликов системы, где потом использовались в качестве дополнительных координат факторного пространства и определения степени «близости» точки к локализованному кластеру. Таким образом, было уменьшено влияние разброса значений самопроизвольно устанавливающихся технологических параметров, которое без применения этого похода проявлялось в виде случайной помехи, в результате чего не удавалось найти общую закономерность влияния оптимизируемых входных величин на выходные, характеризующих целевые показатели СВ-синтеза. Одинаковый вид найденных регрессионных кривых и закономерности в поведении семейства экспериментальных зависимостей хорошо согласуются с физическими механизмами формирования структуры материала в процессе механоактивации. К недостаткам данного метода можно отнести эффект «прореживания» статистических данных и возникающую проблему репрезентативности выборки. Но этот вопрос можно решить в случае создания универсальной информационно-диагностической системы факторного анализа конкретного производственного процесса, которая будет оптимизировать не только технологический режим работы, но и управлять физическим экспериментом во время наладки и испытания оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пфанцагль И. Теория измерений. – М.: Мир, 1976. – 248 с.
2. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ : пер. с англ.– М.: Финансы и статистика, 1989.- 215 с.
3. Евстигнеев В.В., Гуляев И.В., Милюкова И.В., Долматов А.В., Яковлев В.И., Логинова М.В. Исследование реакционной способности шихты с нестандартными и механоактивированными компонентами, их влияние на технологические параметры синтеза и свойства СВС-фильтров. – Депонир. в ВНИИЦентр, № гос. рег.: 01200304221, инв. № 02.2003.03298. – Барнаул: АлтГТУ, 2003. – 62 с.
4. Гуляев П.Ю., Милюкова И.В. Кластерный анализ механоактивированных наноструктур в СВС-материалах // Ползуновский альманах, 2007. – №3. – С.16-18.
5. Гуляев П.Ю., Долматов А.В., Милюкова И.В., Трифонов А.Л., Ширяев С.А. Моделирование фрактальных структур упаковок порошковых материалов // Ползуновский альманах, 2007. – №3. – С. 39-41

Гуляев Павел Юрьевич

ГОУ ВПО «Югорский государственный университет», г. Ханты-Мансийск
Доктор технических наук, профессор кафедры «Физики и общетехнические дисциплины»
Тел. 8-(3467)-357-595
E-mail: P_Gulyaev@ugrasu.ru

Милюкова Ирина Васильевна

ГОУ ВПО «Югорский государственный университет», г. Ханты-Мансийск
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт»
Тел. 8-(3467)-357-797
E-mail: I_Milykova@ugrasu.ru .

Адрес редакции:

Орловский государственный технический университет
302020,
г. Орел, Наугорское шоссе, 40
(4862) 43-40-39; www.ostu.ru;
E-mail: isit@ostu.ru

Технический редактор Г.А. Константинова
Корректор Г.А. Константинова
Компьютерная верстка Г.А. Константинова

Сдано в набор 25.03. 2009 г.
Подписано в печать 2.04.2009 г.
Формат 70x108 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,2.
Тираж 300 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.