

№ 6/56(569) ноябрь-декабрь 2009

Издается с 2002 года. Выходит шесть раз в год

Учредитель - ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет»

*Редакционный совет:*Голенков В.А., *председатель*Радченко С.Ю., *зам. председателя*

Борзенков М.И., Константинов И.С.,

Колчунов В.И., Новиков А.Н.,

Попова Л.В., Степанов Ю.С.

Главный редактор:

Константинов И.С.

Редколлегия:

Архипов О.П., Аверченков В.И.,

Гайндрик К.Г., Еременко В.Т.,

Иванов Б.Р., Иванников А.Д.,

Ипатов О.С., Колоколов Ю.В.,

Корндорф С.Ф., Коськин А.В.,

Подмастерьев К.В., Поляков А.А.,

Распопов В.Я., Сотников В.В.,

Шкатов П.Н.

*Адрес учредителя журнала:*302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 43-48-90; www.ostu.ru; E-mail: nmu@ostu.ru*Адрес редакции:*302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40
(4862) 43-40-49; www.ostu.ru; E-mail: isit@ostu.ru*Зарег. в Министерстве РФ**по делам печати, телерадиовещания
и средств массовой информации.**Св-во о регистрации средства массовой информации**ПИ № ФС77-35333 от 17.02. 2009 г.**Сдано в набор 01.12.2009 г. Подписано в печать
20.12.2009 г.**Формат 70x108 1/16. Бумага офсетная. Печать
офсетная.**Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.**Заказ № _____**Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОрелГТУ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65*

Журнал входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, определенных ВАК, для публикации трудов на соискание ученых степеней кандидатов и докторов наук.

Рубрики номера:

1. Математическое и программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем.....5-20
2. Математическое и компьютерное моделирование.....21-78
3. Информационные технологии в социально-экономических и организационно-технических системах.....79-117
4. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.....118-127
5. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети....128-134
6. Информационная безопасность.....135-140

Редакция:

Г.А. Константинова

А.И. Мотина

А.А. Митин

До второго полугодия 2009 г. журнал выходил под названием «Известия ОрелГТУ». Серия «Информационные системы и технологии».

Подписной индекс 15998
по объединенному каталогу

«Пресса России»

© ОрелГТУ, 2009

№ 6/56(569) November-December 2009

The journal is published since 2002, leaves six times a year

The founder – Orel State Technical University

*Editorial council:*Golenkov V.A., *president*
Radchenko S.Y., *vice-president*Borzenkov M.I., Konstantinov I.S.,
Kolchunov V.I., Novikov A.N.,
Popova L.V., Stepanov Y.S.*Editor-in-chief:*

Konstantinov I.S.

*Editorial Committee:*Arhipov O.P., Averchenkov V.I.,
Gaidrik K.G., Eremenko V.T.,
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.*The address of the founder of magazine:*302020, Orel, Highway Naugorskoye, 29
(4862) 43-48-90; www.ostu.ru;
E-mail: nmu@ostu.ru*The address of the edition:*302020, Orel, Highway Naugorskoye, 40
(4862) 43-40-49; www.ostu.ru; E-mail: isit@ostu.ruJournal is registered in State Committee
of Russian Federation on printing.The certificate of registration
ПН № ФС77-35333 from 17.02.2009.It is handed over in a set of 01.12.2009,
20.12.2009 are sent for the press

Format 70x108 1/16. A paper offset.

The press offset

Press conditions L. 7,5. Circulation 300 copies

The order № _____

It is printed from a ready dummy
on polygraphic base of OrelSTU
302030, Orel, street Moscow, 65Journal is included into the list of the Higher
Examination Board for publishing the results of theses
for competition the academic degrees.In this number:

1. Software of the computer facilities and the automated systems.....5-20
2. Mathematical and computer simulation.....21-78
3. An information technology in social and economic and organizational-technical systems.....79-117
4. Automation and management of technological processes and manufactures.....118-127
5. Telecommunication systems and computer networks128-134
6. The informational safety.....135-140

The edition:

Konstantinova G.A.

Motina A.I.

Mitin A.A.

Before the second half of the year 2009
the magazine was leave under the name
«Izvestia Orel State Technical University.
Information systems and technologies».Index on the catalogue
of the «Pressa Rossii» 15998

© OrelSTU, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Звездин С.В. Метрики программного кода (обзор).....	5
Кравцова Н.А. Структурная модель сущностей и типов данных системы мониторинга объектов учета.....	11
Прохоренко Е.И., Болдышев А.В. Цифровое кодирование речевых данных на основе субполосного преобразования с использованием знакового квантования.....	15

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Батенкова Н.М., Батенкова О.В. Компьютерное моделирование системы управления потоком инвестиций.....	21
Белокуров С.В., Белокуров В.П., Скрыль С.В. Поэтапный выбор многокритериальных моделей в информационных транспортных задачах.....	29
Жуков Л.А. Задачи и технологии нейросетевой обработки данных: вариант графического описания.....	35
Иванов И.В. Математическая модель цифрового изображения как объект стегоанализа.....	44
Катков К.А. Методика вторичной обработки навигационных параметров, снижающая погрешность позиционирования в спутниках радионавигационных систем при возникновении искусственных возмущений ионосферы.....	49
Марков В.В. Математические методы исследования диагностических признаков и параметров трибосопряжений.....	58
Травин Г.А., Перепелкин И.Н., Травин М.Г. Математическое моделирование СВЧ устройств на основе численных методов вейвлет-анализа.....	68
Шарапов Р.В., Шаропова Е.В. Пути расширения булевой модели поиска.....	74

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рогович В.И., Данилов К.А. Организация лекций и самостоятельной работы при дистанционном обучении с учетом болонской модели образования и модели зрелости электронного обучения.....	79
Нестеров В.Г., Нестерова Е.В. Анализ использования глобальной телекоммуникационной сети информационных ресурсов врачами-терапевтами поликлиник.....	88
Пиньковецкая Ю.С. Моделирование производственной функции в сфере малого бизнеса в регионах Российской Федерации.....	94
Светкин А.В., Сендзюк Е.А. Анализ характеристик и особенностей биллинговых систем для веб-приложений.....	100
Тубольцев М.Ф., Михелев В.М. Использование импульсных управлений при моделировании финансовых процессов.....	106
Чудова О.В. Разработка модели, алгоритма и информационной системы комплексной оценки компетентности выпускников вуза.....	111

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

Прасов М.Т., Тютякин А.В. Структуры аппаратно-программных средств для автоматизированных систем сбора и обработки данных с хранилищ сельскохозяйственной продукции.....	118
Хорольский В.Я., Ковалевский С.Г. Экспериментальное определение динамических характеристик химических источников тока информационных систем.....	124

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

Игнатенко А.В., Харченко О.В. Подход к оценке вероятности распознавания протоколов общеканальной сигнализации №7.....	128
--	-----

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Горохов Д.Е. Моделирование процесса реализации угроз для априорной оценки риска информационной безопасности объекта информатизации.....	135
--	-----

CONTENT

SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

- Zvesdin S.V.* Metrics of a program code (review).....5
Kravtsova N.A. Structural model of the essences and types of the data
of system of monitoring of objects of the account.....11
Prokhorenko E.I., Boldyshev A.V. Digital coding of speech data on the basis of cpilling
with preservation of legibility and recognition of the announcer.....15

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

- Batenkova N.M., Batenkova O.V.* Computer simulation of investment flow control system...21
Belokurov S.V., Belokurov V.P., Skril S.V. Step by rtep choice
of many-criterial models in informational transpot tasks.....29
Zhukov L.A. Tasks and technologies for neural network analysis:
version of grafic description.....35
Ivanov I.V. Mathematical model of digital representation as object of stegoanalysis.....44
Katkov K.A. Technique of secondary processing of the navigating parameters,
reducing error of positioning in satellite radio navigating systems
at occurrence of artificial indignations of the ionosphere.....49
Markov V.V. Mathematical methods of researches
the diagnostically signs and parameters of tribojunctions.....58
Travin G.A., Perepyolkin I.N., Travin M.G. Microwave devices mathematical
simulation with wavelet-based numerical methods.....68
Sharapov R.V., Sharapova E.V. Extending of Boolean Space model.....74

AN INFORMATION TECHNOLOGY IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

- Rogovich V.I., Danilov K.A.* The organisation of lectures and self-dependent learning
during distance learning in accordance with the Bologna educational model
and the e-learning maturity model.....79
Nesterov V.G., Nesterova E.V. The assay of word wide web usage
by outpatient departments physicians.....88
Pinkovetskaya Y.S. Modeling the production function
in the sphere of small business in the regions of the Russian Federation.....94
Svetkin A.V., Sendzuk E.A. Characteristics and features analysis
of billing systems for web applications.....100
Tuboltsev M.F., Mikhelev V.M. Use of pulse managements
at modelling of financial processes.....106
Chudova O.V. Model, algorithm and information system development
of complex estimation of high school graduate competence.....111

AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MANUFACTURES

- Prasov M.T., Tutyakin A.V.* The structures of hardware and software
for automated data acquisition and processing systems.....118
Horolsky V.Y., Kovalevsky S.G. Experimental determination of the dynamic features
of the chemical sources of the current of the information systems.....124

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

- Ignatenko A.V., Kharchenko O.V.* The approach to recognition
probability estimation of canal signalization №7 protocols.....128

THE INFORMATION SAFETY

- Gorochov D.E.* Modeling the process of realization the threats for the apriority
appraisal the risk of information safety the object of information systems.....135

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

УДК 681.3.066(075.8)

С.В. ЗВЕЗДИН

МЕТРИКИ ПРОГРАММНОГО КОДА (ОБЗОР)

В статье описываются основные метрики программного кода. Они позволяют получить численные характеристики программного кода. Все метрики разделены на несколько групп – размер программной системы, сложность программного кода и поддерживаемость программного кода. Для каждой группы характеристик приведены соответствующие метрики.

Ключевые слова: измерения; метрики; качество программного кода; анализ кода.

In article are described the main metrics of a program code. They allow getting numerical characteristics of a program code. All metrics are divided into some groups - the size of program system, complexity of a program code and maintainability of a program code. Metrics was shown for each group of characteristics.

Keywords: measurement; metrics; quality of a program code; code analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Отрасль информационных технологий является одной из наиболее интенсивно развивающихся в современной жизни. В рассвете быстрорастущего рынка программного обеспечения существенно растут требования к производителями программных систем с точки зрения скорости разработки и качества. С одной стороны, с учетом новых методик и технологий разработка может осуществляться быстрее, а с другой – наличие новых платформ разработки и абстрагирование от нижних уровней позволяет избегать многих ошибок. Тем не менее, вопросы качества программного кода остаются актуальными и по сей день и волнуют многих специалистов самого разного уровня.

По этим причинам вопросам улучшения и контроля качества уделяется существенное внимание при постановке процессов разработки программных систем. Контроль качества осуществляется на самых различных уровнях – начиная с методологического уровня (когда процессы контроля качества внедряются на уровне технологий) и заканчивая технологичным уровнем (когда процессы контроля качества протекают в автоматическом режиме, например, при автоматических сборках проекта).

Кроме неформализованных способов улучшения качества разработок (например, использования различных подходов к проектированию), необходимы формальные критерии качества. Такие критерии должны показывать количественные характеристики программной системы в различных измерениях. Этими критериями как раз являются метрики кода, которые будут рассмотрены на протяжении данной статьи.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗМЕРЕНИЙ

Перед началом измерений необходимо понять, какие цели преследуются в итоге. Как упоминалось выше, системы метрических показателей предназначены для того, чтобы получить возможность оценивать программные системы формализовано. Такая возможность позволяет решить как минимум две серьезные проблемы – оценить объем системы с целью сравнения ее с другими системами и оценить качество кода и

трудоемкость его модификации. Первая проблема, проблема оценки объема системы, встает тогда, когда становится необходимым сравнить программную систему с другими, подобными её системами: «Какая из систем больше?». Вторая, более актуальная проблема, заключается в том, что большие компании, серьезно занимающиеся промышленной разработкой программного обеспечения, всерьез задумываются о том, каким образом оценивать труд того или иного сотрудника и увеличивать его эффективность. Обычно такая проблема появляется с ростом количества человек, занятых в одном проекте, или которых курирует один менеджер. В таких ситуациях обычно из-за нехватки времени нет возможности оценить человека неформально, что, несомненно, влечет за собой управленческие ошибки. Более того, зачастую модификация и поддержка программного кода становится настолько трудоемкой задачей, что дешевле становится отказаться от проекта, чем продолжать его.

Правильная система метрик может стать незаменимым помощником при решении обеих проблем. Она позволяет ответить на такие вопросы, как: насколько система объемна (размер)? насколько система связна (одна из метрик качества)? насколько систему трудно поддерживать и развивать? каковы наиболее критичные точки в программной системе?

ТИПЫ МЕТРИК КОДА

Метрика программного обеспечения (англ. software metric) – численная мера, позволяющая оценить некоторое свойство программного кода. Для каждого участка кода вычисляется численный показатель какой-либо метрики. Для каждой такой метрики существуют эталонные показатели – при каких крайних значениях стоит обратить внимание на данный участок кода.

Метрики кода разделяются на категории и могут оценивать совершенно различные аспекты программной системы. Для примера можно посмотреть на наиболее простую для понимания метрику кода – количество строк кода в программной системе. Эта метрика вычисляется очень простым способом, но тем не менее может служить для получения формализованных данных для оценки кода. Конечно, эта характеристика сама по себе мало ценна, однако, в совокупности с другими метриками может служить для объективной оценки системы. Поэтому существуют более сложные показатели, о которых пойдет речь далее.

Метрики кода могут служить не только для оценки качества, но и для оценки объема (размера) программной системы, а также выявлять архитектурные особенности. Особенно эффективно метрики применяются при анализе больших программных систем, где ручной анализ и просмотр исходного кода может занимать значительное время.

Метрики программного кода являются важным инструментом и уже сегодня используются многими производителями ПО. Так, например, при сертификации на более высокие уровни по моделям ISO/IEC или CMM/CMMI использование метрик кода является обязательным условием. Это позволяет в определенной степени достичь контролируемости процесса разработки. Существует множество различных классификаций метрик программного обеспечения. Все они трактуют метрики с различных позиций и ранжируют одни и те же характеристики по различным критериям. Одной из таких классификаций может служить разделение метрик на группы по субъектам оценки. Такая классификация выглядит следующим образом:

1. Размер программной системы. Метрики этой группы позволяют оценить размеры программного обеспечения по сравнению с другими системами.

2. Сложность программной системы. Показатели этой группы помогают оценить сложность архитектуры и алгоритмов программной системы. Обычно отрицательные показатели этой группы метрик говорят о возможных проблемах, с которыми можно столкнуться при развитии, поддержке и отладке программного кода.

3. Поддерживаемость программной системы. Метрики этой группы тесно связаны с метриками сложности. Они позволяют оценить потенциал программной системы к последующей модификации.

Безусловно, существуют и другие группы, которые не вошли в эту классификацию. Например, метрики удовлетворенности пользователя или показатели соответствия исходным требованиям. Это сделано осознанно, т.к. в данном случае мы измеряем качество программного обеспечения с точки зрения технической реализации. Работа и анализ с неформализованными метриками, измеряющими удовлетворенность заказчика, является альтернативным направлением и в данной работе не рассматривается. Давайте рассмотрим каждую группу метрик и выясним, каким образом следует трактовать соответствующие метрики.

Размер программной системы. Основной метрикой размерности программной системы является SLOC (source lines of code) – показатель, отражающий количество строк исходного кода. Эта метрика является наиболее простой с точки зрения ее вычисления. Она вычисляется как общее число строк исходного кода, включая пустые строки и комментарии. Тем не менее, несмотря на простоту этого показателя, SLOC не может использоваться для объективной оценки объемов программной системы, т.к. числовое значение этого показателя зависит от множества случайных факторов. В связи с этим общая оценка SLOC имеет большое количество производных показателей, основанных на SLOC. К этим показателям относятся такие метрики, как количество пустых строк, количество строк, содержащих комментарии, процентное соотношение содержания комментариев, количество строк кода, содержащихся в методах/функциях, среднее количество строк кода на метод/функцию, среднее количество строк кода на класс/пакет, среднее количество строк кода на модуль и т.д.

Несмотря на производные, метрика SLOC по прежнему не может дать объективную оценку о размере системы. Поэтому при оценке размера достаточно часто могут прибегать к использованию показателя «логических» строк кода LSI (logical source instructions). В отличие от SLOC, LSI вычисляется после нормализации листинга исходного кода. Это означает, что перед вычислением метрики происходит приведение исходного кода к надлежащему виду. Такой показатель может служить для более объективной оценки объема системы. Кроме того, у показателя LSI также существует определенное количество производных метрик. Так, например, существует производная метрика, которая вычисляется не как физическое количество строк кода на исходном языке программирования, а количество инструкций на языке более низкого уровня (язык Ассемблера, MSIL и др.).

Другие метрики базируются на сущностях, относящихся к конкретной парадигме программирования. Поскольку на сегодняшний день парадигма объектно-ориентированного программирования занимает наиболее сильные позиции, мы будем рассматривать количественные показатели с точки зрения этого подхода.

С точки зрения объектно-ориентированного подхода размер системы можно вычислять как количество классов, содержащихся в программной системе. Показатель количества классов является одним из основных метрик в данном классе. Однако в

зависимости от используемого языка программирования могут использоваться такие метрики, как количество пространств имен в проекте, количество структур, перечислений, количество методов и др.

Каким образом метрики размерности позволяют управлять качеством программной системы? Напрямую качество системы не зависит от использования данных показателей. Однако опытные разработчики со временем могут примерно прогнозировать объем системы на заданный функционал, необходимый заказчику. В этом случае при существенном отклонении от заданных показателей можно задуматься о том, что в системе может присутствовать избыточное количество объектов и на более ранней стадии выполнить рефакторинг кода.

Сложность программной системы. Метрики, отражающие сложность программного кода, могут использоваться непосредственно для оценки и контроля качества. Одной из основных таких метрик является цикломатическая сложность (cyclomatic complexity). Физический смысл данной метрики можно представить как количество ветвлений, которое может проходить управляющий поток программы, увеличенное на единицу. Такой показатель может отразить сложность управляющего потока программы и дать сигнал о некачественном участке кода в программной системе. К сожалению, несмотря на очевидную практическую полезность метрики, она не способна различать циклические операторы. Кроме того, программный код, представленный одними и теми же графами могут иметь совершенно различные по сложности предикаты (логические выражения, содержащие переменную). По этой причине иногда цикломатическую сложность используют одновременно с другими метриками, например, с метрикой числа операторов.

Другим показателем, отражающим сложность программной системы, является метрика связности классов. Эта метрика позволяет определить степень связности системы. Повышенные значения данной метрики могут говорить о чрезмерной связанности системы, которая появляется из-за слабой модульной инкапсуляции. Такое свойство программной системы может привести к трудностям при повторном использовании кода. Данная метрика является практическим показателем, на который можно ориентироваться при построении и переработке архитектуры программной системы. Основными способами уменьшения связности объектов является более строгая инкапсуляция логики в объекты, пересмотр работы алгоритмов с концептуальной точки зрения и структурная декомпозиция. При этом для инстанциации объектов в таком случае появляются фабрики объектов, которые позволяют избежать лишней связности в момент создания экземпляров классов. Результат вычисления данной метрики имеет высокое практическое значение. Использование сырых значений данной метрики может позволить снизить связность программной системы, следовательно, и присущую сложность кода.

Другой важной метрикой является средняя глубина наследования и вычисляется как среднее значение глубины наследования для всех классов системы, определенных пользователем. При этом не учитываются классы, стоящие не на самом нижнем уровне иерархии наследования. Вычисление данной метрики позволяет оценить сложность системы несколько в ином разрезе. Высокие значения этой метрики могут сигнализировать о том, что архитекторы программной системы слишком увлеклись ООП-приёмами, которые могут негативно сказываться на дальнейшем развитии системы. Несмотря на то, что наследование как один из приемов ООП, является нужной вещью, оно существенно повышает связность системы, при этом такая связность может

быть не полностью отражена остальными метрикам, оценивающими систему с точки зрения связности. Зачастую при построении программного кода можно избежать применения наследования и заменить его равноценными приемами. Например, вместо этого можно использовать инъекцию зависимостей. Зачастую получая равнозначную реализацию, применение указанных паттернов может снизить реальный показатель связности системы, а значит, и снизить риски, связанные с ее сопровождением. Полученный результат вычисления данной метрики, как правило, используется в сыром виде в практических задачах построения архитектуры и рефакторинга. Полученные показатели метрики также можно использовать в более сложных комплексных метриках. В целом, метрики сложности могут оказывать существенную помощь производителям программного обеспечения в процессе контроля и управления качеством программного обеспечения.

Поддерживаемость программной системы. Метрики, отражающие поддерживаемость, определяют показатели, которые показывают, насколько трудоемким будет процесс поддержки и развития программного кода. Как правило, эти метрики очень тесно связаны с метриками сложности, но имеют свои особенности, отражающие аспект поддерживаемости системы в дальнейшем.

Одной из основных метрик этой категории является метрика Холстеда. Для оценки метрики Холстеда вычисляют четыре измеряемые характеристики программы:

- число уникальных операторов программы, включая символы-разделители, имена процедур и знаки операций (словарь операторов);
- число уникальных операндов программы (словарь операндов);
- общее число операторов в программе;
- общее число операндов в программе.

После этого на основании этих характеристик рассчитываются базовые оценки:

- словарь программы;
- длина программы;
- объем программы;
- сложность программы.

На основе таких оценок метод Холстеда позволяет вычислить усилия программиста при разработке программного кода.

Безусловно, метрики Холстеда не могут гарантировать полную достоверность своих оценок и носят исключительно информационный характер. Тем не менее, эта метрика остается одной из немногих, которая позволяет количественно оценить показатель поддерживаемости системы в будущем, при этом этот показатель имеет прямую корреляцию с качеством выпускаемого продукта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На протяжении всей статьи мы рассматривали вопрос о том, что такое метрики программного кода и как они могут применяться при разработке программного обеспечения, а также рассмотрели некоторые наиболее типичные метрики, которые могут применяться на практике. Можно понять, что метрики являются достаточно полезным инструментом в руках разработчиков и менеджеров проектов. Метрики могут помочь выявить моменты, когда разработка уходит на более низкий качественный уровень, выявить наиболее сложные участки в системе.

Однако нужно понимать, что одними только метриками вопросы управления качеством программного обеспечения решить очень тяжело. Тем не менее, вычисление числовых показателей может дать новые сведения о разрабатываемом продукте и более грамотно спланировать расходы на его дальнейшее развитие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sherman R. Alpert, Kyle Brown, and Bobby Woolf. The Design Patterns Smalltalk Companion. Addison Wesley, 1998.
2. Lionel C. Briand, John Daly, and Jurgen Wust. A Unified Framework for Cohesion Measurement in Object-Oriented Systems. Empirical Software Engineering: An International Journal, 3(2), 1998.

Звездин Сергей Владимирович

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Ассистент кафедры «Информатика», факультет «Экономика и Управление»

Тел.: 8-904-944-88-60

E-mail: sergey.zvezdin@gmail.com

УДК 621.369.6

Н.А. КРАВЦОВА

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ СУЩНОСТЕЙ И ТИПОВ ДАННЫХ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ УЧЁТА

В статье рассматривается способ построения архитектуры системы мониторинга объектов учёта, а также модель типов данных для хранения показателей и свойств объектов учёта. В статье также предлагается модель ролевого доступа к объектам учёта и показателям.

Ключевые слова: информационные системы; мониторинг; организация хранения показателей; генерация интерфейсов ввода; генерация отчётов.

In this article we review the architecture of monitoring system and data type to saving showing and properties of objects.. In the article was made model of role access to inputting and outputting properties of objects of stocktaking.

Keywords: information systems; monitoring; properties saving organization; generation of input interfaces; reports generation.

АРХИТЕКТУРА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СУЩНОСТЕЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Система мониторинга организует наблюдение совокупности сущностей и их характеристик. Сущности будем называть объектами учёта системы. Каждый объект учёта имеет совокупность характеристик или показателей. В зависимости от предметной области показатели могут быть постоянными, меняющимися во времени в произвольном порядке и меняющимися во времени циклически. Задачей системы мониторинга является организация ввода, хранения и ролевого доступа к показателям объектов учёта.

Набор конкретных значений показателей объекта учёта будем называть экземпляром объекта учёта. В общем виде, если отвлечься от предметной области мониторинга, объекты учёта можно назвать типами, экземпляры объекта учёта соответственно – экземплярами типов.

Часть показателей объекта учёта представляет собой набор характеристик, подверженных мониторингу. Остальные показатели имеют отношение к внутренним характеристикам объекта или его метаданным.

Показатели, которые необходимо наблюдать, должны присутствовать на пользовательском интерфейсе. Однако при разных обстоятельствах (например, при просмотре пользователей с различными правами) необходимо наблюдать разные показатели данного типа. Тогда условимся называть интерфейсом набор показателей данного типа, доступных для просмотра. Таким образом, в системе мониторинга доступ к объекту учёта может быть организован с помощью семейства интерфейсов, назначаемых группам пользователей. Каждый интерфейс объекта учёта позволяет вести учёт по частичному набору показателей.

Группы пользователей системы мониторинга могут наблюдать показатели объекта через доступный им интерфейс. Один и тот же интерфейс может быть доступен нескольким группам пользователей.

Таким образом, интерфейс представляет собой универсальный набор показателей объекта, который может быть использован многократно, то есть назначен одной или нескольким группам пользователей.

Это представляет собой механизм установки прав. Каждая группа пользователей имеет по одному интерфейсу к каждому объекту учёта, то есть обладает определёнными правами в отношении данного объекта учёта. При необходимости установления другой правовой политики для определённой группы пользователей создаётся новый интерфейс, который может потом быть использован для других групп. На рисунке 1 пояснено отношение описанных выше сущностей.

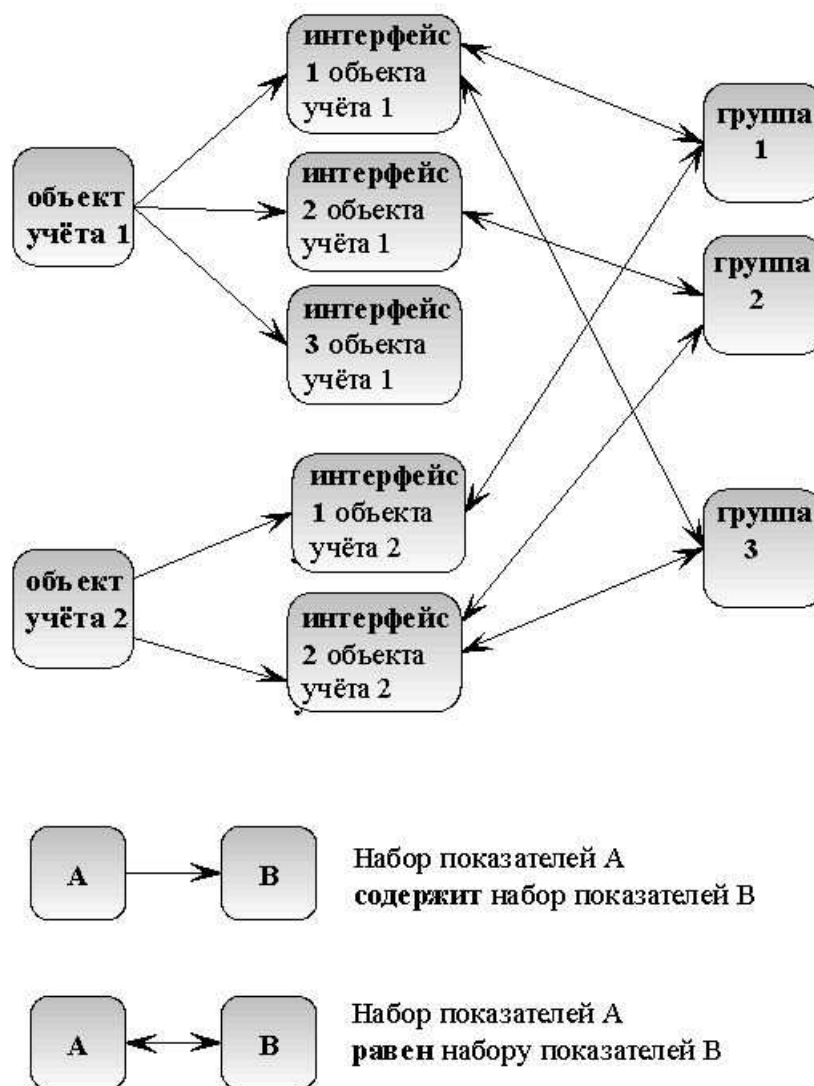


Рисунок 1 – Отношение сущностей, содержащих набор показателей

МОДЕЛЬ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Сбор полного набора показателей объекта учёта осуществляется в виде сущности «показатель объекта учёта» посредством связи сущностей «объект учёта» и «учитываемый показатель».

Сбор показателей объекта учёта, присутствующих на интерфейсе, осуществляется в виде сущности «показатель на интерфейсе» посредством связи сущностей «учитываемый показатель» и «интерфейс».

Таким образом, полные (показатели объекта учёта) и частичные (показатели интерфейса к объекту учёта) наборы показателей формируются в разных местах модели данных. Для указания принадлежности частичных наборов показателей полным необходимо организовать хранение связи объекта учёта с его интерфейсами. Поскольку один объект учёта может иметь несколько интерфейсов для доступа к нему, а интерфейс однозначно принадлежит объекту учёта, то удобно организовать связь типа «1 ко многим».

При переходе к реализации сущностей в терминах реляционных баз данных можно представить данную схему связи так (рисунок 2).

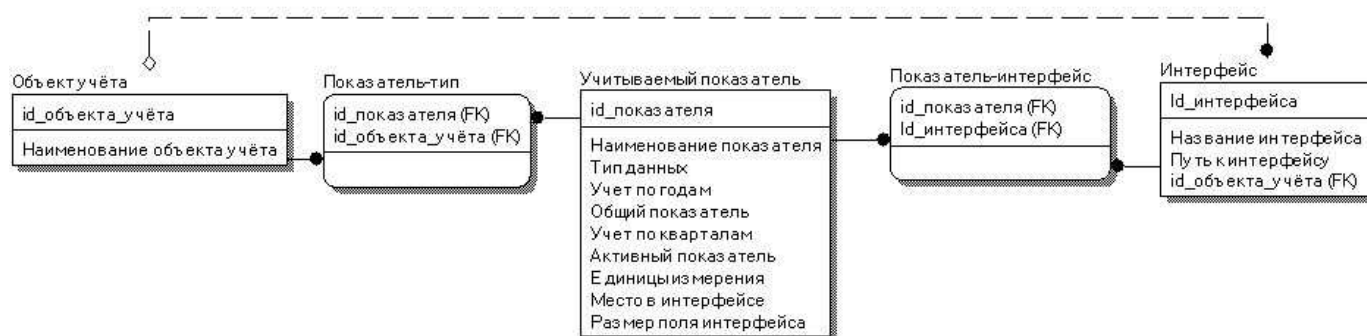


Рисунок 2 – Модель хранения данных в терминах реляционных баз данных

РОЛЕВАЯ МОДЕЛЬ РАЗГРАНИЧЕНИЯ УРОВНЕЙ ДОСТУПА К НАБОРАМ ОБЪЕКТОВ УЧЁТА

Как было сказано ранее, интерфейсы, представляющие собой частный набор показателей объекта учёта, служат для ограничения доступа к части информации об объекте учёта. Поскольку каждой группе пользователей назначается определённый интерфейс, группы представляют механизм, ограничивающий доступ к части показателей объекта учёта. Однако необходим также механизм, ограничивающий доступ к некоторым экземплярам одного объекта учёта. Например, требуется открыть доступ к экземплярам, которые пользователь непосредственно создал.

Ограничение на список доступных экземпляров объекта должно накладываться на ограничение, которое обеспечивает интерфейс, поэтому необходимо ввести новую сущность «роль». Роль будет определять экземпляры объектов учёта, доступные для пользователей, исполняющих данную роль.

В качестве примера можно привести пользователей из группы «агенты», находящихся в подчинении ведущего агента Иванова. Сформированную таким образом роль назовем «сотрудники Иванова». Поскольку они входят в группу «агенты», им доступны такие показатели объекта учёта «проект», как «название», «длительность», «контактные лица», «сумма». Поскольку они исполняют роль «сотрудники Иванова», то им доступны экземпляры объекта учёта «проект», которые добавили в систему Иванов или кто-нибудь из его сотрудников. Остальные экземпляры объекта учёта «проект» не будут доступны для сотрудников Иванова. Аналогичная картина будет повторяться для других объектов учёта. При добавлении нового сотрудника Иванова в систему необходимо будет назначить ему роль «сотрудники Иванова». После чего все права на экземпляры проектов, с которыми работают Иванов и его подчинённые, будут присвоены новому сотруднику.

Таким образом, при добавлении нового пользователя системы достаточно будет внести его в группу и назначить роль с подходящими правами на показатели и экземпляры объектов учёта или создать для него новые группу и/или роль.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пользователь может исполнять несколько ролей. При этом права на экземпляры объектов учёта будут накладываться из разных ролей. Если пользователь исполняет хотя бы одну роль, имеющую доступ к экземплярам объектов учета, то доступ к экземплярам будет предоставлен, то есть итоговое значение доступа к данному экземпляру будет определяться логической суммой значений доступа в ролях, назначенных пользователю.

Примером может являться пользователь, исполняющий 2 роли: «участник проекта 1» и «участник проекта 2». При этом, как участник «проекта 1», он не имеет доступа к информации о проекте 2, а как участник проекта 2 – имеет, следовательно, доступ будет предоставлен.

ЛИТЕРАТУРА

1. О'Лири Д. ERP-системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. – Вершина, 2004. – 368 с.
2. Сборник статей и интервью. Информационные технологии в управлении предприятием. – Три квадрата, 2004. – 160 с.

Кравцова Надежда Алексеевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры информационных систем

Тел.: (84862) 40-96-14

E-mail: x4x@bk.ru

УДК 621.391

Е.И. ПРОХОРЕНКО, А.В. БОЛДЫШЕВ

ЦИФРОВОЕ КОДИРОВАНИЕ РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ СУБПОЛОСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗНАКОВОГО КВАНТОВАНИЯ

Рассмотрена новая технология сжатия речевого сигнала для цифровых систем передачи информации, основанная на клиппировании речи с сохранением разборчивости и узнаваемости. Предложены алгоритмы обработки цифрового речевого сигнала, реализующие обнаружение и удаление шума в паузах клиппированной речи, а также формирование данных об изменении мгновенного спектра речи на основе частотных представлений речевого сигнала.

Ключевые слова: речевые данные; сжатие речи; клиппирование; знаковое квантование; частотное представление речи.

The new technology of compression of a speech signal for digital systems of transfer of the information, based on clipping speeches with preservation of legibility and recognition is considered. Algorithms of processing of the digital speech signal, realizing detection and removal of noise in pauses of clipped speech, and also formation of data about change of an instant spectrum of speech on the basis of frequency representations of a speech signal.

Keywords: speech data; compression of speech; clipping of speech; legibility of speech; frequency presentation of speech.

Сегодня центральной, с точки зрения хранения и передачи, проблемой реализации в информационно-телекоммуникационных системах речевого обмена является создание эффективных методов сжатия, полученных на этапе регистрации, речевых данных с возможностью дальнейшего воспроизведения исходных речевых сообщений с приемлемым качеством. Актуальность исследования этой проблемы обусловлена непрерывным увеличением потоков речевых сообщений, передаваемых по телекоммуникационным системам и сетям, имеющим ограниченную пропускную способность. Большие трудности возникают также при решении задачи хранения речевых данных, возрастающий поток которых требует все больших объемов памяти запоминающих устройств [1,7,8,9].

Все это вызывает необходимость разработки способов минимизации затрат на хранение и передачу речевых данных, что достигается за счёт уменьшения объёмов их битовых представлений (сжатия).

Предлагаемые в настоящее время решения этой задачи порой существенно снижают объём передаваемых данных, однако, как правило, это достигается значительным усложнением аппаратной реализации устройств кодирования и восстановления речевых сигналов, требующих применения высокопроизводительных сигнальных процессоров. Вместе с тем цифровые технологии обработки речи позволяют по новому подойти к реализации механизмов уменьшения избыточности речевых сигналов, известных ещё с «аналоговых» времён.

Одним из наиболее эффективных способов уменьшения избыточности речи по праву считается знаковое квантование (клиппирование) речевого сигнала. С точки зрения цифровых технологий такой речевой сигнал может быть передан одноразрядной

(однобитовой) последовательностью данных, несущих информацию только о полярности дискретных отсчетов сигнала.

В сущности клиппирование аналоговых сигналов заключается в фиксации моментов времени, когда акустический сигнал, увеличиваясь, достигает верхней критической (заранее определенной) амплитуды и, уменьшаясь, – нижней критической амплитуды.

Если рассматривать цифровые сигналы, то клиппирование сводится к вычислению знаковой функции речевого сигнала, другими словами, исходный речевой сигнал заменяется на сигнал с постоянной амплитудой, значение которой меняется в моменты перехода через 0.

Следует отметить, что клиппированный сигнал сохраняет достаточную для практики словесную и фразовую разборчивость, вполне приемлемую в тех системах передачи информации, где тембровой окраской голоса (узнаваемость абонента) можно пожертвовать. Этот широко известный факт не находит практического применения именно из-за потери узнаваемости голоса, вызванного сильным зашумлением речи при её предельном амплитудном ограничении. При передаче такого сигнала по аналоговым системам для устранения этого недостатка предлагалось организовывать дополнительный канал, по которому, тем или иным способом, должна была передаваться информация о поведении огибающей исходного речевого сигнала [1,2]. На приемной стороне после объединения информации обоих каналов может быть восстановлен исходный речевой сигнал достаточного для практического применения качества. Сложность осуществления этой процедуры с использованием аналоговой схемотехники оказалась главной причиной, по которой указанный метод передачи клиппированной речи не нашел практического применения. Другой, не менее сложной, оказалась проблема подавления шума в паузах речи, который резко снижал разборчивость и утомлял слух абонента телефонной сети.

Вместе с тем, обе эти проблемы могут быть успешно решены с применением цифровых технологий обработки речи. Для этого необходимо предварительно выполнить кодирование и удаление пауз речевого сигнала и в общем потоке данных передать квантованный речевой сигнал и информацию о распределении энергии сигнала по частотному диапазону. Предлагаемая технология кодирования речи основана на методе субполосного преобразования.

Анализ распределения энергии по частотным диапазонам клиппированного сигнала выявил значительное увеличение малоэнергетических составляющих спектра по сравнению с исходным сигналом (рисунок 1). Так на участке спектра, отмеченного на рисунке как «диапазон 1», области концентрации энергии исходного и клиппированного сигналов совпадают по расположению и мощности. А малоэнергетические составляющие («диапазон 2» и «диапазон 3») спектра клиппированного сигнала превосходят по мощности соответствующие составляющие спектра исходного сигнала.

Таким образом, для решения проблемы сжатия возникает необходимость избирательно преобразовывать спектральные компоненты из различных частотных диапазонов, т.е. осуществлять субполосную обработку данных.

В данной процедуре сжатия речевых данных используется вариационный метод субполосного преобразования оптимальный с точки зрения минимума среднеквадратичной погрешности аппроксимации спектров исходного вектора в соответствующем частотном интервале [5].

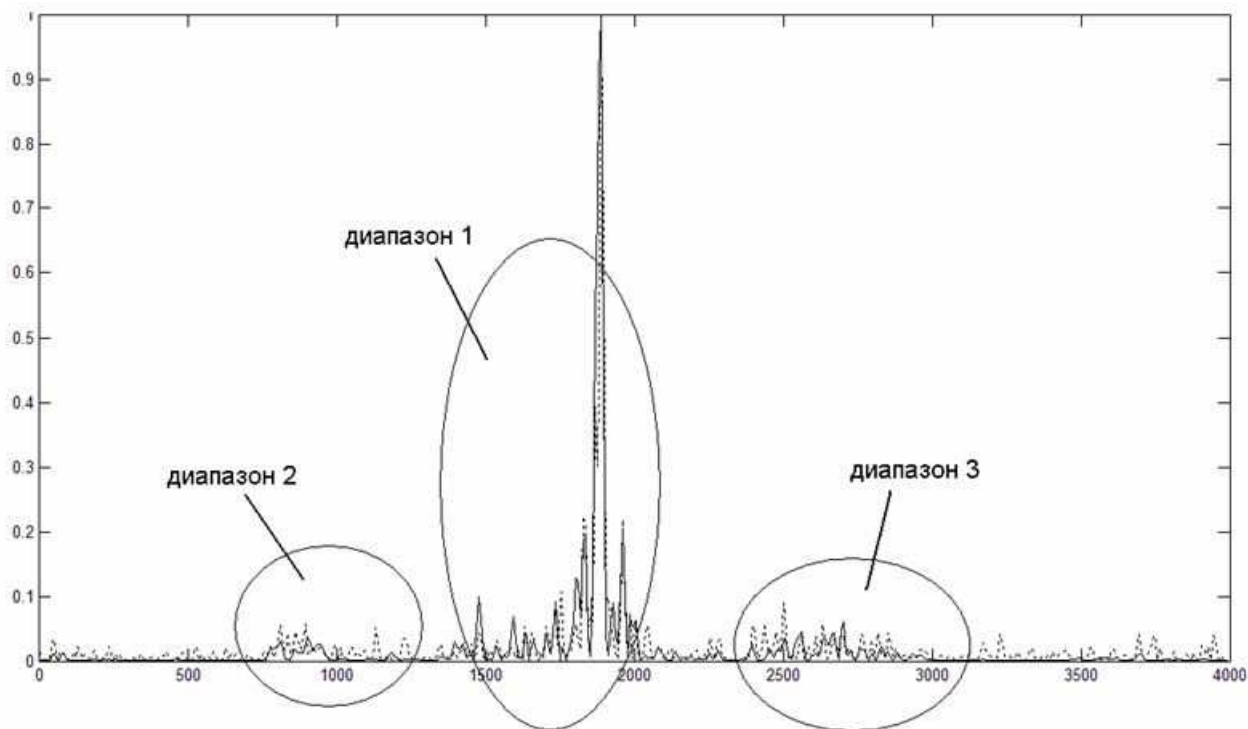


Рисунок 1 – Распределение энергии по частотным интервалам исходного и клипированного сигнала

Спектр исходного сигнала – сплошная линия, клипированного сигнала – пунктирная линия

Для отрезков сигнала вычисляется вектор $\vec{y} = (\vec{y}_1, \vec{y}_2, \dots, \vec{y}_R)$, состоящий из подвекторов $\vec{y}_r = (y_{1r}, y_{2r}, \dots, y_{Jr})$, которые отражают частотные свойства исходного сигнала в некотором частотном интервале (в данном случае ось частот разбивается на R частотных интервалов):

$$\vec{y} = AA\vec{x},$$

где AA – блочная матрица;

\vec{x} – вектор исходного отрезка сигнала длиной N .

Блочная матрица формируется на основе субполосной матрицы $A_r = \{a_{ik}^r\}$ с элементами вида (2):

$$a_{ik}^r = \begin{cases} \frac{\sin[v_2^r(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{v_2^r - v_1^r}{\pi}, & i = k \end{cases},$$

где v_1 и v_2 определяются исходя из разбиения на ряд равновеликих частотных интервалов области определения спектра $[-\pi, \pi]$:

$$V^r = [-v_2^r, -v_1^r) \cup [v_2^r, v_1^r),$$

таких что: $v_2^r - v_1^r = \Delta v = const.$

Матрица A обладает тем свойством, что значения ее собственных чисел с номерами меньшими $m = 2 \lfloor \frac{N}{2R} \rfloor$ при упорядочивании по возрастанию близки к единице, а с номерами большими $J = 2 \lfloor \frac{N}{2R} \rfloor + 4$ стремятся к нулю (квадратная скобка означает операцию взятия целой части содержимого) [3,4]. Таким образом, существует возможность создания блочной матрицы:

$$AA = \begin{pmatrix} \sqrt{L_1^1}(Q_1^1)^T \\ \sqrt{L_1^2}(Q_1^2)^T \\ \dots \\ \sqrt{L_1^R}(Q_1^R)^T \end{pmatrix},$$

где $Q_1^R = (\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_J)$ – подматрица собственных векторов матрицы A ;

$L_1^R = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_J)$ – подматрица собственных чисел матрицы A .

Значения энергии сигнал в заданном частотном интервале вычисляются с использованием полученных подвекторов субполосного преобразования:

$$P_r = \sum_{i=1}^J y_{ir}^2, r = 1 \dots R. \quad (1)$$

Данный метод частотного анализа подробно рассмотрен в [4].

Для отрезков сигнала осуществляется вычисление распределения энергии по частотному интервалу и упорядочивание полученных значений по убыванию. далее определяются номера интервалов, суммарная энергия в которых составляет 95% от общей.

Для данных интервалов вычисляются коэффициенты:

$$B_1^r = \sqrt{\frac{P_r}{P_{max}}}, \quad (2)$$

где P_r – значение энергии в r -ом частотном интервале исходного сигнала соответственно; P_{max} – максимальное значение энергии исходного сигнала.

Для исходного сигнала осуществляется знаковое квантование с последующим сохранением полученных значений и вычисленных ранее коэффициентов.

При восстановлении для квантованного сигнала вычисляются значение энергии (1) и коэффициенты:

$$B_2^r = B_1^r \sqrt{\frac{P_{кл\ max}}{P_{кл\ r}}}$$

где $P_{кл\ r}$ – значение энергии в r -ом частотном интервале квантованного сигнала;

$P_{кл\ max}$ – максимальное значение энергии квантованного сигнала.

Значения коэффициентов B_2 умножаются на значение вектора субполосного преобразования для соответствующего частотного интервала:

$$\vec{y} = \vec{y}B_{2r}.$$

Значения подвекторов субполосного преобразования \vec{y}_r , соответствующие интервалам, суммарная энергия которых составляет 5% от общей, обнуляются. Далее осуществляется обратное субполосное преобразование_к

$$\vec{x} = AA'\vec{y}.$$

На рисунке 2 представлен отрезок сигнала. Очевидно, что форма восстановленного сигнала в гораздо большей степени близка к форме исходного сигнала, чем клипированный сигнал.

Для проверки работоспособности алгоритма были проведены вычислительные эксперименты для большого количества сигналов. Процедура сжатия осуществлялась в 3 этапа: кодирование пауз [5,6], знаковое квантование с вычислением коэффициентов (2), арифметическое кодирование. Полученные после процедуры сжатия данные сохранялись на жестком носителе, затем рассчитывались коэффициенты сжатия по формулам:

$$K1 = \frac{L1}{L2},$$

где $L1$ – длина исходного сигнала в отсчетах;

$L2$ – длина сигнала с предварительно удаленными паузами в отсчетах.

$$K2 = \frac{V1}{V2},$$

где $V1$ – объем исходного wav;

$V2$ – объем файла, полученного в результате сжатия.

Типичные примеры результатов экспериментов представлены в таблице 1.

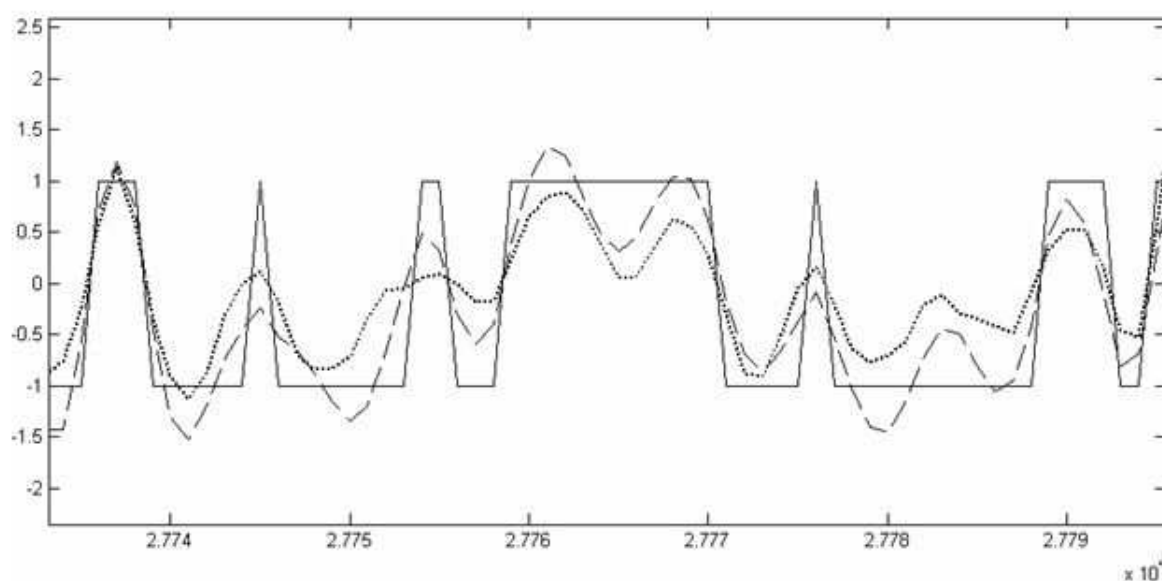


Рисунок 2 – Отрезок сигнала

Исходный сигнал – мелкий пунктир, клипированный сигнал – сплошная линия, восстановленный сигнал – пунктирная линия

Таблица 1 – Показатели степени сжатия речевых данных

Тип сигнала	L1 отсчетов	L2 отсчетов	V1, Кб	K1	V2, Кб	K2
диалог	145125	92672	283	1.57	13.2	13.9
стих	82944	66650	162	1.25	9.45	17.14
слитная фраза	35327	19006	69	1.86	2.72	25.37
лекция	376426	164352	735	2.29	23.4	31.4

Таким образом, на основе приведенных данных можно утверждать, что данный подход к сжатию данных позволяет существенно сократить объем речевых данных при их хранении на жестких носителях информации, при сохранении относительно высокого качества воспроизведения восстановленного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухвинер В.Е. Управляемое компандирование звуковых сигналов. – М.:Связь, 1978. – 208 с.
2. Козленко Н.И. Помехоустойчивость дискретной передачи непрерывных сообщений. – М.: Радиотехника, 2003. – 352 с.
3. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – 5-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 560 с.
4. Жиляков Е.Г. Частотный анализ речевых сигналов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Белгород, 2006. – №2(31), выпуск 3. – С. 201-208.
5. Прохоренко Е.И. Метод обнаружения пауз в речевых сигналах. Вестник московской академии рынка труда и информационных технологий. – Москва, 2006. №4(26). – С.13-20.
6. Жиляков Е.Г., Белов С.П. О сжатии речевых сигналов. Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков, 2005. – №56. – С. 32-40.
7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2005.
8. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи. – М.: Радио и связь, 2000.
9. Орищенко В.И. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации /В.И.Орищенко, В.Г.Санников. В.А. Свириденко; Под ред. В.А. Свириденко. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с., ил.

Прохоренко Екатерина Ивановна

Белгородский государственный университет, г. Белгород

Кандидат технических наук,

доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Тел.: (84722)30-13-59

E-mail: prokhorenko@bsu.edu.ru

Болдышев Алексей Владимирович

Белгородский государственный университет, г. Белгород

Студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Тел.: (84722)30-13-54

E-mail: alexeiboldshev@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 330.322.54: 519.86

Н.М. БАТЕНКОВА, О.В. БАТЕНКОВА

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ИНВЕСТИЦИЙ

В статье предложена модель системы управления потоком инвестиций. Механизм ее функционирования заключается в возможности выбора менеджментом компании одной из двух альтернатив: либо вложение средств в реальное производство, либо их выделение в качестве ссуды. Найдено распределение вероятности интенсивности результатов производства при использовании данной модели.

Ключевые слова: инвестиция; система управления; интенсивность результатов производства; компьютерное моделирование; модель системы управления; инвестиционный риск.

Investment flow control system model are determined in this article. It functioning mechanism is concluded in possibility of alternative selection by firm management: investment in real production or loan financing. Production results rate probability distribution in case of given model utilization is displayed.

Keywords: investment; control system; production results rate; computer simulation; control system model; investment risk.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире многообразных и сложных экономических процессов и взаимоотношений между гражданами, предприятиями, финансовыми институтами, государствами на внутреннем и внешнем рынках острой проблемой является эффективное вложение капитала с целью его приумножения или инвестирования. Экономическая природа инвестиций обусловлена закономерностями процесса расширенного воспроизводства и заключается в использовании части дополнительного общественного продукта для увеличения количества и качества всех элементов системы производительных сил общества.

В этой связи остро встает вопрос о необходимости программной реализации алгоритмов оценки эффективности инвестиционных проектов, поскольку оценка представляет собой один из наиболее ответственных этапов в решении целого ряда стратегических задач, характерных для стадии реализации инвестиций. Обоснованность принимаемого инвестиционного решения напрямую зависит от того, насколько объективно и всесторонне проведена эта оценка. В основе оценки эффективности инвестиционного проекта лежит система показателей, соизмеряющих полученный эффект от реализации инвестиционного проекта с его инвестиционными затратами [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Предметом исследования данной статьи являются способы моделирования систем управления потоками инвестиций. Сущность этих способов заключается в разработке стратегий развития предприятия, позволяющих эффективно расходовать поступающие инвестиционные средства. При этом под эффектом понимается достижение фирмой определенной интенсивности результатов производства [2].

Формальная постановка задачи такова: механизм получения предприятием дополнительного дохода и возможность повышения интенсивности организуемого производства основан на оперативном принятии решения менеджментом компании о варианте освоения инвестиционных средств. В работе рассматривается две альтернативы, имеющиеся у инвестора: вложение финансов в новое производство, либо их предоставление в виде ссуды надежным организациям под заданный процент q на срок T_q как наименее рискованная возможность получения прибыли. Выбор второй альтернативы влечет за собой необходимость принятия решения о вложении полученного от ссуды дохода по прошествии времени T_q . Если снова возникает возможность предоставления этих средств в виде ссуды, то спустя время T_q опять необходимо принимать решение о варианте освоения этого финансового потока. Подобная ситуация может повторяться несколько раз, пока либо инвестор не перечислит все средства на развитие нового производства, либо не истечет срок инвестиционного проекта.

Денежный поток распределяется между вариантами освоения инвестиций в определенных пропорциях. Они отражаются в виде коэффициентов $u_{i,j} \in [0; 1]$, показывающих, какую часть i -го элемента денежного потока инвестор выделяет на организацию нового производства после предоставления $j = \overline{0, N_{s_j}}$ ссуд. Величина $(1 - u_{i,j}) \in [0; 1]$ равна доле i -го элемента денежного потока, отпущенной на ссуду j .

Таким образом, задача исследования заключается в математическом описании процесса освоения предприятием поступающих инвестиционных средств, в его компьютерном моделировании и в получении показателей качества этого процесса.

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ИНВЕСТИЦИЙ

Согласно описанной логике размещения поступающих денежных средств, их преобразования описываются рекуррентными соотношениями. Объем финансирования, отпущенного на организацию нового производства после j -кратного предоставления ссуд, имеет вид:

$$\dot{C}_{i,j} = u_{i,j} \cdot C_{i,j}, \quad i = \overline{0, n}, \quad j = \overline{0, N_{s_j}}, \quad (1)$$

где для общности обозначений – $C_{i,0} = C_i, C_i$ – i -ый элемент денежного потока.

Величина же материальных средств, выделяемых в виде j -ой ссуды надежным организациям, задается выражением:

$$\ddot{C}_{i,j} = (1 - u_{i,j}) \cdot C_{i,j}, \quad i = \overline{0, n}, \quad j = \overline{0, N_{s_i}}. \quad (2)$$

По прошествии срока ссуды вложенная сумма увеличивается в соответствии с договорной процентной ставкой:

$$C_{i,j} = (1 + q) \cdot \ddot{C}_{i,j-1}, \quad i = \overline{0, n}, \quad j = \overline{1, N_{s_i}}. \quad (3)$$

Следовательно, процесс вложения поступающего от инвестора денежного потока описывается конечным набором дискретных систем, число которых определяется количеством элементов денежного потока $n + 1$. В целях удобства представления этих систем осуществляется прямой переход от разностных уравнений (1)-(3) к уравнениям в пространстве состояний [3]. При этом под состоянием каждой дискретной системы понимается объем средств $C_{i,j}$, имеющийся в наличии у менеджмента компании после возвращения j -ой ссуды от i -го элемента денежного потока. Путем подстановки (2) в (3) уравнение состояния принимает вид:

$$C_{i,j} = (1 + q) \cdot (1 - u_{i,j-1}) \cdot C_{i,j-1}, \quad i = \overline{0, n}, \quad j = \overline{1, N_{s_i}}. \quad (4)$$

Интенсивность нового производства является аддитивной величиной [4] относительно объема вложенных в него средств. Поэтому для простоты без потери

информативности можно ограничиться рассмотрением последовательности элементов денежного потока.

Структурная схема, соответствующая уравнениям в пространстве состояний (4) и (1), изображена на рисунке 1. Одновременный характер возникновения элемента денежного потока $C_{i,o}$ для наглядности показан в виде прямоугольного импульса.

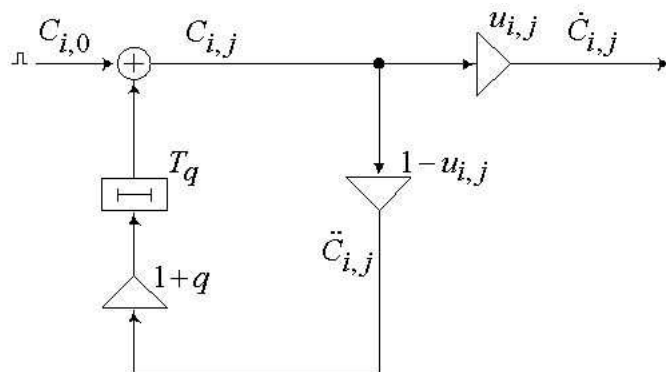


Рисунок 1 – Структурная схема дискретной системы, описывающей преобразования i -го элемента денежного потока в ходе инвестирования

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ В ХОДЕ ИНВЕСТИРОВАНИЯ

Таким образом, механизм инвестирования, заключающийся в выборе одного из возможных вариантов вложения доступных финансовых средств – либо в развитие производства, либо выделение в виде ссуды – целесообразно рассматривать как набор дискретных систем управления при случайных воздействиях. В качестве управляющих компонент выступают коэффициенты $u_{i,j}$, которые менеджмент компании должен определять самостоятельно в зависимости от выбранного критерия эффективности. Случайными воздействиями являются поступающие элементы денежного потока $C_{i,o}$, стохастический характер которых обусловлен различного рода рисками [5].

Наиболее полную информацию как о средних значениях случайного процесса, так и о его возможных отклонениях можно получить из многомерной плотности распределения вероятности наблюдаемых сечений, функционалами которой являются большинство характеристик случайного процесса [8].

Интенсивность нового производства в момент времени t определяется на основе уравнений состояния (4) и наблюдения (1). Последовательная подстановка рекуррентных соотношений (4) для $j = 0$ в (4) для $o = 1$ и т.п. делает возможным получить общую зависимость любого состояния системы (объем средств, полученных от ссуды) от начального (нулевого) состояния:

$$C_{i,j} = (1 + q)^j \cdot C_i \cdot \prod_{l=0}^{j-1} (1 - u_{i,l}), \quad i = \overline{0, n}, \quad j = \overline{1, N_{S_i}}. \quad (5)$$

В момент поступления i -го элемента денежного потока ($j = 0$) состоянием системы является величина этого элемента $C_{i,0} = C_i$.

Объем финансирования, направляемый на развитие нового производства, выражается путем подстановки (5) в (1):

$$\dot{C}_{i,j} = (1 + q)^j \cdot C_i \cdot u_{i,j} \cdot \prod_{l=0}^{j-1} (1 - u_{i,l}), \quad i = \overline{0, n}, \quad j = \overline{1, N_{S_i}}. \quad (6)$$

В момент поступления i -го элемента денежного потока ($j = 0$) этот объем определяется формулой (1).

Таким образом, уравнения состояния (4) и наблюдения (1) позволяют программно реализовать алгоритм, соответствующий процессу освоения предприятием поступающих инвестиционных средств, а соотношение (6) – определить объем финансирования, направляемый на развитие нового производства, в любой момент времени.

ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ НОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Интенсивность нового производства, организованного за счет вложения части i -го элемента денежного потока в момент t_i ($j = 0$), определяется согласно [4] как:

$$I_i(\dot{t}) = a \cdot C_i \left[1 - e^{-b(\dot{t}-t_i)} - \frac{\ln(r+1)}{T} \left\{ \dot{t} - t_i - \frac{1}{b} \left(1 - e^{-b(\dot{t}-t_i)} \right) \right\} \right] \times (1+r)^{-\dot{t}/T} \cdot \sigma(\dot{t}-t_i), \quad (7)$$

где a – коэффициент влияния инвестиций на интенсивность нового производства;

b – интенсивность наращивания производства;

t_i – момент поступления элемента денежного потока величиной C_i ;

r – стоимость капитала, привлеченного для инвестиционного проекта (ставка дисконтирования);

$\sigma(t)$ – функция единичного скачка (Хэвисайда);

T – период времени, для которого рассчитывается ставка дисконтирования.

(1) прямо пропорциональна объему поступающего финансирования C_i :

$$I_{i,j}(\dot{t}) = a \cdot u_{i,j} \cdot C_i \cdot E(\dot{t} - t_i) \cdot (1+r)^{-\dot{t}/T} \cdot \sigma[\dot{t} - t_i], \quad j = 0, \quad i = \overline{0, n}, \quad (8)$$

где для краткости введено обозначение:

$$E(t) = 1 - e^{-bt} - \frac{\ln(r+1)}{T} \left\{ t - \frac{1}{b} (1 - e^{-bt}) \right\}. \quad (9)$$

После выделения части средств в виде ссуды один или более раз вложение в производство возможно только спустя время $j \cdot T_q$. При этом интенсивность производства изменяется согласно (7) и (6) также прямо пропорционально объему финансирования:

$$I_{i,j}(\dot{t}) = a \cdot U_{i,j} \cdot C_i \cdot (1+r)^{-\dot{t}/T} \cdot E[\dot{t} - (t_i + j \cdot T_q)] \cdot \sigma[\dot{t} - (t_i + j \cdot T_q)], \quad (10)$$

где также для краткости введено обозначение:

$$U_{i,0} = u_{i,0}, \quad i = \overline{0, n}, \quad (11)$$

$$U_{i,j} = u_{i,j} \cdot (1+q)^j \cdot \prod_{l=0}^{j-1} (1 - u_{i,l}), \quad i = \overline{0, n}, \quad j = \overline{1, N_{s_i}}. \quad (12)$$

Интенсивность производства, достигнутая за счет вложения i -го элемента денежного потока, является суммой интенсивностей, полученных путем вложения части денежных средств после возврата j -ой ссуды в момент $t_i + j \cdot T_q$, и определяется выражением [4]:

$$I_i(\dot{t}) = \sum_{j=0}^{N_{s_i}} I_{i,j}(\dot{t}), \quad i = \overline{0, n}. \quad (13)$$

Выражение для условной плотности вероятности интенсивности нового производства в момент времени \dot{t} при заданной величине i -го элемента денежного потока и момента его поступления t_i , задаваемая детерминированными зависимостями (8)-(13), имеет вид дельта-функции:

$$w_{I_i/C_i, t_i}(z_i, y_i, x_i) = \delta \{z_i - a \cdot y_i \cdot (1+r)^{-i/T} \times \\ \times \sum_{j=0}^{N_{S_i}} U_{i,j} \cdot E [\dot{t} - (x_i + j \cdot T_q)] \cdot \sigma [\dot{t} - (x_i + j \cdot T_q)]\}, i = \overline{0, n}, N_{S_i} = \overline{0, \infty}, \quad (14)$$

где $\delta(x)$ – дельта-функция (Дирака).

Следовательно, каждому диапазону изменения переменной времени $x_i \in (\dot{t} - j \cdot T_q, \dot{t}]$ соответствует определенное число j слагаемых в (14). Таким образом, на основе фильтрующего свойства дельта-функции, неотрицательности переменной времени и формулы полной вероятности, плотность вероятности приобретает вид:

$$w_{I_i}(z_i) = \frac{(1+r)^{i/T}}{a} \left\{ \sum_{m=0}^{N_{S_i}-1} \int_{\dot{t}-(m+1)T_q}^{\dot{t}-mT_q} Y_{i,m}(z_i, \dot{t}, x_i) dx_i + \int_0^{\dot{t}-N_{S_i}T_q} Y_{i,N_{S_i}}(z_i, \dot{t}, x_i) dx_i \right\} + \\ + \delta(z_i) \int_i^\infty w_{t_i}(x_i) dx_i, \quad (15)$$

где для краткости дополнительно введено обозначение:

$$Y_{i,m}(z_i, \dot{t}, x_i) = w_{C_i} \left(\frac{z_i \cdot (1+r)^{i/T}}{a \cdot \sum_{j=0}^m U_{i,j} \cdot E [\dot{t} - (x_i + j \cdot T_q)]} \right) \cdot \frac{w_{t_i}(x_i)}{\left| \sum_{j=0}^m U_{i,j} \cdot E [\dot{t} - (x_i + j \cdot T_q)] \right|}, \\ i = \overline{0, n}, m = \overline{0, N_{S_i}}. \quad (16)$$

Значение максимального числа возможных ссуд N_{S_i} определяется, исходя из условия неотрицательности переменной времени: согласно физического смысла – $\dot{t} \geq 0$ и $t_i \geq 0$. Кроме того, выделение денежных средств в виде j -ой ссуды рационально с точки зрения получения прибыли только до момента наблюдения \dot{t} , т.е. при выполнении условия: $\dot{t} \geq t_i + j \cdot T_q, \forall j = 0, N_{S_i}$. Следовательно, максимальное число ссуд равно:

$$N_{S_i} = \lfloor \dot{t}/T_q \rfloor, \quad (17)$$

где $\lfloor x \rfloor$ – операция округления x до ближайшего меньшего целого числа.

Каждое из слагаемых (15) (с учетом раскрытия фигурных скобок) отражает вероятность попадания момента прихода i -го элемента денежного потока t_i в интервал, задаваемый пределами интегрирования соответствующего слагаемого. Так, первое слагаемое сопоставляется вероятности попадания в интервал $t_i \in [\dot{t} - T_q, \dot{t})$, второе – в интервал $t_i \in [\dot{t} - 2T_q, \dot{t} - T_q)$, m -ое – в интервал $t_i \in [\dot{t} - m \cdot T_q, \dot{t} - (m-1)T_q)$, предпоследнее – в интервал $t_i \in [0, \dot{t} - N_{S_i} \cdot T_q)$, а последнее – в интервал $t_i \in [\dot{t}, \infty)$, т.е. идентифицирует вероятность того, что средства инвестирования поступят после окончания проекта (момента наблюдения) – $p \{t_i > \dot{t}\}$.

Формулы (15) – (17) позволяют программно реализовать алгоритм, описывающий процесс освоения поступающих денежных средств. Причем в отличие от соотношений (4), (1) и (6) в формализованном виде дают представление о величине и степени неопределенности исследуемого показателя качества (интенсивности) во времени.

Схема алгоритма, описывающего процесс освоения денежных средств, представлена на рисунке 2. При этом программная реализация алгоритма выполнена с

помощью пакета математического моделирования MathCad, позволяющего в простой и наглядной форме осуществить все процедуры алгоритма, в том числе численное интегрирование и задание итерационного процесса приращения аргумента функции. Визуализация результатов расчета произведена путем использования встроенной в данный пакет процедуры «X-Y plot», позволяющей графически отображать кривые, построенные на основе значений функции плотности вероятности интенсивности нового производства, полученных в результате выполнения алгоритма, и задаваемого диапазона изменения возможных значений интенсивности.

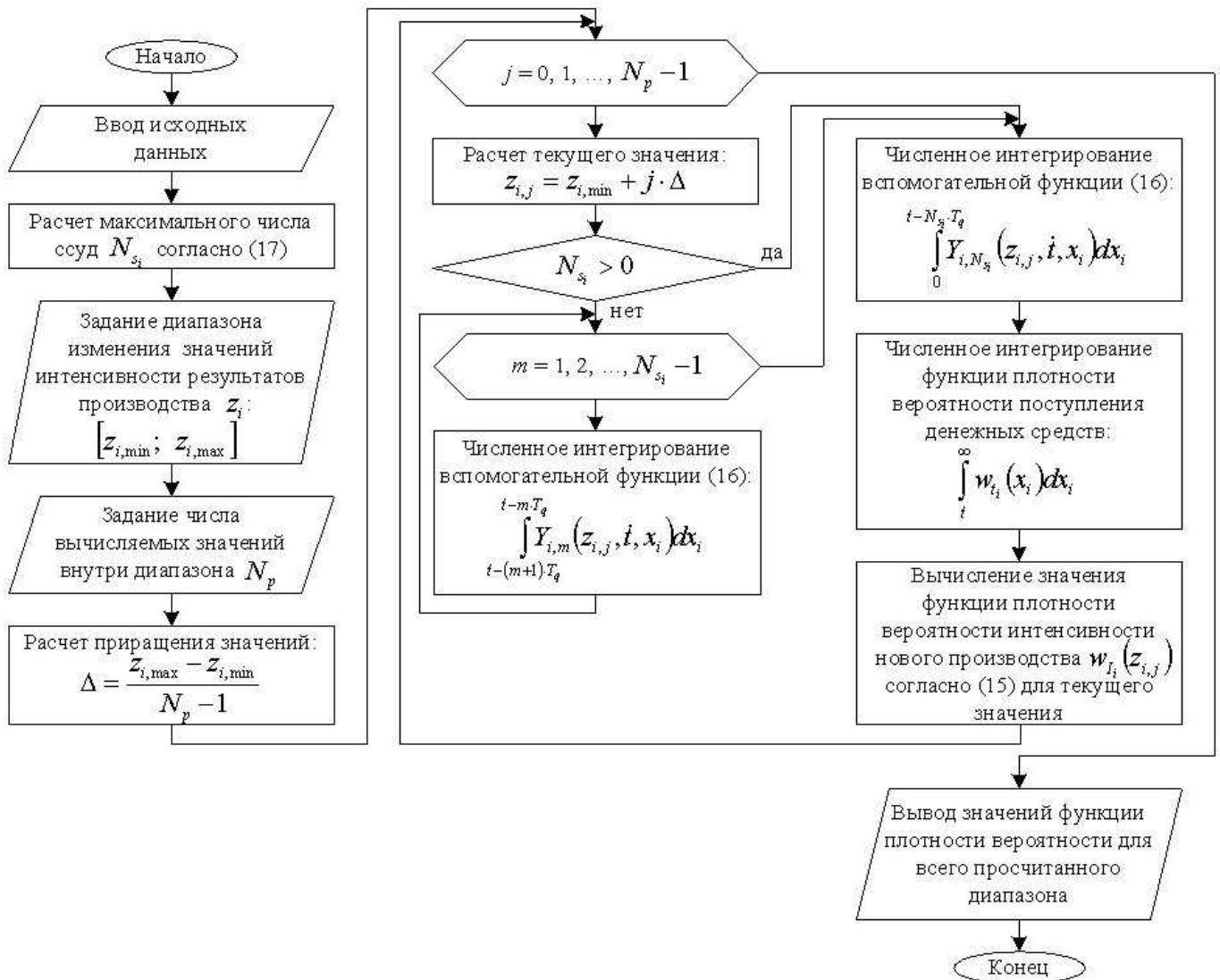


Рисунок 2 – Схема алгоритма, описывающего процесс освоения денежных средств

На рисунке 3 представлены графики, рассчитанные согласно вышеописанному алгоритму и отражающие изменение плотности вероятности интенсивности нового производства во времени при различных коэффициентах перераспределения поступающих денежных средств. Исходные данные для компьютерного моделирования выбраны следующие: в качестве распределения вероятности величины i -го элемента денежного потока рассматривается нормальное распределение с параметрами $m_{C_i} = 7$ млн.руб., $\sigma_{C_i} = 0,07$ млн.руб.; плотность вероятности момента поступления этого

элемента имеет вид распределения Эрланга второго порядка с параметром $\lambda = 1,7 \text{ мес}^{-1}$; изменение мощностей нового производства, интенсивность которых определяется выражением (7), задается коэффициентами:

$$r = 0,02, T = 1 \text{ мес}, a = 3 \text{ мес}^{-1}, b = 0,2 \text{ мес}^{-1}.$$

Поведение графиков схоже для всех типов перераспределения инвестиций, однако характеристики несколько различаются, что обусловлено действиями менеджмента компании по выбору способа освоения денежных средств.

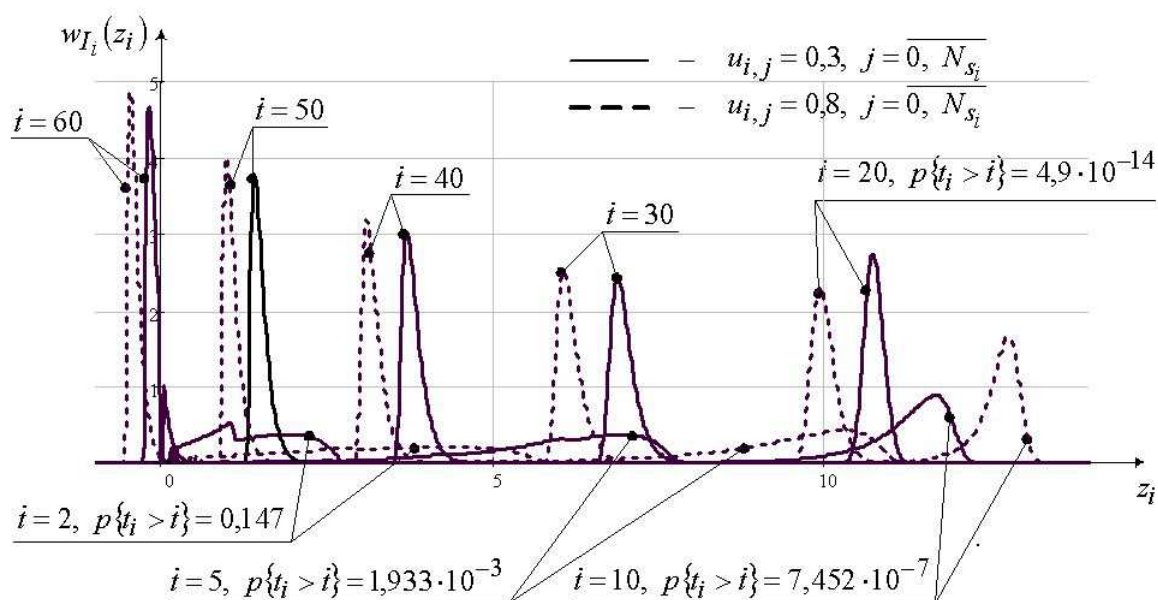


Рисунок 3 – Динамика плотности распределения вероятности интенсивности нового производства при соответствующих коэффициентах перераспределения инвестиций $u_{i,j}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена модель системы управления потоком инвестиций. При этом механизм ее функционирования заключается в возможности выбора менеджментом компании одной из двух стратегий развития: вложение в реальное производство, либо предоставления денежных средств в виде ссуды. Получены уравнения состояния и наблюдения данной модели, а также структурная схема реализации процесса освоения инвестиций, что делает возможным его компьютерное моделирование.

Формализованная в работе вероятностная модель этого процесса позволяет программно рассчитать плотность распределения вероятности рассматриваемого показателя качества (интенсивности) в любой момент времени.

Однако необходимо отметить, что при принятии решений в условиях риска необходимо проводить анализ не только наиболее вероятного значения исследуемой случайной величины, но и возможных ее отклонений [6]. Тем не менее, у менеджмента компании возникает необходимость в оценке предельно достижимых величин показателя эффективности для всех возможных вариантов событий. Данное требование в большинстве случаев характерно для предварительного этапа анализа инвестиционного проекта, но может присутствовать также и на стадии экономического анализа. В связи с этим дальнейшим направлением исследований необходимо считать постановку и решение

задачи по перераспределению финансовых поступлений с целью оптимизации определенного показателя качества системы (среднего значения, дисперсии, ожидаемой полезности и т.п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Деревянко П.М. Оценка риска неэффективности инвестиционного проекта с позиций теории нечетких множеств // Мягкие вычисления и измерения (SCM'2004): VII международная конференция 17-19 июня 2004 г. – СПб.: СПбГЭТУ, 2004. – с. 167-171.
2. Моделирование экономических процессов: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям экономики и управления (060000) / Под ред. М.В. Грачевой, Л.Н. Фадеевой, Ю.Н. Черемных. – М.: Юнити-Дана, 2005. – 351 с.
3. Теория автоматического управления: учеб. для вузов/С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; под ред. В.Б. Яковлева. – М.: Высшая школа, 2003. – 567 с.
4. Анфилатов В.С. и др. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин; под ред. А. А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
5. Савчук В.П. Оценка эффективности инвестиционных проектов.
6. Розен В.В. Математические модели принятия решений в экономике. Учеб. пособие. – М.: Книжный дом «Университет», Высшая школа, 2002. – 288 с.
7. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с.
8. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.
9. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе: Учеб. пособие/ А. М. Дубров, Б. А. Лагоша, Е. Ю. Хрусталева, Т. П. Барановская; под ред. Б. А. Лагоши. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 224 с.

Батенкова Наталья Михайловна

ОАО «Сбербанк», г. Орел

Старший инженер

Тел.: (4862) 421-888

E-mail: refty@inbox.ru

Батенкова Ольга Владимировна

УСЗН Администрации Орловского района, г. Орел

Бухгалтер

Тел.: (4862) 43-06-26

E-mail: refty@inbox.ru

УДК 004.78:656.13

С.В. БЕЛОКУРОВ, В.П. БЕЛОКУРОВ, С.В. СКРЫЛЬ

ПОЭТАПНЫЙ ВЫБОР МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧАХ

Рассмотрена постановка задачи многокритериального поэтапного выбора эффективных решений в информационных транспортных системах произвольной структуры с позиций системного подхода.

Ключевые слова: теория выбора; множество; транспортные задачи; алгоритм; оптимизация.

The task of many criteria choice of effective decisions is given in informational transport system of any structure from the point of view of a system approach.

Keywords: theory of the choice; great number; transport tasks; algorithm; optimization.

Методы моделирования являются крайне эффективными при решении целого ряда задач в области транспортных систем в сфере компьютерной информации.

В качестве классификационных оснований транспортных моделей информационных процессов в компьютерных сетях выступают основные компоненты самого процесса моделирования, к которым традиционно относятся субъект моделирования, задача, решаемая субъектом при помощи этого метода, объект моделирования (оригинал), способ моделирования. Формализация и научное обоснование таких моделей позволяет существенно повысить эффективность существующих и дать обоснование к построению новых информационных транспортных систем.

Так как эти алгоритмы и модели являются по своей сути инвариантными к предметной области, рассмотрим системную модель многокритериального поэтапного выбора решений на графах, применительно к информационным системам, каковыми по сути и являются информационные транспортные системы.

Рассмотрим постановку задачи многокритериального поэтапного выбора эффективных решений в информационных системах (ИС) произвольной структуры с позиций системного подхода. При этом решение задачи можно разбить на следующие последовательно выполняемые процедуры [1-7]:

1. Формализация задачи. Структуру любой ИС можно описать в виде ориентированного графа с заданными на его дугах векторными весами, а проблему многокритериального поэтапного выбора решений в ИС формально свести к проблеме выбора на графах.

В результате такого преобразования получаем ориентированный граф $G = (V, E)$, где $V = \{\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_n\}$ – множество вершин, представляющих собой возможные варианты некоторых технических операций (ТО); $E = \{[\nu_i, \nu_j]\} = \{e\}$, $(i, j = \overline{1, n}, i \neq j)$, множество дуг, соединяющих эти вершины (множество материальных, информационных и других потоков между ними), и каждая дуга $e \in E$ характеризуется набором весов $\omega_k(e)$, $k = \overline{1, m}$.

Тогда возможное решение можно ассоциировать с некоторым подграфом $g = (V_g, E_g)$, $V_g \subset V$, $E_g \subset E$ исходного графа (например, маршрут изготовления изделий). На множестве всех возможных решений $\{g\}$ определена векторная критериальная функция:

$$x(g) = (x_1(g), x_2(g), \dots, x_m(g)), \quad (1)$$

где $x_k(\mathbf{g}) = \sum_{e \in E_g} \omega_k(e)$, $k = \overline{1, m}$ – k -й критерий эффективности каждого решения, аддитивный в силу специфики рассматриваемого класса задач (например, удельные приведенные затраты, себестоимость единицы выпускаемой продукции, время обработки и др.).

В таком представлении задача многокритериального поэтапного выбора заключается в выборе из множества возможных решений некоторой совокупности эффективных альтернатив $X = \{x(\mathbf{g})\} = C(\{\mathbf{g}\}) \subseteq PAR$, предпочтительных с точки зрения некоторого эксперта или «лица, принимающего решение» (ЛПР), где PAR – множество Парето-оптимальных решений, C – функция выбора.

Существующие методы многокритериального поэтапного выбора позволяют искать оптимальные решения только в тех случаях, когда структура ИС представляет последовательную обработку предмета производства, то есть описывается в виде бесконтурного (ациклического) графа. В случаях, когда граф не удовлетворяет данному условию, предлагается проводить декомпозицию графа.

2. Декомпозиция графа. Структура многих ИС состоит не только из цепочки выполняемых операций (процессов, этапов, стадий), как в случае последовательной переработки информации, но и разветвлений и/или возвратов (циклов, контуров) различных информационных потоков. То есть, в общем случае структуру ИС можно представить в виде ориентированного графа с разветвлениями и/или контурами и оптимальное решение такой многостадийной задачи, соответственно, содержит в своем составе разветвление и/или контур.

Для решения указанной проблемы предлагается орграф, описывающий структуру такой ИС, разбивать на ориентированные ациклические подграфы с целью решения локальных задач оптимизации на этих подграфах и формирования интегральных решений с учетом их связей и ограничений, обеспечивающих целостность ИС.

В связи с этим проводится декомпозиция исходного орграфа $G = (V, E)$ на отдельные фрагменты – ациклические подграфы $G_\Psi = (V_\Psi, E_\Psi)$, $G_\Psi \subseteq G$, $\Psi = \overline{1, J}$, такие, что элементы оптимальных решений представляют собой эффективные пути на этих подграфах, из которых в дальнейшем по определенным правилам формируются интегральные решения.

Так как в каждом подграфе G_Ψ требуется найти эффективные пути, то для этого необходимо синтезировать механизм поэтапного выбора, согласно которому будет проводиться их отсев на этапах поиска.

3. Синтез механизма поэтапного выбора. Согласно анализу механизмов выбора, применяемых для решения задач многокритериального выбора вариантов ИС [1-3], все они могут быть сведены к парнодоминантному механизму выбора соответствующего уровня, причем, если при опросе ЛПР наблюдается транзитивность его предпочтений, то используются механизмы уровня 2.

В связи с этим, для организации выбора эффективных решений на этапах поиска будем использовать специально разработанный для таких случаев механизм, определяемый функцией выбора по бинарному отношению предпочтения, согласно которому будет проводиться отсев неэффективных решений на этапах поиска в каждом ациклическом подграфе.

Такая запись позволяет учитывать в отношении предпочтения дополнительную информацию, полученную от ЛПР (например, использование модели на основе экстраполяции по вектору или по конусу, адекватных экспертным оценкам в случаях,

когда необходимо уменьшить мощность множества недоминируемых альтернатив) и др.

В результате получаем подграфы $G_\Psi = (V_\Psi, E_\Psi)$, $G_\Psi \subseteq G$, $\Psi = \overline{1, J}$ у которых на дугах задано бинарное отношение предпочтения R .

После того, как будет синтезирован механизм многокритериального поэтапного выбора, необходимо проводить поиск всех эффективных путей в каждом ациклическом подграфе G_Ψ .

4. Поиск эффективных путей на подграфах G_Ψ . Так как каждый подграф G_Ψ , $\Psi = \overline{1, J}$, полученный после декомпозиции исходного графа G , является ациклическим ориентированным графом, и, следовательно, каждый фрагмент интегрального решения является линейным, то поиск таких фрагментов (эффективных путей) в подграфах G_Ψ будем осуществлять с помощью алгоритмов, в которых для организации отсева худших вариантов на этапах поиска используется механизм поэтапного выбора.

В результате каждый фрагмент исходного графа G будет содержать множество эффективных путей: $G_\Psi : \{p^*\}_\Psi$, $\Psi = \overline{1, J}$, где p^* эффективный путь.

На основе частных решений $\{p^*\}_\Psi$, полученных в каждом подграфе G_Ψ , $\Psi = \overline{1, J}$, следует проводить формирование окончательных решений на исходном графе G .

5. Формирование интегральных решений (композиция решения) осуществляется объединением фрагментов путей с учетом связей и ограничений, обеспечивающих целостность ИС. В результате такой процедуры получаем множество интегральных вариантов решений, каждый из которых характеризуется совокупностью оценок критериев, полученных, в силу условия аддитивности, изначально накладываемого на критерии, сложением оценок отдельных фрагментов.

Однако среди найденных вариантов решений могут оказаться и неэффективные, которые необходимо отбросить. Для этого предлагается использовать функцию выбора на множестве возможных интегральных вариантов ИС. В итоге получим множество эффективных интегральных вариантов $\{p^*\}$, из которого необходимо сделать окончательный выбор.

6. Окончательный выбор. Форма результирующего решения может быть весьма различной в зависимости от того, какая задача ставится перед ЛПР. Это может быть одна оптимальная альтернатива, конечное множество альтернатив, доступное для неформального анализа ЛПР, конечное множество упорядоченных альтернатив, совокупность оценок каждой альтернативы в баллах и др.

Таким образом, из полученного множества эффективных вариантов ИС проводится выбор одного или нескольких искомым решений p^* . Разработанная системная модель инвариантна для сложной структуры взаимодействия элементов любой технологической системы, в том числе, структуры с разветвлениями и/или возвратами различных информационных потоков, и позволяет создать основу для структурно-параметрического синтеза моделей многокритериального поэтапного выбора решений в информационных системах.

Одним из основных моментов при реализации системной модели (1) является нахождение множества эффективных путей в каждом из ациклических подграфов G_Ψ (граф общего вида будем обозначать G ; ациклические подграфы – G_Ψ ; в оговариваемых случаях, когда нет необходимости подчеркивать, что граф общего вида разбивается на ациклические подграфы, ациклический граф будем обозначать G), на которые производится декомпозиция графа общего вида, описывающего структуру рассматриваемой ИС, то есть $G_\Psi - \{p^*\}_\Psi$.

При этом для поиска таких путей предлагается использовать подход, основанный на прямом обобщении на случай нескольких критериев известных однокритериальных схем, реализующих принцип оптимальности Беллмана (ПОБ), описанный в терминах языка функции выбора, механизмом π которой является механизм блокировки, а структурой σ – бинарное отношение R качественного порядка.

Помимо этого используемое отношение предпочтения R должно обладать еще одним свойством – свойством независимости от смещения. Оно вытекает из аддитивности каждого критерия эффективности и означает, что для любых альтернатив x и y и любого вектора b из соотношения следует $(x + b)R(y + b)$.

Рассмотрим прямое обобщение однокритериальных схем поэтапного выбора на случай нескольких критериев. Идея такого обобщения заключается в следующем: на i -м этапе поиска на множестве допустимых решений M получается последовательность конечных множеств M_1, M_2, \dots, M_k , которая сходится к решению $M_\infty (M_k \rightarrow M_\infty)$, где для всех k M_k – совокупность эффективных решений (вариантов путей), полученных к k -й итерации i -ог этапа. Эту последовательность будем строить по принципу генерация-отсев [1-3]. Согласно данной схеме на k -й итерации i -го этапа поиска генерируем некоторое множество M_k , при этом способ генерации определяется элементами какого-либо однокритериального алгоритма, затем полученное множество $M_k \cup M_{k-1}$ сужаем посредством заданной функции выбора C до множества M_k , то есть:

$$M_k = C(M'_k \cup M_{k-1}), \quad (2)$$

Применение этой схемы будет корректно лишь в том случае, если выполняется условие ассоциативности выбора:

$$C\left(\bigcup_j^k M'_j\right) = C\left(M'_k \cup C(M'_{k-1} \cup \dots \cup C(M'_1) \dots)\right). \quad (3)$$

Выявим условия соблюдения ассоциативности выбора в предлагаемой схеме.

Согласно [4,5], если функция выбора C порождается парнодоминантным механизмом выбора уровня 2, то она удовлетворяет условиям наследования (H), согласия (C) и отбрасывания (O), то есть принадлежит пересечению областей $H \cap C \cap O$.

Теорема 1. Для произвольных множеств X и Y функции выбора, обладающей свойствами H и O , присуще также следующее свойство:

$$C(X \cup Y) = C(X \cup C(Y)). \quad (4)$$

Доказательство. Покажем, что $C(X \cup Y) \subset X \cup C(Y)$.

Пусть $X \in C(X \cup Y)$. Если $x \in X$, то, следовательно, $x \in X \cup C(X \cup Y)$. Пусть теперь $x \in Y$, тогда $X \in C(X \cup Y) \cap Y$. Для включения $Y \subset X \cup Y$, по свойству наследования, имеем: $C(X \cup Y) \cap Y \subset C(Y)$. Следовательно, $x \in C(Y)$, и $C(X \cup Y) \subset C(Y)$. А отсюда $C(X \cup Y) \subset X \cup C(Y)$. Теперь обозначим $A = X \cup Y$, $B = X \cup C(Y)$.

По доказанному выше $C(X \cup Y) \subset (X \cup C(Y)) \subset X \cup Y$, то есть $C(A) \subset B \subset A$, а по свойству отбрасывания получаем нужное равенство $C(X \cup Y) = C(X \cup C(Y))$, что и требовалось доказать.

Функцию выбора C называют не зависящей от пути (или функцией Плота), если для произвольных множеств X и Y она удовлетворяет условию:

$$C(X \cup Y) = C(C(X) \cup C(Y)). \quad (5)$$

В [4] показано, что область, выделяемая условием (5), совпадает с областью, выделяемой условием (4), а, следовательно, и с пересечением фундаментальных областей

H и O . То есть доказывается схожее (4) свойство функции выбора.

Равенство (4) по индукции легко обобщается на случай произвольного числа множеств, то есть имеет место соотношение:

$$C(X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_k) = C(X_k \cup C(X_{k-1} \cup \dots \cup C(X_1) \dots)).$$

Это равенство есть не что иное, как условие ассоциативности выбора (3). Значит, одношаговый выбор на множестве $M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_k$ можно заменить последовательным выбором на составляющих подмножествах.

Таким образом, достаточным условием ассоциативности выбора, а значит, и корректности использования для выбора вариантов решений схемы прямого обобщения на случай нескольких критериев, является применение на каждом этапе поиска функции выбора, обладающей свойствами H и O . В частности, это имеет место, если функция выбора порождается асимметричным, транзитивным бинарным отношением, то есть качественным порядком.

Выражение (2), определяемое функцией выбора C^R на основе блокировки по бинарному отношению R качественного порядка, не зависящему от смещения, представляет собой механизм многокритериального поэтапного выбора эффективных решений.

Рассмотрим теперь реализацию полученного механизма поэтапного выбора применительно к объекту исследования – ориентированному бесконтурному (ациклическому) графу. Пусть дан произвольный ориентированный ациклический граф $G = (V, E)$, у которого $V = \{\nu_i\} (i = \overline{1, n})$ – множество вершин; $E = \{[\nu_i, \nu_j]\} (i, j = \overline{1, n}; i < j)$ – множество дуг между этими вершинами. Причем каждая дуга идет из вершины с меньшим номером в вершину с большим номером и снабжена некоторым вектором весов $\rho = \Omega[\nu_i, \nu_j]$. $\Omega[\nu_i, \nu_j] = \infty$, если в графе G нет дуги $[\nu_i, \nu_j]$.

Каждый из возможных вариантов решения задачи выбора есть путь, соединяющий начальную вершину графа с его конечной вершиной. Вес такого пути равен сумме весов составляющих его дуг и на множестве весов путей определено бинарное отношение предпочтения R , являющееся качественным порядком, независящее от смещения.

Обозначим $\{D[\nu_j]\}$ – множество векторных весов недоминируемых путей из начальной вершины (источника) ν_1 в вершину ν_j , полученное к k -й итерации (M_k), а $\{D[\nu_j]\}_{k-1}$ – к $(k-1)$ -й итерации (M_{k-1}).

Выберем произвольную вершину ν_j . Перебирая все предшествующие ей вершины $\nu_i (i < j)$, такие, что существует дуга $[\nu_i, \nu_j]$, из множества $\{D[\nu_j]\}$ выбираем очередное значение $q \in \{D[\nu_j]\}$ и складываем с весом дуги $[\nu_i, \nu_j]$: $q + \Omega[\nu_i, \nu_j]$ (M'_k). При этом способ перебора вершин определяется элементами обобщаемого однокритериального алгоритма. Здесь $k = \overline{1, P_{\nu_j}}$, где P_{ν_j} общее количество вариантов путей из всех вершин ν_i в вершину ν_j . К уже существующему множеству эффективных путей $\{D[\nu_j]\}_{k-1}$ добавляем полученный вариант пути из вершины ν_i в ν_j , то есть $\{D[\nu_j]\}_{k-1} \cup (q + \Omega[\nu_i, \nu_j])$. Используя функцию выбора C^R на основе блокировки по бинарному отношению R [5], получаем реализацию множества недоминируемых вариантов на k -й итерации $\{D[\nu_j]\}_k$:

$$\{D[\nu_j]\}_k = C^R [\{D[\nu_j]\}_{k-1} \cup (q + \Omega[\nu_i, \nu_j])], \quad (6)$$

то есть $M_k = C^R(M_{k-1} \cup M'_k)$.

Перебрав все предшествующие вершине ν_j вершины ν_i , получим конечную реализацию множества $\{D[\nu_j]\}_{P_{\nu_j}}$ недоминируемых путей из источника ν_1 в вершину ν_j , то есть в процессе поиска получается последовательность конечных множеств

$\{D[\nu_j]\}_1, \{D[\nu_j]\}_2, \dots$, которая сходится к решению $\{D[\nu_j]\}_{P\nu_j}$. Таким образом, схема многокритериального поэтапного выбора решений, основанная на прямом обобщении на случай нескольких критериев известных однокритериальных схем применительно к графам, заключается в последовательном направленном переборе вершин ациклического орграфа от начальной до конечной так, чтобы в текущую вершину можно было попасть только через уже рассмотренные, в генерации для каждой вершины возможные варианты путей из исходной и отсеивать согласно механизму поэтапного выбора (2) худших из них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белокуров С.В. Синтез функций выбора на итерациях поиска в численных моделях многокритериальной оптимизации / С.В. Белокуров, Ю.С. Сербулов, С.В. Величко, Д.Е. Соловей // Воронеж: ВГЛТА, 2003. – 96 с.
2. Белокуров С.В. Синтез функций выбора на итерациях поиска в численных моделях многокритериальной оптимизации. Издание 2-е / С.В. Белокуров, С.В. Величко, Д.Е. Соловей // Воронеж: ВГУ, 2004. – 125 с.
3. Белокуров С.В. Модели выбора недоминируемых вариантов в численных схемах многокритериальной оптимизации / С.В. Белокуров, Ю.С. Сербулов, Ю.В. Бугаев, С.В. Чикунов // Воронеж: Научная книга, 2005. – 200 с.
4. Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескерев // М.: Наука, 1990.-240 с.
5. Шоломов М.В. Логические методы исследования дискретных моделей выбора / М.В. Шоломов // М.: Наука. Гл. ред. физ. - мат. лит. - 1989. – 287 с.
6. Березовский Б.А. Бинарные отношения в многокритериальной оптимизации / Б.А. Березовский, В.И. Борзенко, Л.М. Кемпнер // М.: Наука, 1981. – 125 с.
7. Борзенко В.И. Геометрия инвариантных функций выбора и бинарных отношений / В.И. Борзенко, М.В. Полящук // Управление сложными техническими системами, М.: Институт проблем управления, 1987. – 95 с.

Белокуров Сергей Владимирович

Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационно-техническое обеспечение» Воронежского института МВД РФ

394008, г. Воронеж, просп. Патриотов, д. 53

Тел.: 8(4732)476-477, 8(4732)745-714

E-mail: bsvlabs@mail.ru

Белокуров Владимир Петрович

Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж

Доктор технических наук, профессор

Зав. кафедрой «Организация перевозок и безопасности движения» Воронежской государственной лесотехнической академии

394613, г. Воронеж, ул. Тимирязева, дом 8

Тел.: 8(4732)536-178, 8(4732)733-371

E-mail: opbd_vglta@mail.ru

Скрыль Сергей Васильевич

Воронежский институт МВД РФ, г. Воронеж

Доктор технических наук, профессор кафедры «Информационная безопасность»

Воронежского института МВД РФ

394008, г. Воронеж, просп. Патриотов, дом 53

Тел.: 8(4732)476-477

E-mail: bsvlabs@mail.ru

УДК 004.8.032.26

Л.А. ЖУКОВ

ЗАДАЧИ И ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ: ВАРИАНТ ГРАФИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ

В работе приведены особенности построения и использования формальных языков и грамматик для описания технологии использования нейронных сетей при решении прикладных задач. Обсуждается использование атрибутивных грамматик. Разработан транслятор. Модели и технологии использовались при обучении дисциплинам «Нейрокомпьютерные системы» и «Формальные языки и грамматики» и для проведения исследований.

Ключевые слова: нейронные сети; технология нейросетевой обработки данных; описание.

In work features of construction and use of formal languages and grammars for the description of technology of use of neural networks are resulted at the decision of applied problems. Using of attributive grammars is discussed. Translator is created. Models were used at training to disciplines «Neurocomputer systems» and «Formal languages and grammars» and for carrying out of researches.

Keywords: neural networks; neural networks technology for applications; description of technology.

ВВЕДЕНИЕ

Нейронные сети — вид систем искусственного интеллекта, в которых для обработки сигналов используются явления, аналогичные происходящим в биологических нейронах. Важнейшая особенность нейронных сетей, свидетельствующая об их широких возможностях и огромном потенциале, состоит в параллельности обработки данных при аппаратной реализации. При большом количестве межнейронных связей это позволяет значительно ускорить процесс обработки информации. Во многих случаях становится возможной обработка сигналов в реальном времени. При большом числе межнейронных соединений сеть приобретает устойчивость к ошибкам, возникающим в некоторых связях. Функции поврежденных связей берут на себя исправные линии, в итоге результат работы сети почти не изменяется. Нейронные сети активно используются в настоящее время для решения различных видов прикладных задач. По сути своей нейронные сети можно считать разделом непараметрической статистики, приспособленным для использования на параллельных системах [1-4].

Основные виды задач, решаемых с использованием нейронных сетей:

1. разделение на классы или классификация, таксономия или кластеризация – для сетей естественной классификации или самоорганизации (без учителя); иначе эту задачу можно назвать классификация множества;
2. предсказание (действительного) числа или предикция (иначе называемая нейросетевой регрессией);
3. распознавание образов;
4. оптимизация;
5. прогнозирование;
6. моделирование;

7. аппроксимация функций
8. управление в технических системах.
9. определение значимости входных параметров;
10. условный прогноз;
11. сокращение описания входных данных и построение сети с логически прозрачной структурой.

Большая часть указанных видов задач тесно связана с другими, например, для получения прогноза предварительно нужно выполнить аппроксимацию и т.д. Можно сказать, что при работе с нейронными сетями всегда приходится выполнять оптимизацию и аппроксимацию.

Цель – разработка, формализация и применение технологии использования нейронных сетей.

Задачи:

1. Проблемы использования нейросетевых технологий исследования.
2. Разработать словесное описание нейросетевых технологий исследования.
3. Разработать графическое описание нейросетевых технологий исследования.
4. Предложить рекомендации по совершенствованию обучения нейроинформатике.

1. ПРОБЛЕМЫ

Приложения нейронных сетей встречаются все чаще и чаще. Число публикаций и работ с использованием нейронных сетей за последние 15 лет выросло в несколько раз. Появились новые конференции и семинары. Характерное изменение тематики работ некоторых конференций от нейроматематики и архитектуры нейронных сетей к приложениям. Теоретические и общезначимые работы все чаще направляются сразу в журналы, а на конференцию приходит все больше и больше исследователей, занятых решением одной задачи. Количество конференций и рост числа публикаций по нейронным сетям не вызывает сомнений и в отечественной, и в зарубежной науке.

К сожалению, количество высококвалифицированных специалистов в любой области не может расти так быстро. Даже количество квалифицированных специалистов растет медленнее роста числа работ и исследований. Поэтому средний уровень и качество работ снижается, все чаще появляются работы даже не прикладного характера, а только заявочного, постановочного. Разумеется, они также нужны и полезны, еще более полезно выступление и обсуждение постановки на конференциях и семинара. Однако рекомендаций, которые даются начинающим исследователям, не так и много. Например, четко отделять обучающую выборку от тестовой, проводить анализ значимостей входных сигналов и т.п.

На смену искусству и мастерству должно приходиться ремесло, технология. Таков общий путь развития нашей цивилизации – технологический. Низведение от искусства к ремеслу не есть нечто пренебрежительное или оскорбительное. Этот переход обусловлен увеличением потребности в производстве, в данном контексте – в производстве исследований. Следует дополнить низведение к ремеслу инструментами и технологиями. Это обеспечит переход от единичного и мелкосерийного производства к массовому, поточному.

Можно поставить вопрос – должна ли наука быть массовой, поточной? Ответ, естественно, отрицательный. Но результаты научных исследований должны быть доступны большому количеству пользователей, чем ныне. Такой подход не является

профанацией науки, напротив, он повышает роль науки как фундаментальной основы техники и технологий.

Для развития ремесла следует разрабатывать учебные пособия и прочие учебники. Впрочем, учебники нужны и для развития искусства и науки. В настоящее время таких пособий и учебников появляется много [1-5 и др.]. В большинстве из них при наличии множества достоинств есть существенный недостаток – они рассказывают про нейронные сети, но не учат ремеслу! Большинство из этих учебников не дает возможность просто и быстро решать простые задачи.

Можно разделить учебники по нейронным сетям на несколько пересекающихся групп:

1. подробное обсуждение задач;
2. подробное обсуждение алгоритмов обучения нейронных сетей;
3. подробное обсуждение архитектур разных видов;
4. подробное обсуждение архитектур сигмоидных нейронных сетей.

Большинство начинающих пользователей – инженер, студент, школьник или ученый по другим наукам, не математическим. Как правило, начинающие пользователи не хотят строить собственный нейроимитатор. И это правильно, т.к. количество уже существующих нейроимитаторов очень велико, с их помощью можно решить почти все задачи начинающих исследователей. Поэтому им не требуется детально объяснять алгоритмы обучения, учить их реализовывать алгоритмы на языках программирования.

Как правило, пользователи хотят решить свою и только свою задачу. И как можно быстрее. Поэтому их не интересует детальное обсуждение особенностей и последовательности решения других задач. Нужно краткое обсуждение и сопоставление подходов к решению задач.

Чаще всего пользователи хотят решить только одну задачу и им не очень интересно обсуждение различных типов нейронных сетей и т.п. Можно сказать только о том типе нейронных сетей, который предлагается использовать. В случае обучения студентов можно указать два-три вида чаще всего используемых сетей: сигмоидные, Кохонена и Хопфилда. Таким образом, не умаляя роли нейроматематики, теории и архитектур нейронных сетей, нужно сделать вывод, что преподавать их нужно, но кратко. А многим начинающим можно и пропустить.

Тому есть много доказательств – работа с аспирантами, студентами, школьниками, совместные исследования медико-биологических задач со специалистами-медиками. Последний вид пользователей – самый жаждущий результатов, но и самый невнимательный к архитектурам, алгоритмам и прочему. Им требуется либо дать методику работы, либо сделать работу за них. Попытка рассказать им подробнее устройство нейронных сетей и особенности работы по опыту автора иногда приводила к снижению качества сотрудничества. Медики пытались осознать результаты в рамках известной им математики, поэтому интерпретация была неверной и только затрудняла дальнейшее общение.

2. УЧЕБНИКИ

Группой НейроКомп, под руководством А.Н. Горбаня, опираясь на принцип двойственности в обучении нейронных сетей и прикладные исследования, удалось сформулировать принципы структурно-функциональной организации нейрокомпьютеров. Предполагается, что каждая нейронная сеть должна быть представлена как реализованная на идеальном нейрокомпьютере. В пределах данной

структуры пользователь сам может выбирать комплектующие – архитектуру сети, преобразователь и др. [2-3].

Е.М. Миркесом в [4] описана функциональная структура идеального нейрокомпьютера для реализации большинства нейронных сетей. Предлагаемый проект стандарта нейрокомпьютера ориентирован в первую очередь на сети, обучаемые по методу обратного распространения ошибки. Однако этот подход можно применить и для других типов нейронных сетей – сетей ассоциативной памяти (сети Хопфилда) и сетей естественной классификации (сети Кохонена).

Основы общей методики решения математических задач в нейросетевом логическом базисе были изложены А.И. Галушкиным в [1]. Нейросетевые алгоритмы представляются здесь в виде единой структуры, включающей следующие этапы:

1. физическая или геометрическая постановка задачи;
2. математическая постановка задачи;
3. нейросетевая постановка задачи:
 - описание исходных данных и определение входного сигнала;
 - формирование функционала первичной оптимизации;
 - определение выходного и желаемого выходных сигналов;
 - определение вектора сигнала ошибки;
 - формирование функционала вторичной оптимизации и выбор метода экстремума функционала вторичной оптимизации;
 - аналитическое определение преобразования, осуществляемого нейронной сетью и градиента функционала вторичной оптимизации по настраиваемым параметрам;
 - выбор конкретной структуры нейронной сети;
 - формирование алгоритма настройки нейронной сети при решении поставленной задачи;
 - выбор начальных условий при настройке нейросети;
 - выбор входных данных для тестирования задачи;
 - разработка плана эксперимента.

В книге С. Хайкина [6] более чем на тысяче страниц подробно рассмотрены процессы обучения, перцептроны однослойные и многослойные, сети RBFN, ассоциативные машины, метод главных компонент, сети самоорганизации, рекуррентные сети и многие другие вопросы. Есть подробный предметный указатель, в котором отсутствуют слова методика и технология.

Учебное пособие [7] содержит описание видов нейронов и типов нейронных сетей, основных блоков нейроЭВМ, большое количество формул и схем. Будучи одним из лучших на сегодняшний день учебных пособий по предмету, оно не решает основной задачи большинства пользователей. Из этого пособия неподготовленному пользователю трудно составить себе методику работы с конкретным нейроимитатором и решения конкретной прикладной задачи.

Учебное пособие [8] отличается более подробным рассмотрением биологических нейронных сетей, особенностей их работы, содержит описание видов функций активации, нейронов и типов нейронных сетей.

Несколько отличается от многих книга по использованию пакета Statistica Neural Networks [9]. В этой книге приведены некоторые элементы методики работы

пользователя. К сожалению, книга не содержит хорошую описательную технологию работы и совсем отсутствует структура технологии, графическое описание технологии.

Таким образом, существует множество описаний и подходов использования нейронных сетей, однако работы зачастую имеют фрагментарный характер и разрознены. Все это приводит к тому, что требуется приложить значительные усилия для получения достаточного полного представления о технологии использования нейронных сетей и соединения воедино разных источников для решения прикладных задач.

3. ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Использование нейронных сетей для обработки данных без понимания устройства и свойств может привести к многочисленным ошибкам. Не меньшее число ошибок получается при нарушении технологии использования. При выполнении нейросетевых исследований начинающими пользователями встречаются следующие ошибки:

1. неправильный выбор способа кодирования символьных полей, в том числе кодирование не в естественном порядке, пропуск значений и другие;
2. использование исходных числовых полей с большим разбросом значений;
3. использование очень малого количества примеров данных;
4. использование нерациональных способов нормирования данных;
5. использование необученных или недоученных нейронных сетей;
6. тестирование по обучающей выборке;
7. заведомо избыточная сложность нейронной сети;
8. определение значимости входных сигналов необученной сети и многие другие.

Неправильное кодирование символьных полей и попытка использования числовых полей с большим разбросом значений приводит к тому, что поле не используется нейронной сетью в полной мере. Как правило, это снижает прогностические способности нейронных сетей. Начинающие пользователи делают такую ошибку всегда. Даже после специального предупреждения такая ошибка встречается очень часто.

Использование необученных сетей встречается достаточно часто. Как правило, это результат небрежности проведения работы. При обучении десятков сетей такая ошибка тоже встречается почти всегда. При массовом обучении нейронных сетей такая ошибка может встретиться и у опытного пользователя.

Тестирование по обучающей выборке часто встречается в самом начале работы. Как правило, после обучения такая ошибка исчезает, но может появляться при обучении и перекрестном тестировании по нескольким выборкам.

Избыточная сложность нейронной сети в первых учебных работах встречается всегда. При решении более сложных задач избыточность тоже не исключена. Обученный пользователь может сократить число таких ошибок, но не избавиться от них полностью.

Для сокращения числа ошибок следует пользоваться технологией нейросетевой обработки. Такая технология даже в простом текстовом виде существенно сокращает количество простых ошибок. Разумеется, технология – не панацея от всех бед. По мере роста количества исследований могут появляться новые инструменты и методы, выявляться новые типы ошибок. Технология должна постоянно обновляться и изменяться по мере развития программных и аппаратных средств. Нейросетевая технология обработки данных есть информационная технология, совокупность способов и методов обработки информации для получения информационного продукта или оказания информационных услуг.

Основное внимание уделяется работе с двойственными сигмоидными сетями, т.к. они используются чаще всего. Тем не менее, большая часть технологии может быть модифицирована для работы с нейронными сетями других видов.

Выделяют несколько основных типов абстрактных моделей:

1. словесно-описательные;
2. математические или формальные, из которых иногда выделяют статистические;
3. графические;
4. статистические (тоже математические).

Описательные или словесно-описательные модели – текст, описывающий поведение изучаемого объекта или явления. К таким текстам можно отнести стандарты, технические задания, должностные инструкции, пояснительные записки, словесные описания алгоритмов и др. Такие модели позволяют достаточно полно и подробно описать моделируемый объект. Однако в таких моделях затруднено описание взаимодействия и внутренних связей элементов объекта. Такими моделями иногда трудно пользоваться из-за их размеров. Подробное описание требует очень длинного текста.

Математическая модель есть приближённое описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики, уравнениями или другими знаковыми выражениями на специальных математических языках. Метод математического моделирования сводит исследование к решению математических задач, занимает ведущее место среди других методов исследования. Он позволяет проектировать новые технические и программные средства. Основной недостаток математических моделей есть недостаток наглядности.

Графические модели являются наиболее наглядными среди прочих, позволяют легко провести первичную оценку качества модели. Вид графических (сетевых) моделей часто используется в управлении и экономике. Сетевые модели фактически описывают технологии управления.

Из сказанного следует вывод – недостаточно использование моделей одного вида. Предлагается условная последовательность моделей:

1. первично нужна описательная – словесное описание технологии;
2. затем очень полезны графические модели для лучшего представления и понимания связей, последовательности и пр.; сегодня очень часто для описания технологий используют модели описания бизнес-процессов (IDEF);
3. наконец, формальные модели (тоже математические) с использованием формальных языков и грамматик – для построения нейротрансляторов.

4. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ IDEF

Для построения системы, решающей в целом задачу обработки данных с помощью нейронных сетей, необходимо определить ее границы, исходные данные и требуемый результат. На следующих ниже рисунках предлагается один из вариантов графического описания технологии нейросетевой обработки данных в нотации IDEF0. Графическое описание является дополнительным к словесному и формализованному, тем не менее, может быть хорошим началом для формирования у изучающих технологии нейросетевой обработки данных первоначального представления.

Для решения прикладных задач предлагается обобщенная модель обработки данных с помощью нейронных сетей, приведенная на рисунке 1. На рисунке 2 представлена часть декомпозиции исходной контекстной диаграммы.



Рисунок 1 – Контекстная диаграмма обобщенной модели обработки данных с помощью нейронных сетей

Все операции по нейросетевому исследованию прикладных задач можно условно разделить на три или четыре группы (рис. 2):

1. первично нужна описательная – словесное описание технологии;
2. предварительные (считывание файлов данных, предобработка, представление данных);
3. основные (создание сети, чтение сети, обучение, моделирование – использование сети для решения поставленной задачи);
4. вспомогательные операции (тестирование, упрощение структуры сети, определение значимости входных параметров, вербализация сети, сохранение проекта сети);
5. поиск смыслов в полученных результатах.

Может быть выполнена дальнейшая детализация. Например, подготовительные операции можно разделить на две группы: ручные операции и автоматизируемые операции. Как правило, ручные операции предшествуют автоматизируемым.

Основные ручные подготовительные операции:

- поставить задачу;
- оценить необходимый размер выборки;
- собрать данные;
- кодировать символьные поля;
- выбрать поле ответа;
- найти и заполнить пробелы в данных.

Основные автоматизируемые подготовительные операции:

- найти и заполнить пробелы в данных;

- определить простые статистические параметры: среднее, среднее квадратичное отклонение, парные корреляции, корреляционные отношения;
- нормировать данные;
- планировать тип и структуру нейронной сети, предварительно проверить возможность обучения нейронной сети для решения поставленной задачи;
- создать нейронные сети.



Рисунок 2 – Декомпозиция процесса «Нейросетевое исследование»

Автоматизируемые операции выполняются с помощью предобработчиков и нейроимитаторов. Как правило, сначала используется предобработчик, потом нейроимитатор. Для выполнения статистической обработки могут быть использованы различные статистические пакеты, после предобработки и до нейроимитаторов.

Название «вспомогательные» дано не по степени их важности, а по месту – порядку выполнения по сравнению с остальными. В ходе обработки данных обязательным является выполнение основных операций и не обязательным – любой из вспомогательных операций.

Предварительные операции реализуются обычно в специализированных программах-предобработчиках или других подходящих пакетах.

Таким образом, использование нотации IDEF0 для формализации нейросетевой технологии, позволяет наглядно представить и определить процессы обработки данных с помощью нейронных сетей.

Технологии нейросетевого решения задач в виде словесной, графической и формальной моделей были использованы в СибГТУ, КГУ, КГТУ, лицее 2. Повышается скорость восприятия и усвоения информации, уменьшаются временные потери на выполнение исследования. Формальное описание технологии разработано с использованием атрибутивных формальных грамматик, реализовано в виде нейротранслятора, облегчающего выполнение исследования. Новизна выполняемого

исследования в создании семейства формализованных моделей для предложенной ранее описательной технологии нейросетевого исследования [10].

ВЫВОДЫ

1. Нейроматематику и архитектуру нейронных сетей преподавать следует, но кратко.
2. Основное место в преподавании нужно отводить нейросетевым технологиям.
3. Разработаны словесные описания нейросетевых технологий и их IDEF-модели.
4. Эффективность применения формализованных нейросетевых технологий проверена на примере обучения аспирантов, студентов и школьников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры: учеб. пособие (Нейрокомпьютеры и их применение. Кн.3) / М.: ИПРЖР, 2000. – 528 с.
2. Горбань А.Н., Россиев Д.А. Обучение нейронных сетей. М.: СП «Paragraph», 1990. – 160 с.
3. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере /. Новосибирск: Наука, 1996. – 276 с.
4. Миркес Е.М. Нейрокомпьютер. Проект стандарта. Новосибирск: Наука, 1999. – 337 с.
5. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. / М.: Изд. МГТУ, 2004. – 400 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. М.: «Вильямс», 2006. – 1104 с.
7. Легалов А.И., Миркес Е.М., Сиротинина Н.Ю. Нейроинформатика: уч. пособие / – Красноярск, 2006. – 172 с.
8. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели: учебное пособие к курсу «Нейронные сети» для студентов 5 курса магистратуры физического ф-та Воронежского Государственного университета. Воронеж, 1999
9. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. М., 2000. – 182 с.
10. Жуков Л.А. Формальное описание технологии использования нейронных сетей с использованием атрибутивных транслирующих грамматик.// Ползуновский альманах, №3, 2007. – С.46-49

Жуков Леонид Александрович

Сибирский государственный технологический университет, г. Красноярск
660049 Красноярск, ул. Мира, д. 82
Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий
Тел.: 65-30-01
E-mail: zhukov_l@rambler.ru
<http://zhukov.fsay.net>

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
КАК ОБЪЕКТ СТЕГОАНАЛИЗА**

В статье предлагается математическая модель файлов цифрового изображения на основе формата JPEG со стеговложением. Модель позволяет проводить исследования в отношении разработки алгоритмов и методов контроля встраивания цифрового водяного знака в передаваемые мультимедийные данные.

Ключевые слова: цифровой водяной знак; видео поток; JPEG; MPEG-4; межкадровый интервал; пиксель изображения; коэффициент ДКП.

The article offers an approach to develop a mathematical model of digital representation files on the base of JPEG format with stegoenclosure. The model allows to conduct research to develop algorithms and methods of control of embedding digital watermark in the transmitted multimedia information.

Keywords: digital watermark; video stream; JPEG; MPEG-4; interframe interval; pixel of image; factor of DCT(discreet-cosine transformation).

Наиболее распространенным стандартом цифрового изображения мультимедийных данных в настоящее время являются файлы форматов JPEG и MPEG. Отличие формата MPEG от формата JPEG состоит лишь в том, что кроме неподвижных кадров (внутрикадровое кодирование) передается еще и информация о векторе движения (межкадровое кодирование). При этом внутрикадровое кодирование, осуществляемое в формате MPEG, используя процедуры обработки, несложно свести к формату JPEG. Встраивание цифрового водяного знака в файл формата MPEG возможно либо в начало и конец файла и в межкадровый интервал, либо непосредственно в кадр. В первом случае объем и стойкость такого вложения не велики и обнаружение вставки осуществляется достаточно легко, посредством использования формантных методов стегоанализа. Во втором случае объем и стойкость вложения в отношении процедуры обнаружения значительно возрастают. В этой связи требуется инструмент, который позволял бы проводить исследования стегоконтейнеров по формированию разделяющей поверхности или определения численных значений параметров, позволяющих отличать файлы с вложением и без вложения цифрового водяного знака. В качестве такого инструмента выступает модель цифрового изображения как объект стегоанализа. При этом, учитывая проведенный выше анализ, в качестве базовой единицы построения модели используется формат JPEG. Разработка модели осуществляется по следующим этапам.

Первый этап: определим математическую модель изображения формата JPEG. Пусть $I(x, y)$ – пиксель изображения с координатой x, y . Тогда изображение следует представить в виде массива пикселей размером $M \times N$, согласно формулам (1) и (1а):

$$I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q)}(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^7 \sum_{l=0}^7 W^{p,q}(k) W^{p,q}(l) C^{p,q}(k, l) \cos \left[\frac{(2x+1)k\pi}{16} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)l\pi}{16} \right], \quad (1)$$

где $W^{p,q}(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & k = 0 \\ 1, & k > 0 \end{cases}, W^{p,q}(l) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & l = 0 \\ 1, & l > 0 \end{cases}$

$$I_{Y,Cr,Cb}(x, y) = \sum_{p=0}^{M/8-1} \sum_{q=0}^{N/8-1} I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q)}(x, y), \quad (1a)$$

где $x = 0 \dots M, y = 0 \dots N$.

Анализ блочности [1,2] основан на ее определении как шумовой составляющей, присутствующей в пределах двух соседних блоков [3]. Графики, поясняющие порядок вычисления, представлены на рисунке 1.

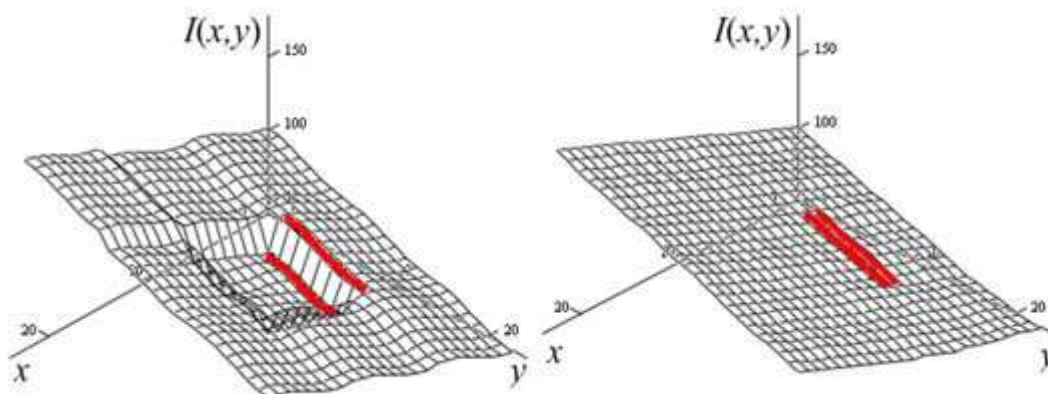


Рисунок 1 – Графики шумовой составляющей

Вычисление блочности исходного изображения производится согласно выражению:

$$B_{Y,Cr,Cb}(x, y) = \sum_{x=0}^{M/8-1} \sum_{y=0}^{N-1} |I(8x, y) - I(8x + 1, y)| + \sum_{y=0}^{N/8-1} \sum_{x=0}^{M-1} |I(x, 8y) - I(x, 8y + 1)|. \quad (2)$$

Физический смысл величины $B_{Y,Cr,Cb}$ заключается в следующем. При сжатии файла по алгоритму JPEG изображение разбивается на блоки размером 8×8 пикселей. Суммы абсолютных значений разностей граничных пикселей блоков и есть значения $B_{Y,Cr,Cb}$.

Второй этап: после встраивания в файл дополнительных данных значения части пикселей и блочности изменятся. Расчет этих параметров осуществляется согласно (3), (3a) и (4):

$$I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q)Stego}(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^7 \sum_{l=0}^7 W^{p,q}(k) W^{p,q}(l) C^{p,q}(k, l) \cos \left[\frac{(2x+1)k\pi}{16} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)l\pi}{16} \right], \quad (3)$$

$$I_{Y,Cr,Cb}^{Stego}(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{p=0}^{M/8-1} \sum_{q=0}^{N/8-1} I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q)Stego}(x, y), \quad (3a)$$

где $x = 0 \dots M, y = 0 \dots N$.

$$B_{Y,Cr,Cb}^{Stego} = \sum_{x=0}^{M/8-1} \sum_{y=0}^{N-1} |I_{Y,Cr,Cb}^{Stego}(8x, y) - I_{Y,Cr,Cb}^{Stego}(8x + 1, y)| + \sum_{y=0}^{N/8-1} \sum_{x=0}^{M-1} |I_{Y,Cr,Cb}^{Stego}(x, 8y) - I_{Y,Cr,Cb}^{Stego}(x, 8y + 1)| \quad (4)$$

Третий этап: оценка $\hat{I}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q)}$ и $\hat{B}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q)Correct}$ производится для каждого блока на основе учета корреляции между анализируемым и соседними блоками размером $8 * 8$ пикселей.

Для каждого блока вычисляется коэффициент корреляции с четырьмя соседними блоками (по его периметру). Граничные вектора пикселей \vec{V}_1 и \vec{V}_2 формируются согласно выражениям (5), (5а): После каждой итерации, в ходе которой один из высоко частотных коэффициентов дискретно-косинусного преобразования (ДКП) анализируемого блока увеличивается, реализуется процедура, обратная той, которая осуществляется при встраивании дополнительных данных программами F5 и OutGuess. Процедура увеличения коэффициентов основана на простом выборе максимального коэффициента ДКП из 4-х соседних блоков коэффициентов с соответствующими координатами, равными для анализируемого и соседних блоков. (6)

$$\vec{V}_1 = \vec{I}_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Correct}(x, y)_i = \begin{cases} I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Correct}(x, 0), \\ I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Correct}(x, 7), x \in 0 \dots 7, i = 0 \dots 15, \\ I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Correct}(0, y), \\ I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Correct}(7, y), y \in 0 \dots 7, i = 16 \dots 31, \end{cases} \quad (5)$$

$$\vec{V}_2 = \vec{I}_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Stego}(x, y)_j = \begin{cases} I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q-1)Stego}(x, 7), \\ I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q+1)Stego}(x, 0), x \in 0 \dots 7, j = 0 \dots 15, \\ I_{Y,Cb,Cr}^{(p-1,q)Stego}(7, y), \\ I_{Y,Cb,Cr}^{(p+1,q)Stego}(0, y), y \in 0 \dots 7, j = 16 \dots 31. \end{cases} \quad (5a)$$

Средние значения векторов \vec{V}_1 и \vec{V}_2 находим согласно:

$$M(\vec{V}_1) = \frac{1}{32} \sum_{i=0}^{31} I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Correct}(x, y)_i,$$

$$M(\vec{V}_2) = \frac{1}{32} \sum_{j=0}^{31} I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Stego}(x, y)_j,$$

а их дисперсию согласно:

$$\sigma^2(\vec{V}_1) = \frac{1}{31} \sum_{i=0}^{31} \left(I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Correct}(x, y)_i - M\left(I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Correct}(x, y) \right) \right)^2,$$

$$\sigma^2(\vec{V}_2) = \frac{1}{31} \sum_{i=0}^{31} \left(I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Stego}(x, y)_j - M\left(I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q)Stego}(x, y) \right) \right)^2.$$

После каждой итерации, в ходе которой один из высоко частотных коэффициентов дискретно-косинусного преобразования (ДКП) анализируемого блока увеличивается, реализуется процедура, обратная той, которая осуществляется при встраивании дополнительных данных программами F5 и OutGuess. Процедура увеличения коэффициентов основана на простом выборе максимального коэффициента ДКП из 4-х соседних блоков коэффициентов с соответствующими координатами (k, l) , равными для анализируемого и соседних блоков (6).

$$I_{Y,Cb,Cr}^{(p,q) Correct}(x, y) = \frac{1}{4} \sum_{k=0}^7 \sum_{l=0}^7 W(k)W(l) \max \begin{bmatrix} C_{AC>0}^{p, q-1}(k, l), \\ C_{AC>0}^{p, q+1}(k, l), \\ C_{AC>0}^{p-1, q}(k, l), \\ C_{AC>0}^{p+1, q}(k, l) \end{bmatrix} \cdot \cos \left[\frac{(2y+1)l\pi}{16} \right] \cdot \cos \left[\frac{(2x+1)k\pi}{16} \right]. \quad (6)$$

Перебор осуществляется по всему диапазону координат коэффициентов блока (максимум 64 позиции). Для каждой итерации вычисляется $R_{\vec{V}_1 \vec{V}_2}^{(p,q)}$ согласно (7):

$$R_{\vec{V}_1 \vec{V}_2}^{(p,q)} = \frac{\sum_{i=0}^{31} \sum_{j=0}^{31} \left(\left(\vec{V}_{1_i} - M(\vec{V}_1) \right) \left(\vec{V}_{2_j} - M(\vec{V}_2) \right) \right)}{\sigma^2(\vec{V}_1) \sigma^2(\vec{V}_2)} \quad (7)$$

и затем выбирается максимальный из всех полученных $R_{\vec{V}_1 \vec{V}_2}^{(p,q)}$. Комбинация АС коэффициентов ДКП анализируемого блока, соответствующая максимальному $R_{\vec{V}_1 \vec{V}_2}^{(p,q)}$, и есть наилучшая оценка $\hat{I}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q)}(x, y)$ для каждого блока. Также отдельно формируется массив коэффициентов корреляции $R_{\vec{V}_1 \vec{V}_2}^{(p,q)}$ анализируемого изображения.

Сформировав по всем таким наиболее коррелированным комбинациям коэффициентов ДКП с соседними блоками новое изображение, получим «корректированное» изображение $I_{Y,Cr,Cb}^{Correct}(x, y)$:

$$I_{Y,Cr,Cb}^{Correct}(x, y) = \sum_{p=0}^{M/8-1} \sum_{q=0}^{N/8-1} \hat{I}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}(x, y), \quad (8)$$

где $x = 0 \dots M, y = 0 \dots N$.

Оценка $\hat{I}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}(x, y)$ осуществляется поблочно согласно (9):

$$\hat{I}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}(x, y) = \max_{R_{\vec{V}_1 \vec{V}_2}^{(p,q)}} \left[I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}(x, y) \right]. \quad (9)$$

Значение блочности «корректированного» изображения (10):

$$B_{Y,Cr,Cb}^{Correct} = \sum_{q=0}^{M/8-1} \sum_{p=0}^{N/8-1} \hat{B}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}, \quad (10)$$

где оценка $\hat{B}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}$ рассчитывается попиксельно для блока согласно (11):

$$\hat{B}_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct} = \sum_{x=0}^7 \left(\left| I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}(x, 0) - I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q-1)}(x, 7) \right| + \left| I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}(x, 7) - I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q+1)}(x, 0) \right| \right) + \sum_{y=0}^7 \left(\left| I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}(7, y) - I_{Y,Cr,Cb}^{(p+1,q)}(0, y) \right| + \left| I_{Y,Cr,Cb}^{(p,q) Correct}(0, y) - I_{Y,Cr,Cb}^{(p-1,q)}(7, y) \right| \right). \quad (11)$$

Четвертый этап: погрешность «корректировки» определяется попиксельно согласно (12) и (13):

$$\Delta I_{Y,Cr,Cb}(x, y) = I_{Y,Cr,Cb}(x, y) - I_{Y,Cr,Cb}^{Correct}(x, y), \quad (12)$$

где $x = 0 \dots M, y = 0 \dots N$, и поблочно считается величина:

$$\Delta B_{Y,Cr,Cb} = B_{Y,Cr,Cb} - B_{Y,Cr,Cb}^{Correct}. \quad (13)$$

Полученные значения должны быть минимизированы.

Величина стегошума, внесенного дополнительной информацией, вычисляется согласно формуле(14):

$$\Delta I_{Y,Cr,Cb}^{Noise}(x, y) = I_{Y,Cr,Cb}^{Correct}(x, y) - I_{Y,Cr,Cb}^{Stego}(x, y), \quad (14)$$

Величина относительной разности блочностей корреktированного и стегоизображения вычисляется согласно формуле(15):

$$\Delta B_{Y,Cr,Cb}^{Noise} = B_{Y,Cr,Cb}^{Correct} - B_{Y,Cr,Cb}^{Stego}. \quad (15)$$

Предлагаемый подход имитирует “восстановление” качества изображения формата JPEG после встраивания дополнительной информации в частотную область (то есть в коэффициенты ДКП) и позволяет определить шум, внесенный в пространственную область изображения формата JPEG. Даже незначительные модификации коэффициентов ДКП влияют на величину блочности, но остаются визуально незаметными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В. А., Гатиллов О. В., Иванов И. В. Алгоритм анализа блочной структуры модифицированного стеганографическим вложением изображения формата JPEG и определение числа изменений. //Телекоммуникации № 4, 2005, стр. 27–33.
2. Баранов В.А., Гатиллов О.В.. Статистическая модель и мультифрактальный анализ изображений. Международная научно-техническая конференция SICPRO-04, Москва: ИПУ РАН, 2004.
3. Yang J., Choi H., and Kim T., Noise Estimation for Blocking Artifacts Reduction in DCT Coded Images, IEEE Trans. Circuits Syst., vol.10, no.7, 2000, pp. 1116–1120.

Иванов Иван Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Соискатель кафедры электроники, вычислительной техники и информационной безопасности

E-mail: mr.ivan@rambler.ru

УДК 629.783

К.А. КАТКОВ

**МЕТОДИКА ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ
НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ,
СНИЖАЮЩАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
В СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ИСКУССТВЕННЫХ
ВОЗМУЩЕНИЙ ИОНОСФЕРЫ**

В статье рассматривается вопрос модернизации существующей навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем, позволяющей на этапе вторичной обработки навигационных параметров снизить погрешность позиционирования при возникновении искусственных возмущений ионосферы на трассе распространения навигационных радиосигналов. Предлагаются процедуры выбора рабочего созвездия и уточнения величины псевдодальности.

Ключевые слова: спутниковые радионавигационные системы; искусственные возмущения ионосферы.

In article the question of modernisation of existing navigating equipment of consumers of the satellite radio navigating systems is considered, secondary processing of navigating parameters allowing at a stage to lower a positioning error at occurrence of artificial indignations of an ionosphere on a line of distribution of navigating radio signals. Procedures of a choice of working constellation and specification of size of pseudo-range are offered.

Keywords: satellite radio navigating systems; artificial indignations of an ionosphere.

ВВЕДЕНИЕ

Погрешности позиционирования в спутниковых радионавигационных системах (СРНС) зависят от погрешностей определения псевдодальностей до каждого из навигационных космических аппаратов (НКА) и геометрии взаимного расположения (ГВР) потребителя и НКА, которая определяется величиной геометрического фактора GDOP созвездия НКА. В связи с этим навигационная аппаратура потребителей (НАП) выбирает из общего числа наблюдаемых в данный момент НКА такое рабочее созвездие, которое обеспечивало бы выполнение условия минимума GDOP [1, 2, 3]. При этом, как правило, хотя бы один НКА из выбранного созвездия будет иметь низкий угол места.

Известно [4], что при возникновении искусственных возмущений ионосферы (ИВИ) навигационные сигналы, проходящие через область повышенной ионизации (ОПИ), будут подвергаться частотно-селективным замираниям (ЧСЗ). При этом, чем ниже будет угол места НКА, тем выше будет степень ЧСЗ такого навигационного радиосигнала (НРС), следовательно, выше будет погрешность определения псевдодальности [5]. Таким образом, может возникнуть ситуация, когда выбор оптимального с точки зрения ГВР потребителя и НКА созвездия приведет к большим погрешностям позиционирования.

Целью статьи является разработка методики вторичной обработки навигационных параметров, снижающей погрешность позиционирования в условиях, когда искусственные возмущения ионосферы приводят к неравноточности измерений и вызывают погрешности измерения псевдодальности, превышающие допустимое значение.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть НАП выбирает рабочее созвездие из 4-х НКА, близкое к оптимальному (рис.1). Один из НРС попадает в область повышенной ионизации и подвергается ЧСЗ. Погрешность определения псевдодальности до этого НКА равна $\sigma_{Di}^{(ч)}$. Остальные НРС проходят через нормальную ионосферу, и погрешность определения псевдодальности до них равна σ_{Dj} . При этом $\sigma_{Di}^{(ч)} / \sigma_{Dj} > 10, (i \neq j = 1 \dots 4)$.

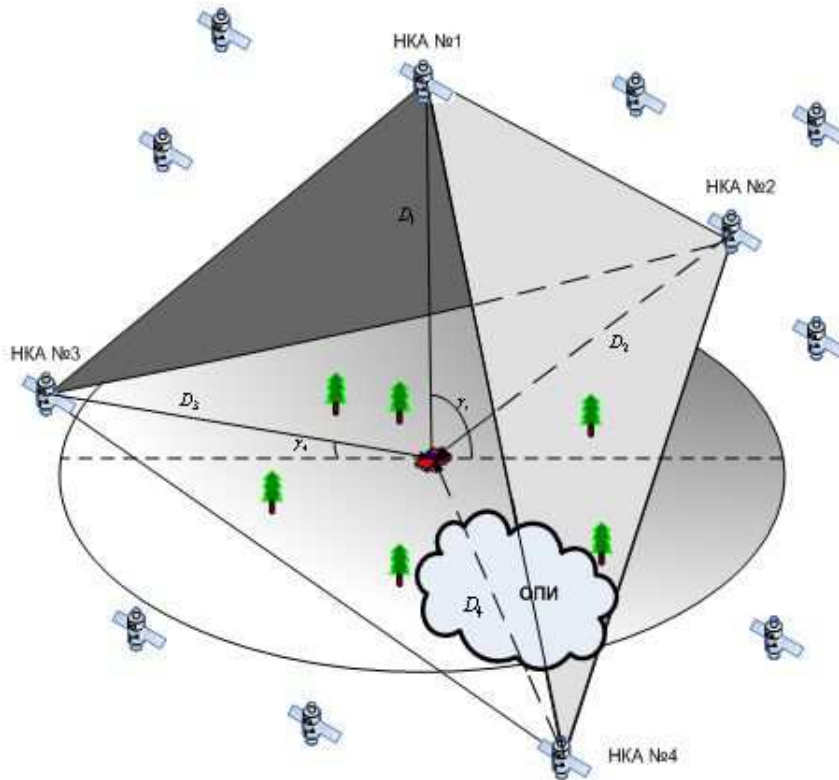


Рисунок 1 – Рабочее созвездие НКА и попадание одного НРС в ОПИ

Требуется определить координаты потребителя $q = [X, Y, Z, \tau]$ с минимальной погрешностью позиционирования σ_q .

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Известно [5, 6], что погрешность позиционирования в общем случае неравноточных измерений псевдодальностей определяется выражением:

$$\sigma_q = \sqrt{\sigma_{D1}^2 (n_{11}^2 + n_{21}^2 + n_{31}^2 + n_{41}^2) + \sigma_{D2}^2 (n_{12}^2 + n_{22}^2 + n_{32}^2 + n_{42}^2) + \sigma_{D3}^2 (n_{13}^2 + n_{23}^2 + n_{33}^2 + n_{43}^2) + \sigma_{D4}^2 (n_{14}^2 + n_{24}^2 + n_{34}^2 + n_{44}^2)} \quad (1)$$

где σ_q – среднее квадратичное отклонение (СКО) позиционирования;

$\sigma_{Di}, (i = 1 \dots 4)$ – СКО измерения псевдодальности до i -го НКА;

n_{ij} – элементы матрицы N , обратной матрице наблюдений H .

Матрица наблюдений H в топоцентрической системе координат имеет вид:

$$H = \begin{bmatrix} h_{X1} & h_{Y1} & h_{Z1} & 1 \\ h_{X2} & h_{Y2} & h_{Z2} & 1 \\ h_{X3} & h_{Y3} & h_{Z3} & 1 \\ h_{X4} & h_{Y4} & h_{Z4} & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

где элементы $h_{Xi} = -\cos \alpha_i \cdot \cos \gamma_i$; $h_{Yi} = -\sin \gamma_i$; $h_{Zi} = -\sin \alpha_i \cdot \cos \gamma_i$ – направляющие косинусы линии визирования НКА;

$\alpha_i, \gamma_i (i = 1 \dots 4)$ – углы азимута и места соответственно.

Если в ОПИ попадает сигнал только одного НКА №4 (рис.1), то погрешность измерения псевдодальности $\sigma_{D4} \gg \sigma_{Dj}, (j = 1 \dots 3)$. При этом СКО измерения зависит от величины полосы когерентности ΔF_k трансферного канала и определяется выражением [4, 5, 6]:

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

где f_0 – несущая частота радиосигнала;

c – скорость распространения радиоволн в вакууме;

\bar{E}_r / N_0 – отношение средней энергии НРС к спектральной плотности мощности шума;

ΔF_0 – ширина спектра НРС.

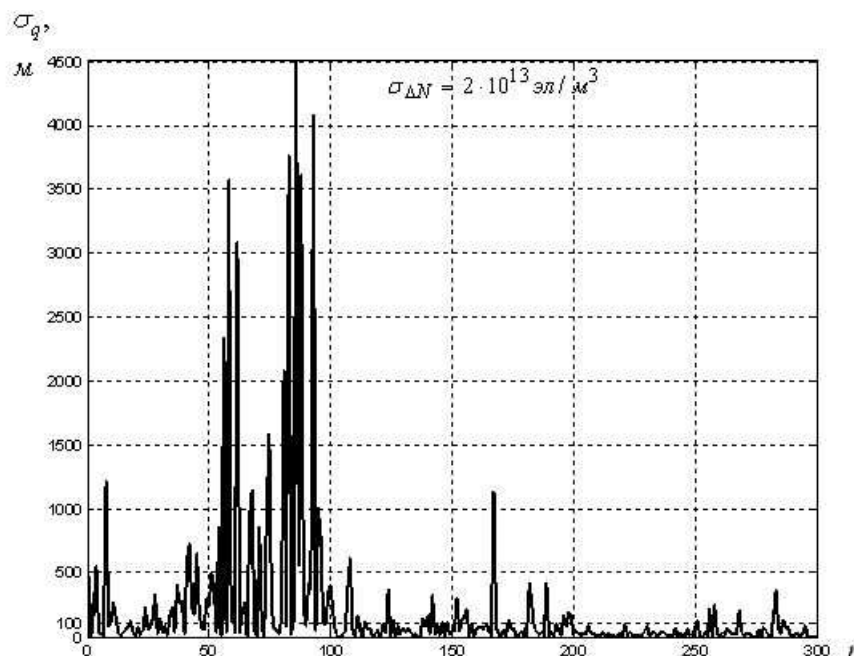


Рисунок 2 – СКО позиционирования при попадании в ОПИ одного НРС

Величина ΔF_k определяется выражением:

$$\Delta F_k = \frac{c \cdot f_0^2}{80.8 \cdot \pi \cdot \sigma_{\Delta N} \sqrt{L_0 \cdot h_{\text{Э}} \cdot \cos \text{ec} \gamma \cdot \left(1 + \frac{c^2 \cdot \cos \text{ec}^2 \gamma \cdot (h_{\text{Э}}^2 + 3h \cdot \Delta h)}{384 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L_0^2 \cdot L_m^2}\right)}}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\Delta N}$ – СКО флуктуаций электронной концентрации (ЭК) в неоднородностях ионосферы;

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);

$h_{Э}$ – эквивалентная толщина ионосферы ($5 \cdot 10^5$ м);
 $\Delta h = h - h_{Э}$.

Было проведено моделирование случая попадания в ОПИ сигнала одного НКА, и в этих условиях рассчитана величина σ_q (рис.2), получаемая при решении навигационной задачи известным методом на основе одномоментных измерений псевдодалейностей [1, 2].

Величина СКО флуктуации ЭК принята равной $\sigma_{\Delta N} = 2 \cdot 10^{13}$ эл/м³. Величина погрешности позиционирования рассчитывалась при n сеансах местоопределения. Как видно из рисунка 2 погрешность позиционирования при попадании в ОПИ только одного НРС может достигать тысяч метров, что многократно превышает допустимое значение. Высокие «пики» на рисунка 2 соответствуют случаю, когда в ОПИ попадает НКА с низким углом места $\gamma \approx 5^0 \dots 7^0$.

Анализ выражения (1) показывает, что целевую функцию погрешности позиционирования можно минимизировать двумя путями: первый – свести к минимуму СКО определения псевдодалейности σ_{D4} путем уточнения значения псевдодалейности; второй – исключить из рабочего созвездия НКА № 4 и подобрать НКА с такими углами места и азимута, при которых при той же величине $\sigma_{\Delta N}$ функция σ_q достигала бы минимума:

$$\sigma_q = F \{ \Psi(\sigma_{\Delta N}, \gamma) \Theta(\alpha, \gamma) \} \rightarrow \min. \quad (5)$$

ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЯ ПСЕВДОДАЛЬНОСТИ

Для оценки значения псевдодалейности используем метод оптимальной линейной фильтрации (фильтр Калмана) [7]. Для этого предлагается провести m измерений псевдодалейности в условиях действия ИВИ $\hat{D}_1, \hat{D}_2, \dots, \hat{D}_m$ за период времени T с интервалом Δt . Затем по данным измерений определить оценку $\tilde{D}_m^{умч}$ для величины D_k в момент времени t_m , минимизирующую значение критерия качества $\varepsilon_k = \left\| \tilde{D}_k^{умч} - |D_k| \right\|$. Современная НАП позволяет проводить измерения с шагом $\Delta t = 20$ мсек. То есть, за интервал можно провести 50 измерений псевдодалейности до НКА, сигнал которого попадает в ОПИ [ОРЕЛ]. Модель измерений имеет вид:

$$\hat{D}_k = D_k + N, \quad (6)$$

где N – шумовая погрешность, обусловленная действием ИВИ, распределенная по нормальному закону с математическим ожиданием $M(N) = 0$ и дисперсией, равной $\sigma_D^{(ч2)}$. Модель движения системы в случае малоподвижного потребителя за интервал времени $T = 1$ сек определяется выражением:

$$D_{k+1} = D_k + \dot{D}_k \cdot \Delta t, \quad (7)$$

где \dot{D}_k – радиальная скорость НКА, определяемая Доплеровскими измерениями в k -й момент времени, с дисперсией σ_V^2 . Следует заметить, что ЧСЗ слабо влияют на измерения \dot{D}_k .

Если потребитель обладает слабой динамикой (автомобиль, морское судно), то в течение промежутка времени $T = 1$ сек можно принять фундаментальную матрицу равной $\Phi = 1$. При принятой модели движения системы матрица измерений $H = 1$.

Начальные условия для фильтра Калмана принимаются следующими:

$$\begin{aligned} D_0^- &= \hat{D}_1; \\ P_0^- &= \sigma_D^{(ч)} \end{aligned} \quad (8)$$

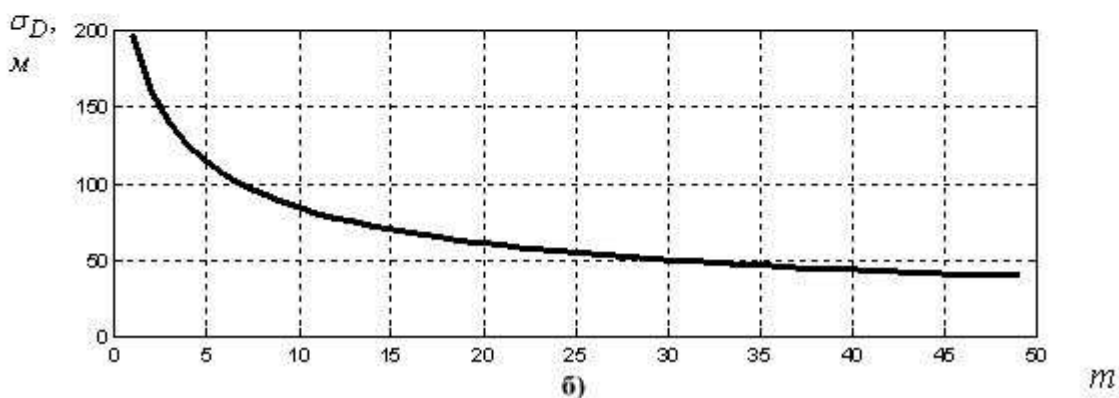
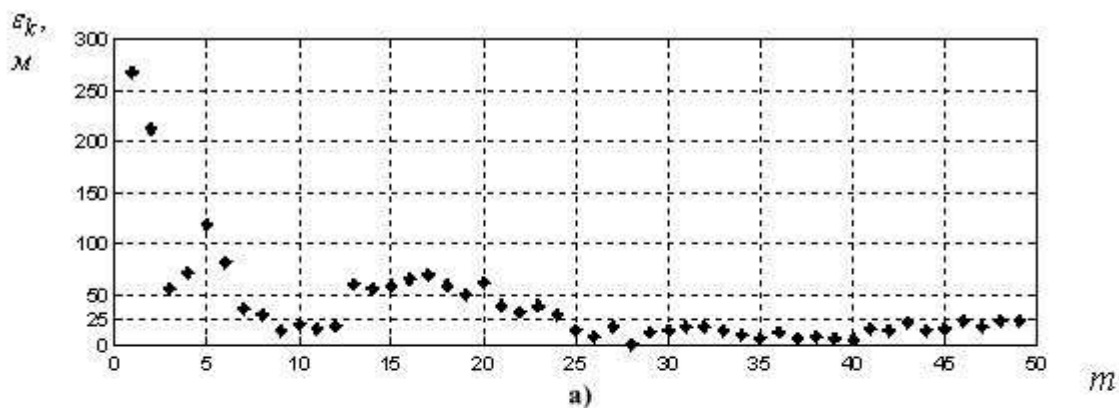


Рисунок 3 – Приближение оценки псевдодальности к истинному значению: а) – изменения критерия ; б) – изменение СКО исправленной оценки псевдодальности

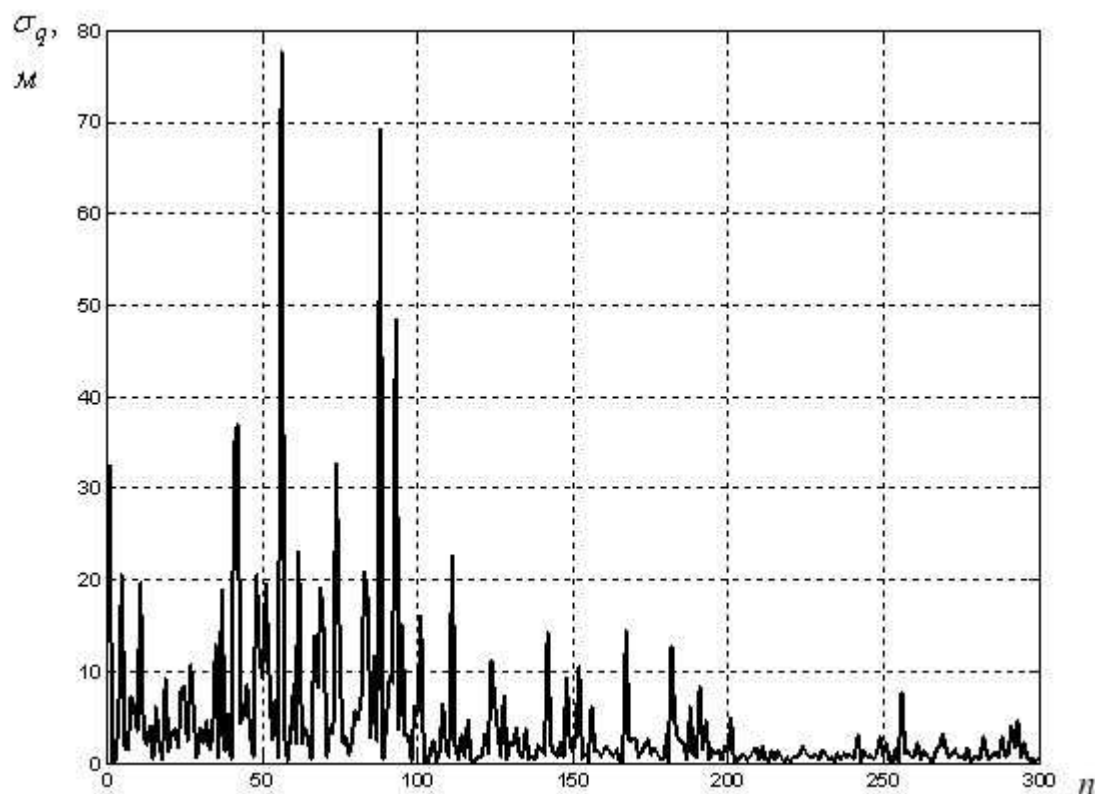


Рисунок 4 – СКО позиционирования после уточнения псевдодальности до НКА, сигнал которого попадает в ОПИ

Величина $\sigma_D^{(u)}$ определяется согласно (5). Выражения, реализующие фильтр Калмана, для уточнения величины псевдодальности имеют следующий вид.

Поправки к измерениям:
$$K_k = \frac{P_k^-}{P_k^- + \sigma_D^{(u)2}}. \quad (9)$$

Апостериорная оценка псевдодальности:

$$D_k^+ = D_k^- + K_k \cdot (\hat{D}_k - D_k^-). \quad (10)$$

Дисперсия исправленной оценки псевдодальности:

$$P_k^+ = (1 - K_k) \cdot P_k^-. \quad (11)$$

Прогноз начальных условий для нового цикла. Априорная дисперсия оценки псевдодальности для следующего момента времени:

$$P_{k+1}^- = P_k^+ + \sigma_V^2. \quad (12)$$

Априорная оценка дальности для следующего момента времени:

$$D_{k+1}^- = D_k^+ + \dot{D} \cdot \Delta t. \quad (13)$$

Уточненная оценка псевдодальности:

$$\tilde{D}_m^{utm} = D_m^+. \quad (14)$$

Здесь знак «-» означает априорные оценки; знак «+» – апостериорные оценки;

$k = 1 \dots m$ – цикл фильтра (m – количество измерений).

Таким образом, имея ряд измерений псевдодальностей и известную погрешность измерений, получают оценку для величины псевдодальности в момент времени t_m . На рисунке 3 представлен процесс приближения оценки псевдодальности к истинному значению при m измерениях и величине $\sigma_{\Delta N} = 2 \cdot 10^{13} \text{эл}/\text{м}^3$.

Предложенная методика оценки псевдодальности приводит к снижению σ_D , следовательно, можно ожидать, что погрешность позиционирования σ_q также снизится. При этом процесс определения вектора состояния также будет состоять из двух этапов. Теперь на этапе первичной обработки НАП необходимо производить измерения до НКА в течение интервала времени T с дискретностью Δt . Этап вторичной обработки, в свою очередь, разбивается на 4 этапа:

1. Решение навигационной задачи на основе последних измерений псевдодальностей \hat{D}^{izm} , измеренных с большой погрешностью. Результат – вектор $q^{(u)}$.
2. Определение СКО измерения псевдодальности до НКА, сигнал которого попадает в ОПИ и подвергается ЧСЗ [5]. Результат – значение $\sigma_D^{(u)}$.
3. Оценка значения псевдодальности фильтром Калмана. Результат – уточненная величина \tilde{D}_m^{utm} .
4. Повторное решение навигационной задачи с использованием уточненных значений псевдодальности и начальным приближением $q^{(u)}$.

В результате получают искомый вектор координат потребителя с погрешностью позиционирования (рис.4).

Сравнив рисунки 2 и 4, можно увидеть, что применение описанной выше методики приводит к снижению погрешности позиционирования с тысяч до десятков метров, что соответствует допустимым погрешностям в СРНС.

ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВНОГО РАБОЧЕГО СОЗВЕЗДИЯ НКА

В выражение (1) кроме СКО определения псевдодальности входят элементы матрицы N , которые зависят от ГВР потребителя и НКА. В рамках данной работы

рассматривается случай, когда в ОПИ попадает только один НРС (НКА №4 на рис. 1). Выбор альтернативного созвездия заключается в решении задачи (5).

Перепишем выражение (1) с учетом (2) – (4) в виде:

$$\sigma_q(\alpha_4, \gamma_4) = \frac{1}{|H|} \sqrt{\begin{aligned} & \sigma_{D1}^2 \left[\begin{aligned} & (h_{Z4}a_2 - h_{Y4}a_3 - e_3)^2 + (h_{Z4}a_1 - h_{X4}a_3 - e_2)^2 + \\ & + (-h_{Y4}a_1 - h_{X4}a_2 - e_1)^2 + (h_{Z4}e_1 - h_{Y4}e_2 + h_{X4}e_3)^2 \end{aligned} \right] + \\ & + \sigma_{D2}^2 \left[\begin{aligned} & (h_{Z4}b_2 + h_{Y4}b_3 - e_5)^2 + (h_{Z4}b_1 - h_{X4}b_3 - e_6)^2 + \\ & + (-h_{Y4}b_1 - h_{X4}b_2 - e_4)^2 + (h_{Z4}e_4 + h_{X4}e_5 + h_{Y4}e_6)^2 \end{aligned} \right] + \\ & + \sigma_{D3}^2 \left[\begin{aligned} & (h_{Z4}c_2 - h_{Y4}c_3 + e_9)^2 + (h_{Z4}c_1 - h_{X4}c_3 - e_8)^2 + \\ & + (-h_{Y4}c_1 - h_{X4}c_2 - e_7)^2 + (h_{Z4}e_7 + h_{Y4}e_8 - h_{X4}e_9)^2 \end{aligned} \right] + \\ & + K \cdot S^2 \left[\left(1 - \frac{P \cdot \sigma_{\Delta N}^2 (h_{Z4}^2 + W)}{h_{Z4}^3} \right)^2 + 10^3 \left(1 - \frac{P \cdot \sigma_{\Delta N}^2 (h_{Z4}^2 + W)}{h_{Z4}^3} \right)^{3/2} \right] \end{aligned}}, \quad (15)$$

где, согласно (2), $|H| = \phi(\alpha_4, \gamma_4)$; $h_{X4} = \varphi(\alpha_4, \gamma_4)$; $h_{Y4} = \psi(\gamma_4)$; $h_{Z4} = \nu(\alpha_4, \gamma_4)$. Остальные величины, входящие в (15), не зависят от α_4 и γ_4 , и определяются выражениями:

$$K = (b_3h_{Y2} - a_3h_{Y1} + c_3h_{Y3})^2 + (b_3h_{X2} - a_3h_{X1} + c_3h_{X3})^2 + (-a_2h_{X1} - b_2h_{X2} - c_2h_{X3})^2 + (e_9h_{X3} - e_3h_{X1} - e_5h_{X2})^2, \quad (16)$$

$$\left\{ \begin{aligned} S &= \frac{c}{\sqrt{2\pi \cdot \Delta F_0 \cdot E_r / N}} \\ P &= \frac{4 \cdot \Delta F_0^2 \cdot 80.8^2 \cdot \pi \cdot L_0 \cdot h_{\Xi}}{c^2 \cdot f_0^4} \\ W &= \frac{c^2 \cdot (h_{\Xi}^2 + 3h \cdot \Delta h)}{384 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L_0^2 \cdot L_m^2} \end{aligned} \right. ; \left\{ \begin{aligned} a_1 &= h_{X2} - h_{X3} \\ a_2 &= h_{Y3} - h_{Y2} \\ a_3 &= h_{Z3} - h_{Z2} \\ b_1 &= h_{X3} - h_{X1} \\ b_2 &= h_{Y1} - h_{Y3} \\ b_3 &= h_{Z3} - h_{Z1} \\ c_1 &= h_{X1} - h_{X2} \\ c_2 &= h_{Y2} - h_{Y1} \\ c_3 &= h_{Z1} - h_{Z2} \end{aligned} \right. ; \left\{ \begin{aligned} e_1 &= h_{X3}h_{Y2} - h_{X2}h_{Y3} \\ e_2 &= h_{X2}h_{Z3} - h_{X3}h_{Z2} \\ e_3 &= h_{Y3}h_{Z2} - h_{Y2}h_{Z3} \\ e_4 &= h_{X1}h_{Y3} - h_{X3}h_{Y1} \\ e_5 &= h_{Y1}h_{Z3} - h_{Y3}h_{Z1} \\ e_6 &= h_{X3}h_{Z1} - h_{X1}h_{Z3} \\ e_7 &= h_{X2}h_{Y1} - h_{X1}h_{Y2} \\ e_8 &= h_{X1}h_{Z2} - h_{X2}h_{Z1} \\ e_9 &= h_{Y1}h_{Z2} - h_{Y2}h_{Z1} \end{aligned} \right. . \quad (17)$$

Таким образом, задача выбора альтернативного рабочего созвездия сводится к задаче оптимизации, то есть, необходимо минимизировать функцию (15) по переменным α_4 и γ_4 , считая остальные углы α_j, γ_j ($0 = 1$ – двцщсз) и величину $\sigma_{\Delta N}$ постоянными.

Для поиска α^{opt} и γ^{opt} используется симплекс-метод Нелдера-Мида [8]. Поиск ведется по деформируемому симплексу. В качестве начального приближения используются углы $\alpha_0 = \alpha_4$ и $\gamma_0 = \gamma_4$. Ребро симплекса $a = 1$. Параметр точности – ε . Базовая вершина симплекса имеет координаты $A(\alpha_0, \gamma_0)$.

В качестве условия остановки поиска принимается выражение:

$$\frac{(\sigma_q(B) - \sigma_q(A))^2 + (\sigma_q(C) - \sigma_q(A))^2}{2} \leq \varepsilon^2. \quad (18)$$

Проиллюстрируем процедуру поиска α^{opt} и γ^{opt} на примере реального созвездия, где НКА имеют углы $\alpha = [55^0; 327^0; 38.5^0; 31^0], \gamma = [82^0; 32^0; 23^0; 10^0]$. На рисунке 5 представлен график функции $\sigma_q(\alpha_4, \gamma_4)$ при фиксированном значении $\sigma_{\Delta N} = 2 \cdot 10^{13} \text{эл/м}^3$. Как видно из рисунка 5, при попадании в область ОПИ радиосигнала от НКА №4, имеющего углы $\alpha_4 = 31^0; \gamma_4 = 10^0$, СКО позиционирования

составит $\sigma_q = 240.5\text{м}$. Функция (15) достигает минимума $\sigma_q^{\min} = 17.5\text{м}$ при $\alpha^{opt} = 8.7^0$; $\gamma^{opt} = 52.9^0$.

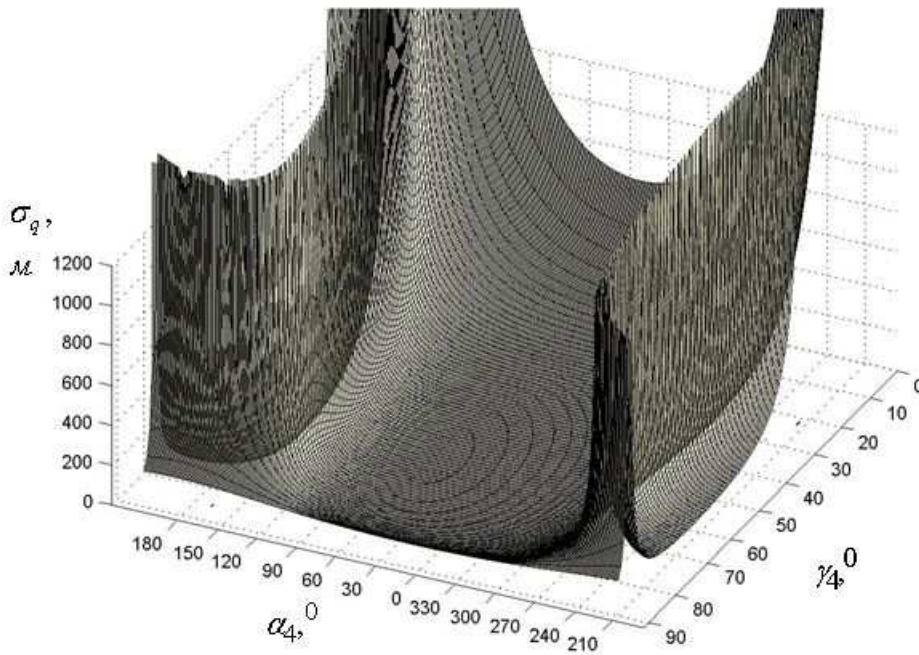


Рисунок 5 – Поверхность и карта линий уровня функции $\sigma_q(\alpha_4, \gamma_4)$ при $\sigma_{\Delta N} = 2 \cdot 10^{13} \text{эл/м}^3$

График функции на рисунке 5 имеет пологое «дно». Это позволяет в окрестности точки с координатами $(\alpha^{opt}, \gamma^{opt})$ выбрать НКА, использование которого в рабочем созвездии приведет к снижению погрешности позиционирования в случае возникновения ИВИ в одной радиолинии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Существующая двухэтапная процедура определения вектора состояния потребителя на основе одномоментных измерений при попадании в ОПИ хотя бы одного НРС приведет к большим погрешностям позиционирования. Известные методы оценки погрешности позиционирования, предполагающие равноточность измерений, в случае возникновения ИВИ приводят к ошибочным результатам.
2. Минимизацию погрешности позиционирования в случае попадания в ОПИ радиосигнала k-го НКА необходимо вести по двум направлениям: первое – снижение погрешности измерений; второе – выбор оптимального по условию $\sigma_q(\alpha_k, \gamma_k) = \min$ рабочего созвездия.
3. Использование фильтра Калмана для оценки измеренных с большими погрешностями псевдодальностей позволит в десятки раз снизить погрешность позиционирования. При этом процедура вторичной обработки навигационных параметров усложняется и состоит из 4-х этапов: решения навигационной задачи без учета шумовой ионосферной погрешности измерений; определения СКО;

определения псевдодалности; уточнения измеренных значений псевдодалности и повторного решения навигационной задачи с учетом этих значений.

4. Традиционный выбор рабочего созвездия НКА по условию $GDP = \min$ в случае, когда в область повышенной ионизации попадает НРС пригоризонтного НКА, приводит к возрастанию погрешности позиционирования до тысяч метров. В этих условиях предлагается выбрать альтернативное рабочее созвездие, для чего предлагается минимизировать по переменным: углам азимута и места – функцию погрешности позиционирования. При этом, если количество исключаемых из первоначального созвездия аппаратов равно n , то число переменных, по которым ведется минимизация функции равно $2n$. Начальным приближением в задаче минимизации являются углы места и азимут исключаемых из созвездия НКА. Предложенная методика потребует увеличения орбитальной группировки НКА.

5. Предложенная методика определения координат потребителя реализуется только на этапе вторичной обработки в НАП и может использоваться как параллельно с известными способами, так и отдельно от них. Её реализация приведет к снижению погрешности позиционирования, которое потребует модернизация только НАП без изменения остальных компонентов СРНС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харисов В.Н., Перова А.И., Болдина В.А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС, М.: ИПРЖР, 1998. – 400 с.
2. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
3. R.B.Langley. Dilution of precision.// GPS World, Advanstar Communications, Eugene, OR 97401, 2000, USA – p.p. 11-19.
4. Пашинцев В.П., Солчатов М.Э., Гахов Р.П. Влияние ионосферы на характеристики космических систем передачи информации: Монография. – М.: Физматлит, 2006. – 184 с.
5. Катков К.А. Определение погрешности позиционирования в одночастотной навигационной аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем при возникновении частотно-селективных замираний навигационных радиосигналов // Информационные системы и технологии, 2009. – № 3/53(564) – с. 80 – 88.
6. Катков К.А., Колезнев И.А., Маслюков В.В. Анализ погрешности позиционирования в спутниковых радионавигационных системах при многократном повышении погрешности измерения псевдодалности до одного из навигационных аппаратов // Системи управління, навігації та зв'язку, 2009. – Випуск 1(9) – с. 11 – 14.
7. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации – М.: Радио и связь, 1985. – 343 с.
8. Поршнева С. В. Вычислительная математика. Курс лекций – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 320 с.

Катков Константин Александрович

Ставропольский военный институт связи Ракетных войск, г. Ставрополь

Старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории

Тел.: 8-918-861-98-02

E-mail: kkatkoff@mail.ru

УДК 620.179.1.082.7:658.58

В.В. МАРКОВ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И ПАРАМЕТРОВ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ

Состояние трибосопряжения может быть определено с помощью диагностических параметров электрической, кинематической или тепловой природы. В этой статье рассмотрены математические методы исследования и модели некоторых диагностических признаков и параметров трибосопряжений, служащих источниками первичной информации об их техническом состоянии.

Ключевые слова: математический метод; трибосопряжение; фрикционный контакт; температура; электрическое сопротивление; электрическая мощность; вибрация; виброскорость; математическая модель; комплексный диагностический параметр.

The condition of tribojunction may be define with diagnostically parameters the electrical, cinematically and thermal nature. In this article is show the mathematical methods and models of some diagnostically signs and parameters of tribojunctions, which is may be the sources of primary information on they technical condition.

Keywords: mathematical method; tribojunction; friction contact; temperature; electrical resistance; electrical power; vibration; vibro-speed; mathematical model; complex diagnostically parameter.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Области фрикционных контактов являются наиболее нагруженными зонами механизмов, агрегатов и машин, поэтому непрерывная оценка и прогнозирование их технического состояния является одним из мероприятий, гарантирующих безопасность технологического оборудования и транспорта. Для получения информации о состоянии фрикционных контактов могут использоваться диагностические параметры электрической, кинематической, тепловой или другой природы, которые широко известны и обладают рядом достоинств, в частности, пригодностью для проведения неразрушающего контроля трибосопряжений.

Тем не менее, на пути широкого использования методов неразрушающего контроля технического состояния трибосопряжений существуют препятствия. Многими научными школами и отдельными изобретателями предложено огромное количество диагностических признаков и параметров, имеющих различную природу и разнообразный физический смысл, однако ни один из них не несет в себе исчерпывающей информации о состоянии фрикционного контакта. Будущее за использованием комплексных диагностических параметров, соединяющих в себе, например, единичные параметры электрической, кинематической и тепловой природы. Но самые распространённые из таких единичных параметров – электрическое сопротивление, параметры вибрации, температура – во-первых, имеют неодинаковый физический смысл, а во-вторых, для их математического моделирования используются разные методы. Например, электрическое сопротивление моделируется законами распределения вероятностей, а вибрация – дифференциальными уравнениями. Кроме того, не все диагностические параметры позволяют прогнозировать состояние фрикционного контакта.

Указанные обстоятельства делают проблему создания комплексного диагностического параметра актуальной. Целью теоретических исследований, результаты которых изложены в настоящей работе, стал поиск оптимальных для комплексирования диагностических признаков и параметров трибосопряжений. Для достижения поставленной цели необходимо решить целый ряд задач: проанализировать математические методы исследований диагностических признаков и параметров; составить базу математических моделей параметров, пригодных для комплексирования; синтезировать систему уравнений, которую можно было бы использовать как единое математическое описание комплексного параметра.

В настоящей работе проанализированы методы математического описания следующих единичных диагностических параметров трибосопряжений:

- электрической природы – сопротивление и мощность;
- кинематической природы – виброперемещение, виброскорость и виброускорение;
- тепловой природы – температура и скорость изменения температуры.

Рассмотрим известные подходы к математическому описанию каждого из перечисленных диагностических параметров, пригодных для создания комплексного диагностического параметра, характеризующего техническое состояние трибосопряжений.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТА

Известно, что электрическое сопротивление – это физическая величина, характеризующая способность объекта противодействовать протеканию в нём электрического тока. Значение сопротивления объекта определяется его геометрическими размерами и внутренними свойствами (удельным сопротивлением). Следовательно, *электрическое сопротивление, как диагностический признак, характеризует внутренние свойства фрикционного контакта и всего трибосопряжения в момент проведения измерений.*

Анализ возможных подходов к моделированию [1-3] показал, что математическая модель процессов, определяющих флуктуации сопротивления, может быть получена при совместном использовании теории контакта реальных поверхностей и теории электропроводности контакта двух шероховатых тел [4-8]. Сложность трибологических процессов не позволяет построить их строгое математическое описание без введения ряда допущений. При разработке модели в данной работе приняты следующие допущения:

- для описания топографии поверхностей используются функции распределения материала по высоте шероховатого слоя и по высоте единичного выступа;
- в качестве модели единичной неровности применяется сферический сегмент;
- контакт неровностей считается упругим, для описания макродеформаций поверхностей используется теория Герца;
- для математического описания высоты микронеровностей рабочих поверхностей используется нормальный закон распределения вероятности;
- расчеты выполняются применительно к контакту шероховатой поверхности с гладкой, переход к контакту двух шероховатых поверхностей осуществляется оценкой композиции законов распределения;
- влияние центробежных сил и гороскопических моментов не учитывается.

Анализ составляющих сопротивления фрикционного контакта позволил отметить, что в условиях жидкостной смазки оно определяется толщиной смазочной плёнки и удельным сопротивлением смазочного материала, в условиях граничной смазки – сопротивлением поверхностных плёнок и сопротивлением стягивания, а при микроконтактировании – только сопротивлением стягивания. В результате получена обобщённая математическая модель сопротивления фрикционного контакта, учитывающая наиболее существенные его составляющие (сопротивление $R_{ст}$ стягивания и сопротивление $R_{сп}$ смазочной пленки) при различных условиях смазки:

$$\begin{cases} R_{ст} = \frac{\rho}{2 \cdot n_{п} \cdot r_{к}}, \text{ при } h_0 < 3 \text{ нм}; R_{сп} = \frac{\rho_{пов}}{\pi \cdot N \cdot r_{к}^2}, \text{ при } 3 \leq h_0 < 10 \text{ нм}, \\ R_{сп} = \rho_{гп} \cdot \frac{h_0}{S_h}, \text{ при } 0,01 \leq h_0 < 1 \text{ мкм}; R_{сп} = \rho_{см} \cdot \frac{h_0}{S_h}, \text{ при } 1 \leq h_0 \leq 30 \text{ мкм}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\rho, \rho_{пов}, \rho_{гп}, \rho_{см}$ – удельное электрическое сопротивление контактирующих поверхностей, смазочных пленок с туннельной проводимостью, граничной смазочной пленки и смазочного материала;

h_0 – минимальное значение толщины смазочной пленки;

S_h – площадь пятна контакта;

$r_{к}$ – радиус пятна металлического контакта;

N – число пятен контакта в контактной зоне.

Подход к моделированию и структура математической модели электрического сопротивления фрикционного контакта подробно рассмотрены в работе [3]. Теоретические исследования законов распределения высоты микронеровностей контактирующих поверхностей позволили уточнить предложенную модель.

При обработке поверхности её геометрия образуется в результате воздействия периодических факторов и случайных возмущений. Вид обработки, подача, биение шпинделя, профиль режущих кромок инструмента и другие постоянно действующие факторы определяют систематическую (периодическую) составляющую геометрии, а процессы, происходящие при деформации обрабатываемого материала (вырывы, сколы, наросты и т.п.), формируют её случайную составляющую. При монтаже узла трения геометрия рабочих поверхностей деталей может претерпевать изменения, характеризующиеся появлением дополнительных отклонений от круглости, а при эксплуатации и транспортировке могут появляться различные локальные дефекты. Таким образом, профиль реальной рабочей поверхности трибосопряжения, имея систематические и случайные составляющие, характеризуется в общем случае регулярными отклонениями формы и расположения – макроотклонениями поверхностей (для дорожки качения подшипника – эксцентricность, овальность или огранка соответствующего порядка), шероховатостью поверхностей, а также локальными дефектами (задир, трещина, лунка, раковина и т.п.).

Для описания макроотклонений поверхностей в модели использован метод гармонического анализа [9]; для описания локальных дефектов – функции на базе полиномов Чебышева и Баттерворта [10]; для описания высоты микронеровностей (шероховатости) использовано распределение Найака, основанное на положениях теории случайных полей [4]. Основные выражения, составляющие математическую модель электрического сопротивления фрикционного контакта в условиях граничной или смешанной смазки трибосопряжения, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Математическое описание электрического сопротивления контакта

Граничная смазка	Смешанная смазка	№
$R_{ст} = a_R \cdot \Psi_R(h)$	$R_{сш} = \alpha_{см} \cdot R_{ст}; \alpha_{см} = \frac{\rho_{см}}{\rho_m} \cdot \frac{h_0}{r_k} \cdot \frac{A_r}{A_c - A_r}$	(2)
$a_R = \frac{\rho_m}{2N\sqrt{\beta d}}; \Psi_R(h) = \left| L\left(\frac{d}{R_q}\right) \cdot \left[1 - L\left(\frac{d}{R_q}\right)\right] + \frac{R_q}{d\sqrt{2\pi}} \cdot \left[\frac{1}{2} - L\left(\frac{d}{R_q}\right)\right] \cdot \exp\left(-\frac{d^2}{2R_q^2}\right) - \frac{1}{4} \right|^{-0,5}$		(3)
$A_r = a_r \cdot \Psi_A(h); a_r = \pi N \beta d; \Psi_A(h) = L\left(\frac{d}{R_q}\right) + \frac{R_q}{d \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{d^2}{2 \cdot R_q^2}\right) - \frac{1}{2}; \beta = \sqrt{r_{пр} r_{поп}}$		(4)
$A_c = \pi \cdot n_a \cdot n_b \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{3 \cdot F_r}{E \cdot \Sigma \rho}\right)^2} - A_d; N = \frac{A_c}{S_{m1} \cdot S_{m2}}; d = R_p - \delta$		(5)
$\delta = \alpha \cdot \sqrt[3]{\Sigma \rho}; a = \frac{3}{2} \cdot \frac{2K}{\pi n_a} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{1 - \eta^2}{E}\right)^2} \cdot F_r^2$		(6)
$f(h_1) = \frac{\sqrt{3}}{2\pi} \cdot \left\{ \begin{aligned} &h_1 \cdot \sqrt{\frac{3(2\alpha - 3)}{\alpha^2}} \cdot \exp(-C_1 \cdot h_1^2) + \frac{3\sqrt{2\pi}}{2\alpha} \cdot (h_1^2 - 1) \cdot \left[1 + \operatorname{erf}\left(h_1 \cdot \sqrt{\frac{3}{2(2\alpha - 3)}}\right)\right] \times \\ &\times \exp\left(-\frac{h_1^2}{2}\right) + \sqrt{\frac{2\pi\alpha}{3(\alpha - 1)}} \cdot \left[1 + \operatorname{erf}\left(h_1 \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{2(\alpha - 1)(2\alpha - 3)}}\right)\right] \cdot \exp\left(-\frac{\alpha h_1^2}{2(\alpha - 1)}\right) \end{aligned} \right\}$ $h_1 = \frac{h}{\sqrt{m_0}}; \alpha = \frac{m_0 \cdot m_4}{m_2^2}; C_1 = \frac{\alpha}{2 \cdot \alpha - 3}; \alpha = 1,5 + k \cdot t$		(7)
$R_{пов}(\phi) = R_{пов0} + \sum_{i=1}^p Q_k \cdot \sin(k \cdot \phi + \phi_k)$		(8)
$\begin{cases} D(x) = \frac{D_{max}}{\sqrt{[m_d \cdot (x - x')]^s + 1}} \\ D(x) = \frac{D_{max}}{\sqrt{\varepsilon^2 \cdot T_n^s \cdot m_d \cdot (x - x') + 1}} \end{cases}$		(9)

Расчёт сопротивления фрикционного контакта проводят по формулам и вспомогательным выражениям (2) – (9), последовательно определяя промежуточные параметры математической модели: параметры макрогеометрии, локальных дефектов, высоту микронеровностей контактирующих поверхностей (7) – (9); сближение δ контактирующих поверхностей (6); контурную площадь контакта A_c , число всех неровностей N в пределах контурной площади контакта, номинальный зазор d между поверхностями (5); фактическую площадь контакта A_r (4); приведённый радиус микронеровности β , вспомогательные переменные функции электрического сопротивления a_R и $\Psi_R(h)$ (3); электрическое сопротивление фрикционного контакта при граничной смазке $R_{ст}$ (сопротивление стягивания) или при смешанной смазке $R_{сш}$ (сопротивление смазочной плёнки) (2). Получаемая таким образом модель учитывает конструктивные параметры трибосопряжения (номинальные размеры деталей, свойства материалов, шероховатость, отклонения формы и расположения рабочих поверхностей, их локальные дефекты), а также режимы и условия его эксплуатации.

В формулах таблицы 1 использованы следующие условные обозначения: $\rho_{\text{СП}}$ – удельное сопротивление смазочной плёнки; $r_{\text{к}}$ – радиус пятна контакта; h_0 – минимальное значение толщины смазочной плёнки в пределах пятна контакта; $\rho_{\text{м}}$ – удельное сопротивление материалов контактирующих поверхностей; $r_{\text{пр}}, r_{\text{поп}}$ – соответственно, радиусы закругления вершин неровностей в продольном и поперечном направлениях (параметры шероховатости); β – радиус закругления единичной неровности; δ – сближение поверхностей ($\delta = h - d$); $L(d/R_q)$ – функция Лапласа (табулирована); $A_{\text{д}}$ – площадь локального дефекта; $A_{\text{с}}$ – контурная площадь контакта поверхностей; S_{m1}, S_{m2} – средний шаг неровностей профиля в перпендикулярных сечениях (продольном и поперечном); R_p – приведенная высота сглаживания неровностей профиля поверхностей ($R_p = R_{p1} + R_{p2}$); N – число всех неровностей, находящихся в пределах номинальной площади контакта A_a двух поверхностей трибосопряжения; d – номинальный зазор между поверхностями; E и η – приведенные модуль упругости и коэффициент Пуассона; F_r – нормальная нагрузка в контакте; $(2K/\pi n_a)$ – табличный коэффициент; $\Sigma\rho$ – сумма главных кривизн контактирующих поверхностей, определяемая по радиусам их кривизны; h/h_1 – высота микронеровностей и безразмерная высота микронеровностей; α – параметр широкополосности профиля поверхности; C_1 – коэффициент пропорциональности; m_0, m_2, m_4 – моменты спектральной плотности высоты микронеровностей профиля поверхности; k – коэффициент пропорциональности; t – срок эксплуатации поверхности (детали); $R_{\text{пов0}}$ – средний радиус сечения; Q_k, φ_k – амплитуда и фазовый угол k -й гармоники отклонения; k – номер гармоники (первая гармоника характеризует эксцентриситет, вторая – овальность, третья – трехвершинную огранку и т.п.); p – предельный номер учитываемой гармоники; s, ε – коэффициенты, определяющие профиль дефекта; $D_{\text{max}}, m_{\text{д}}$ и x' – параметры глубины, протяженности и смещения локального дефекта; $T_n(x)$ – полином Чебышева степени n с аргументом $m_{\text{д}}(x-x')$.

Выражения (1) – (9) позволяют составить математическое описание электрического сопротивления отдельного фрикционного контакта. Для получения математической модели сопротивления всего трибосопряжения необходимо учитывать его электрическую схему замещения, то есть вклад отдельных контактов в общее сопротивление трибосопряжения [11].

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА

В отличие от сопротивления электрическая мощность является энергетической характеристикой фрикционного контакта и имеет физический смысл скорости преобразования энергии в процессе фрикционного взаимодействия поверхностей.

Использование электрической мощности в качестве источника первичной информации о состоянии фрикционного контакта позволяет не только учесть внутренние параметры контактирующих поверхностей, но и составить единую систему зависимостей для электрических и вибрационных диагностических параметров, поскольку в этом случае и те, и другие можно представить как функции времени.

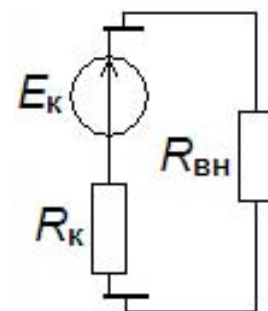


Рисунок 1 – Обобщенная эквивалентная схема замещения фрикционного контакта

Однако по сравнению с сопротивлением математическое моделирование электрической мощности фрикционного контакта сложнее, так как в модели мощности целесообразно учесть не только сопротивление зоны трения, но и генерируемую трибосопряжением ЭДС.

Рассмотрим обобщённую электрическую схему замещения фрикционного контакта, показанную на рисунке 1:

R_k – сопротивление фрикционного контакта;

E_k – ЭДС фрикционного контакта;

$R_{вн}$ – сопротивление внешней нагрузки.

Условно контакт можно представить в виде последовательного соединения сопротивления R_k и источника ЭДС E_k . Тогда мощность фрикционного контакта P_k может быть найдена из выражения:

$$P_k = I \cdot U + I \cdot E_k = I \cdot (U + E_k) = I \cdot (I \cdot R_k + E_k), \quad (10)$$

где I – сила тока в цепи фрикционного контакта;

U – падение напряжения на сопротивлении контакта.

Подставляя в формулу (10) выражения, составляющие математическую модель электрического сопротивления фрикционного контакта, можно вывести зависимость мощности от внутренних параметров трибосопряжения:

1. электрическая мощность фрикционного контакта при граничной смазке трибосопряжения ($P_{гр}$):

$$(P_{гр}) = I \cdot \left(I \cdot \frac{\rho_m}{2 \cdot N \cdot \sqrt{\beta \cdot d}} \cdot \Psi_R(h) + E_k \right), \quad (11)$$

2. электрическая мощность фрикционного контакта при смешанной смазке ($P_{см}$):

$$(P_{см}) = I \cdot \left(I \cdot \frac{\rho_{см}}{\rho_m} \cdot \frac{h_0}{r_k} \cdot \frac{A_r}{A_c - A_r} \cdot \frac{\rho_m}{2 \cdot N \cdot \sqrt{\beta \cdot d}} \cdot \Psi_R(h) + E_k \right). \quad (12)$$

Условные обозначения в формулах (11) и (12) соответствуют обозначениям, принятым в таблице 1.

Полученные зависимости в совокупности с формулами таблицы 1 могут служить обобщённой математической моделью электрической мощности фрикционного контакта. Данная модель, несомненно, представляет собой достаточно упрощённое описание электроэнергетических процессов, протекающих в областях фрикционного взаимодействия поверхностей, однако её совершенствование может привести к созданию математической модели комплексного диагностического параметра, позволяющего оценивать техническое состояние трибосопряжения по характеристикам электрической, вибрационной и тепловой природы.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА ПО ПАРАМЕТРАМ ВИБРАЦИИ

Диагностирование трибосопряжений по параметрам вибрации широко известно [12]. Методы вибродиагностики обладают несомненными достоинствами, поэтому комплексный диагностический параметр, включающий в себя помимо электрических и тепловых величин вибрационные характеристики, например, виброскорость, может быть очень ценным.

Чтобы получить обобщённое математическое описание вибрации контактирующих поверхностей фрикционного контакта, рассмотрим процесс возникновения этого явления.

Пусть фрикционный контакт образован двумя цилиндрическими поверхностями, из которых наружная неподвижна, а внутренняя вращается с угловой скоростью ω (рис. 2).

Если бы контактирующие поверхности трибосопряжения были идеальными, то траектория движения внутренней поверхности представляла собой окружность. Наличие на обеих поверхностях макроотклонений и микронеровностей (шероховатости) делает траекторию движения внутренней поверхности более сложной.

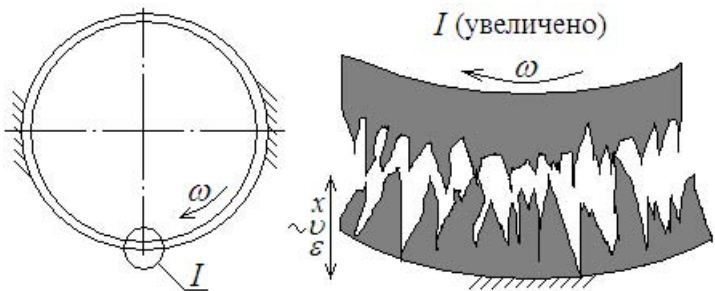


Рисунок 2 – Возникновение вибрации поверхностей контакта

В условиях реальной геометрии внутренняя поверхность не только вращается, но и перемещается в направлении, перпендикулярном вращению, то есть «вибрирует».

Поскольку вибрацию вызывают макроотклонения и микронеровности поверхностей, виброперемещение должно быть функцией геометрических параметров фрикционного контакта. Математические модели, связывающие геометрические параметры контактирующих поверхностей и параметры вибрации, основаны на использовании уравнения Лагранжа [12]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q_{iP} + Q_{iR} + Q_{iF}; \quad i = 1, 2 \dots S, \quad (13)$$

где ∂q – обобщенная координата;

$\partial \dot{q}_i$ – обобщенная скорость;

Q_{iP} – обобщенная восстанавливающая сила, соответствующая восстанавливающим силам P_i ;

Q_{iR} – обобщенная диссипативная сила, соответствующая силам сопротивления R_i ;

Q_{iF} – обобщенная сила, соответствующая возмущающим силам F_i ;

T – кинетическая энергия движущейся системы;

S – число степеней свободы.

Обобщенную координату ∂q можно рассматривать как виброперемещение. Если в первом приближении принять, что основной вклад в формирование виброперемещения контактирующих поверхностей делают их макроотклонения (эксцентricность, овальность, огранка), а вклад микронеровностей по сравнению с ними мал, то виброперемещение, а точнее, его детерминированную составляющую x_d , можно выразить функцией радиуса поперечного сечения $R_{пов}$ вращающейся поверхности:

$$x_d(R_{пов}) = f \left(R_{пов0} + \sum_{i=1}^p Q_k \cdot \sin(k \cdot \varphi + \varphi_k) \right) = \sum_{i=1}^p X_k \cdot \sin(k \cdot \varphi + \varphi_k), \quad (14)$$

где $R_{пов0}$ – средний радиус вращающейся поверхности (при этом виброперемещение отсутствует: $x = 0$);

X_k, φ_k – амплитуда и фазовый угол k -й гармоники виброперемещения;

k – номер гармоники (первая гармоника характеризует виброперемещение, порождаемое эксцентricитетом поверхности, вторая – её овальностью, третья – её трехвершинной огранкой и т.п.);

p – предельный номер учитываемой гармоники.

Формула (14) позволяет составить математическое описание детерминированной

составляющей виброперемещения, обусловленной наличием макроотклонений на рабочих поверхностях трибосопряжения. Случайная составляющая виброперемещения $x_{сл}$ может быть вызвана влиянием микрогеометрии (шероховатости) рабочих поверхностей, которая также имеет случайный характер (таблица 1, формула 7). В целом, виброперемещение x можно выразить совокупностью детерминированной и случайной составляющих:

$$x(R_{пов}, h) = x_d + x_{сл} = a \left(R_{пов0} + \sum_{i=1}^p Q_k \cdot \sin(k \cdot \varphi + \varphi_k) \right) + f(h) = \sum_{i=1}^p X_k \cdot \sin(k \cdot \varphi + \varphi_k) + f(h), \quad (15)$$

где h – высота микронеровностей контактирующих поверхностей (таблица 1, формула 7).

Получив первую производную от формулы (15), можно выразить виброскорость v , а вторую – виброускорение ε :

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d \left(\sum_{i=1}^p X_k \sin(k \cdot \varphi + \varphi_k) + f(h) \right)}{dt}; \quad \varepsilon = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2 \left(\sum_{i=1}^p X_k \cdot \sin(k \cdot \varphi + \varphi_k) + f(h) \right)}{dt^2}. \quad (16)$$

Использование вибрационных параметров позволяет получить однозначную первичную информацию о состоянии фрикционного контакта. Так, виброперемещение, являясь функцией макроотклонений и микрогеометрии контактирующих поверхностей, может быть использовано для оценки геометрических параметров контакта. Виброскорость, как первая производная от виброперемещения, может служить диагностическим параметром, учитывающим скорость изменения геометрических параметров контакта во времени и тем самым оценивающим износ контактирующих поверхностей. Виброускорение, как производная от виброскорости, может использоваться для оценки характера изменения геометрии поверхностей – этап приработки ($\varepsilon < 0$), этап нормальной эксплуатации ($\varepsilon \approx 0$), этап необратимого износа контактирующих поверхностей до наступления предельного состояния ($\varepsilon > 0$). С этой точки зрения виброускорение как диагностический параметр представляет особую ценность, так как по его значениям можно прогнозировать наступление предельного состояния фрикционного контакта и всего механизма в целом.

Выражения (15) и (16) представляют собой самую примитивную математическую модель вибрации рабочих поверхностей фрикционного контакта, не учитывающую многие внутренние механические свойства трибосопряжения. Тем не менее, эти выражения позволяют увидеть сходство между моделями электрических и вибрационных параметров – и одни, и другие основаны на одинаковом математическом описании профиля контактирующих поверхностей. Следовательно, результаты оценки технического состояния одного и того же фрикционного контакта по электрическим и вибрационным диагностическим параметрам должны иметь достаточно высокую степень взаимной корреляции, что также создаёт предпосылку для реализации комплексирования.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА ПО ПАРАМЕТРАМ ТЕМПЕРАТУРЫ

Очень часто в процессе трибологических исследований наряду с получением информации об электрических или вибрационных параметрах фрикционного контакта измеряют температуру поверхностей деталей трибосопряжения, находящихся в непосредственной близости от зоны трения. Известно, что с ухудшением условий трения температура повышается, и даже если не регистрировать значения других диагностических параметров, по повышению температуры уже можно предположить об усилении износа.

Как известно, термодинамическая температура является мерой кинетической энергии внутреннего взаимодействия структурных элементов вещества. Повышение температуры свидетельствует об увеличении длины свободного пробега структурных элементов (атомов или молекул) и об увеличении внутренней энергии вещества в целом. Значит, условно температуру можно отнести к энергетическим характеристикам.

Однако несмотря на очевидные достоинства оценки технического состояния фрикционного контакта по температуре рабочих поверхностей трибосопряжения, математическое моделирование этого диагностического признака отличается значительной трудоёмкостью. Достаточно сложно установить взаимосвязь между геометрическими параметрами контактирующих поверхностей и режимами эксплуатации трибосопряжения с одной стороны и температурой контактирующих поверхностей с другой.

Температура фрикционного контакта может быть определена по формуле:

$$T = \frac{E}{4 \cdot k \cdot R_{\text{сш}} \cdot \Delta f} + \frac{I^2 \cdot R_{\text{сш}} \cdot \Delta t}{c} + T_{\text{окр}} + T_{\text{м}}, \quad (17)$$

где E – термощумовая ЭДС в измерительной цепи фрикционного контакта;

k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

Δf – полоса частот, в пределах которой измеряется термощумовая ЭДС;

Δt – период времени, в течение которого в измерительной цепи протекает ток;

c – удельная теплоёмкость материалов деталей трибосопряжения;

$T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды;

$T_{\text{м}}$ – температура, появление которой вызвано механическими процессами (трением).

Из формулы (17) видно, что температура в зоне трения зависит от ЭДС и сопротивления фрикционного контакта. И, хотя термощумовые процессы – не единственный источник теплоты в трибосопряжении, на основе выражения (17) можно получить математическую модель температуры в зоне трения, которая будет хорошо сочетаться с моделями электрического сопротивления, электрической мощности и вибрационных параметров, так как в основе всех этих моделей будет общий подход к моделированию геометрических параметров контактирующих поверхностей.

Ещё одним интересным направлением работ в рамках получения комплексного диагностического параметра будет использование не самой температуры, а её первой производной – скорости измерения температуры в зоне трения. Это интересно, прежде всего, с динамической точки зрения. Процесс выделения теплоты – самый инерционный процесс в зоне трения, а температура – самый медленно изменяющийся диагностический признак. Так, электрическое сопротивление фрикционного контакта может увеличиться в несколько раз, пока температура контактирующих поверхностей увеличится всего лишь на один градус Цельсия. Скорость изменения температуры будет менее инерционным и более чувствительным к состоянию трибосопряжения параметром.

Так как температура является характеристикой внутренней энергии вещества, первая производная от неё будет иметь физический смысл мощности. Тогда она будет хорошо сочетаться с электрической мощностью и с виброскоростью, что позволит создать комплексный диагностический параметр, эффективно решающий задачи оценки технического состояния как отдельного фрикционного контакта, так и трибосопряжения или сложного трибологического объекта в целом.

ВЫВОДЫ

Проведённый анализ математических методов исследований и моделей диагностических признаков и параметров трибосопряжений позволил составить перечень физических величин, эффективно сочетающихся в комплексном параметре: электрическая мощность, виброскорость, скорость изменения температуры. Перечисленные физические величины имеют близкий физический смысл (скорость энергетических преобразований при фрикционном взаимодействии), что позволяет создать комплексный диагностический параметр, эффективно решающий задачи оценки технического состояния трибосопряжения.

Обзор математических моделей сопротивления, мощности, виброскорости, температуры и скорости её изменения позволяет обобщить математические методы исследования этих параметров применительно к отдельному фрикционному контакту, а также дать рекомендации по использованию моделей для математического описания трибосопряжений различной степени сложности, содержащих любое количество фрикционных контактов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подмастерьев К.В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения – М.: Машиностроение-1, 2001. – 376 с.
2. Подмастерьев К.В. Математическая модель диагностического параметра электрического сопротивления / С.В. Баранников // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение. – Орел: ОрелГТУ, 2000. – № 4. – С. 150-154.
3. Подмастерьев К.В. Математическое моделирование электрического сопротивления фрикционного контакта при граничной смазке / В.В. Мишин, В.В. Марков // Сб. тр. МНТК «Приборостроение-2005». – Винница-Ялта, 2005. – С. 19-24.
4. Мышкин Н.К. Трибология. Принципы и приложения / М.И. Петроковец. – Гомель: ИММС НАНБ, 2002. – 310 с.
5. Кончиц В.В. Триботехника электрических контактов / В.В. Мешков, Н.К. Мышкин. – Минск: Наука и техника, 1986. – 256 с.
6. Демкин Н.Б. Теория контакта реальных поверхностей и трибология / Трение и износ. – 1995. – Т. 16. – № 6. – С. 1003-1024.
7. Мышкин Н.К. Контакт шероховатых тел и его проводимость / М.И. Петроковец / Трение и износ. – 1983. – Т. 4. – № 5. – С. 845-853.
8. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин. – М.: Машиностроение, 1966. – 194 с.
9. Мишин В.В. Метод и средства диагностирования подшипниковых узлов с учетом макрогеометрии дорожек качения: Дисс. канд. техн. наук. – Орел: 2000. – 265 с.
10. Пахолкин Е.В. Моделирование и теоретическое исследование влияния локальных дефектов рабочих поверхностей трибосопряжения на состояние смазочного слоя в зоне трения (на примере подшипника качения) / К.В. Подмастерьев // Известия ОрелГТУ. – Сер. Машиностроение. Приборостроение. – Орел: ОрелГТУ, 2003. – № 3. – С. 71-74.
11. Марков В.В. Уточнённая математическая модель электрического сопротивления фрикционного контакта / Физика, химия и механика трибосистем: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 7. / Под ред. В.Н. Латышева. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2008. – С.16-24.
12. Бальмонт В.Б. Опоры качения приборов / В.А. Матвеев – М.: Машиностроение, 1984. – 240 с.

Марков Владимир Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

Кандидат технических наук

Доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел.: (4862)41-98-76

E-mail: pms35vm@yandex.ru

УДК 621.396.96

Г.А. ТРАВИН, И.Н. ПЕРЕПЕЛКИН, М.Г. ТРАВИН

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

В статье рассматривается вопрос моделирования неоднородных СВЧ устройств с применением кратномасштабного временного метода на примере полосковых резонансных антенн, выполненных печатным монтажом.

Ключевые слова: вейвлеты; математическое моделирование; СВЧ устройство; численные методы.

In paper the question of modelling of non-uniform microwave devices with multiresolution time-domain method on an example of the double patch cavity-backed antennas executed by printed-circuit wiring is considered.

Keywords: wavelets; mathematical simulation; microwave device; numerical methods.

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие беспроводной связи (сотовая связь, беспроводные сети 802.11 WLAN) породило большое количество исследований в области компоновки высокоэффективных СВЧ устройств. Достижения технологий делают возможным снижать габариты схем за счет комбинации большого числа СВЧ компонентов в плотном расположении. В подобных устройствах используется геометрия с широкими диапазонами изменения размеров, миниатюрная функциональная часть и подвижные части, что часто приводит к трудностям прогнозирования их характеристик. Макетирование сложных устройств требует использования сверхминиатюрных элементов и большого количества отладочных средств, поэтому изначально целесообразно проводить численное моделирование, основанное на волновых временных методах, которые надежны и легко программируются. Они позволяют имитировать воздействие в требуемой полосе частот и достаточно точно выявлять характеристики простых элементов, а потом расширять их на большие схемы.

Кратномасштабный временной метод представляет собой развитие обычных волновых временных методов и основывается на принципах кратномасштабного анализа, позволяющего использовать вейвлеты для уменьшения вычислительной нагрузки при анализе сложных устройств различной структуры. Вейвлет-анализ позволяет реализовать высокий уровень пространственной детализации с высоким частотным содержанием, а для частей устройства с быстро меняющимися параметрами — адаптивно изменять разрешение.

Для описания использования кратномасштабного временного метода при моделировании резонансных антенн рассмотрим двухмерный кратномасштабный анализ вейвлетами Хаара. Хотя семейство вейвлетов Хаара является самым простым, оно обладает рядом свойств, обеспечивающих его применение предпочтительным для реальных устройств [1]. Развитие рассуждений на трехмерный случай и на случай других вейвлетов осуществляется по аналогии.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Базисные функции Хаара представляют собой импульсы на различных интервалах времени. Масштабирующая функция Хаара φ и материнский вейвлет Ψ_0

представлены на рисунке 1. Масштабирующая функция — просто импульсная функция на заданном интервале. Функция вейвлета связана с масштабирующей функцией и образуется двумя импульсами противоположной полярности длительностью в половину интервала масштабирующей функции. Скалярное произведение этих двух функций самих с собой равно 1, а их совместное скалярное произведение равно 0 [2].

Вейвлеты Хаара для более мелких разрешений образуются из материнского вейвлета. Для каждого уровня разрешения число вейвлетов удваивается, а временной интервал сокращается вдвое. Амплитуда каждой функции изменяется так, чтобы скалярное произведение каждого вейвлета самим с собой оставалось равным единице. Скалярное произведение любого вейвлета с вейвлетами других уровней разрешения или масштабирующей функцией равно 0. На рисунке 2 представлены вейвлеты уровней разрешения 1 и 2. Далее максимально используемый уровень разрешения вейвлета будем обозначать через r_{max} .

Положительный эффект, получаемый от варьируемой сетки разрешения для представления электромагнитных полей, легко объяснить. Если величина поля может быть аппроксимирована постоянной на половине интервала вейвлета текущего уровня разрешения, нет необходимости это разрешение увеличивать. Наоборот, уровень разрешения следует увеличить, если поле имеет быстрые изменения, вызываемые, например, источниками тока или неоднородностями. Такие области локальны и основной анализ ведется на низких разрешениях для большей части моделируемых областей, что и обеспечивает более высокую вычислительную эффективность кратномасштабного временного анализа по сравнению с классическими волновыми методами.

$$\text{Уравнения} \quad \frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial H_z}{\partial y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial H_z}{\partial x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right] \quad (3)$$

представляют собой уравнения Максвелла, описывающие двухмерное поле в изотропной среде без источников и затуханий. Разложение поля E_x в (1) по составляющим масштабирующей функции и вейвлетов Хаара выражается следующим соотношением:

$$E_x(x, y) = \sum_{n,i,j} h_n(t) \left[{}_n E_{i,j}^{x,\varphi\varphi} \varphi_i(x) \varphi_j(y) + \sum_{r=0}^{r_{max}} \sum_{p=0}^{2^r-1} {}_n E_{i,j,r,p}^{x,\Psi,\varphi} \Psi_{i,p}^r(x) \varphi_j(y) + \sum_{r=0}^{r_{max}} \sum_{p=0}^{2^r-1} {}_n E_{i,j,r,p}^{x,\varphi,\Psi} \varphi_i(x) \Psi_{j,p}^r(y) + \sum_{r=0}^{r_{max}} \sum_{p=0}^{2^r-1} \sum_{s=0}^{r_{max}} \sum_{q=0}^{2^r-1} {}_n E_{i,j,r,p}^{x,\Psi\Psi} \Psi_{i,p}^r(x) \Psi_{j,q}^s(y) \right], \quad (4)$$

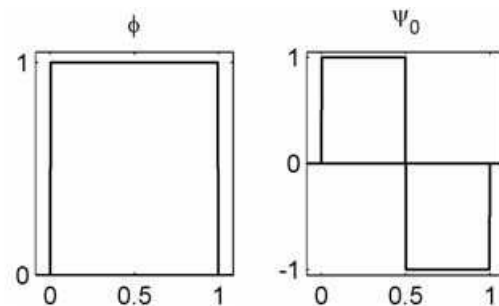


Рисунок 1 – Масштабирующая функция φ и вейвлет Ψ_0 Хаара

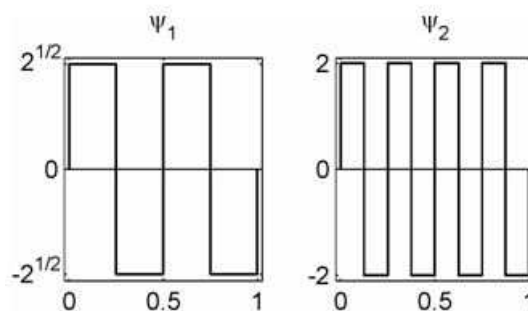


Рисунок 2 – Вейвлеты Хаара уровней разрешения 1 и 2

где ${}_n E_{i,j}^{x,\varphi\varphi}$ — коэффициент, соответствующий масштабирующим функциям по x и y , представляющий величину электрического поля в i, j -области на временном шаге n ; $\Psi_{i,p}^r$ — вейвлет уровня разрешения r в позиции $p \lfloor (p - 0.5)/2^r \rfloor$ области i . Остальные коэффициенты имеют аналогичное значение. Временная зависимость считается постоянной на каждом шаге прохождения импульса $h_n(t)$ [3].

Двухмерное разложение на коэффициенты вейвлетов и масштабирующих функций проводится по x и y . Коэффициенты в (4) представляют собой произведения базисных функций в обоих направлениях. Каждое произведение дает один коэффициент разложения. Таким образом, образуются четыре группы коэффициентов м.ф.- x /м.ф.- y , вейвлет- x /м.ф.- y , м.ф.- x /вейвлет- y и вейвлет- x /вейвлет- y , что дает $2^{2(r_{max}+1)}$ вейвлетов для уровня разрешения r_{max} .

Для уровня разрешения $r_{max} = 0$ каждое произведение порождает 4 коэффициента, как это изображено на рисунке 3.

Когда получено разложение полей E и H по коэффициентам вейвлетов, эти значения подставляются в уравнения (1)–(3). Далее уравнения решаются методом моментов для каждого коэффициента. В двухмерном случае величины коэффициентов соответствуют значениям в центральных точках областей, размеры которых определяются вейвлетом с максимальным разрешением (рис. 3). В этом случае уравнения можно переписать в следующем виде:

$${}_n E_{i,j}^x = {}_{n-1} E_{i,j}^x + \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta y} \left(U_{E_{x1n-1}} H_{i,j}^z + U_{E_{x2n-1}} H_{i,j-1}^z \right), \quad (5)$$

$${}_n E_{i,j}^y = {}_{n-1} E_{i,j}^y + \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta y} \left(U_{E_{y1n-1}} H_{i,j}^z + U_{E_{y2n-1}} H_{i-1,j}^z \right), \quad (6)$$

$${}_n H_{i,j}^y = {}_{n-1} H_{i,j}^y + \frac{\Delta t}{\mu} \left[\frac{1}{\Delta y} \left(U_{H_{E_{x1n-1}}} E_{i,j}^x + U_{H_{E_{x2n-1}}} E_{i,j+1}^x \right) - \frac{1}{\Delta x} \left(U_{H_{E_{y1n-1}}} E_{i,j}^y + U_{H_{E_{y2n-1}}} E_{i+1,j}^y \right) \right]. \quad (7)$$

Последние уравнения записаны в матричной форме, где, например, ${}_n E_{i,j}^x$ — вектор коэффициентов вейвлетов и масштабирующих функций, представляющих электрическое поле в (i, j) -области на временном шаге n . Матрицы U являются результатом скалярного произведения, полученного методом моментов. Полученные результаты позволяют варьировать разрешение от области к области, причем эти изменения могут быть функциями от времени. Временной шаг для описанного метода выражается следующим соотношением:

$$\Delta t = \frac{1}{c \sqrt{\left(\frac{2^{r_{max}+1}}{\Delta x} \right)^2 + \left(\frac{2^{r_{max}+1}}{\Delta y} \right)^2}}.$$

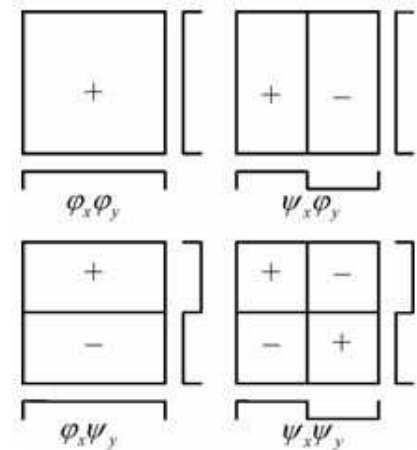


Рисунок 3 – Двухмерные коэффициенты Хаара для $r_{max} = 0$

МЕТОДИКА

Описанный выше метод позволяет получить изменяющуюся по времени и областям сетку для моделирования уравнений Максвелла. Ранее не указывалось, что можно также варьировать и диэлектрической проницаемостью, что позволяет эффективно моделировать структуры, состоящие из диэлектриков. Однако анализ смешанных структур, подобных печатным платам, представляет определенные трудности. Далее приводится методика анализа подобных структур, минимизирующая затраты памяти путем применения адаптивного алгоритма.

Граничное условие для печатных проводников требует, чтобы электрические поля, тангенциальные проводникам, равнялись нулю. Из уравнений (5)–(7) видно, что вычисление коэффициентов на следующем временном шаге основывается на коэффициентах соседних областей, полученных на предыдущих временных шагах. Если размер области печатного проводника больше или равен области текущего прохода кратномасштабного временного анализа, все коэффициенты обнуляются, согласно краевому условию. Напротив, если область печатного проводника меньше анализируемого размера области, коэффициенты должны быть модифицированы. В этом случае обнуляются значения только области проводника, а остальные коэффициенты остаются неизменными.

Одним из способов определения коэффициентов, подлежащих обнулению, является использование матрицы восстановления. Например, матрицы ${}_n E_{i,j}^x$ в (5)–(7) могут быть преобразованы в значения поля умножением на матрицу, представляющую собой сумму полей в соответствующих точках сетки. В этом случае:

$$E_R = R E_w, \quad (8)$$

где E_R — восстанавливаемые поля;

E_w — коэффициенты вейвлетов;

R — матрица восстановления.

Заметим еще раз, что число восстанавливаемых точек в E_R равно числу коэффициентов в E_w . Таким образом, R — квадратная матрица. Для случая $r_{max} = 0$ выражение (8) будет иметь вид:

$$\begin{bmatrix} E_{1,1} \\ E_{1,2} \\ E_{2,1} \\ E_{2,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}_n E_{i,j}^{x,\varphi,\varphi} \\ {}_n E_{i,j}^{x,\Psi,\varphi} \\ {}_n E_{i,j}^{x,\varphi,\Psi} \\ {}_n E_{i,j}^{x,\Psi,\Psi} \end{bmatrix},$$

если координаты восстанавливаемых полей соответствуют рисунку 4.

Как R может быть использована для восстановления значений поля из коэффициентов вейвлетов и масштабирующих функций, так можно воспользоваться R^{-1} для разложения значений поля в коэффициенты. Таким образом, применение краевого условия для печатных проводников может быть реализовано в конкретных точках сетки восстановлением значений поля, обнуления полей в точках нахождения проводников с последующим разложением обратно в коэффициенты вейвлетов. Тем не менее, более эффективные результаты дает метод, когда матрицы восстановления/разложения

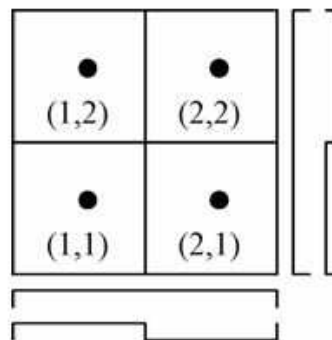


Рисунок 4 – Координаты восстанавливаемых полей

используются непосредственно в уравнениях (5)–(7). Например, умножение (5) на R , используя соотношение $H_{i,j}^z = R^{-1}RH_{i,j}^z$ и обозначив $U' = RUR^{-1}$, получим:

$$R_n E_{i,j}^x = R_{n-1} E_{i,j}^x + \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta y} \left(U'_{Ex1} R_{n-1} H_{i,j}^z + U'_{Ex2} R_{n-1} H_{i,j-1}^z \right). \quad (9)$$

Это дает обновленные точки электрического поля в выражениях через точки магнитного поля.

Используя это выражение можно обнулять точки поля, тангенциального печатному проводнику, умножением на матрицу I_p , представляющую собой единичную матрицу с нулями в строках, соответствующих расположению проводников. Так как (9) представляет собой уравнение обновления, а все начальные значения всех полей равны нулю, умножение векторов электрического поля на I_p излишне.

Таким образом, новое уравнение обновления с обнулением в местах расположения печатных проводников примет вид:

$$R_n E_{i,j}^x = R_{n-1} E_{i,j}^x + \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta y} \left(I_p U'_{Ex1} R_{n-1} H_{i,j}^z + I_p U'_{Ex2} R_{n-1} H_{i,j-1}^z \right). \quad (10)$$

Умножая (10) на R^{-1} и вводя обозначение $U^p = R^{-1}I_p U'R$, получим уравнение обновления для кратномасштабного временного метода анализа для печатных плат:

$${}^n E_{i,j}^x = {}^{n-1} E_{i,j}^x + \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta y} \left(U_{Ex1n-1}^p H_{i,j}^z + U_{Ex2n-1}^p H_{i,j-1}^z \right).$$

Это уравнение аналогично (5) за исключением использования матриц U^p . Таким образом, возможно моделирование подобластей печатных проводников с использованием кратномасштабного временного метода путем простого изменения матриц скалярного произведения. Этот метод мало замедляет вычисления и требует дополнительной памяти только для хранения матриц U .

РЕЗУЛЬТАТЫ

Описанный кратномасштабный временной метод был использован при моделировании резонансной полосковой антенны, выполненной по технологии десяти-слойного печатного монтажа. Упрощенная конструкция антенны приведена на рисунке 5. Антенна моделировалась для стандарта IEEE 802.11a частотного диапазона 5,8 ГГц. Толщина верхней и нижней пластин квадратной формы размером 10×10 мм составляла соответственно 0,2 мм и 0,8 мм.

Характеристики входного импеданса антенны приведены на рисунке 6. Полоса пропускания антенны по уровню -10 дБ составила около 0,4 ГГц. Диаграммы направленности модели антенны изображены на рисунке 7.

Результаты моделирования были проверены на реальном устройстве WLAN фирмы Siemens и показали удовлетворительные результаты.

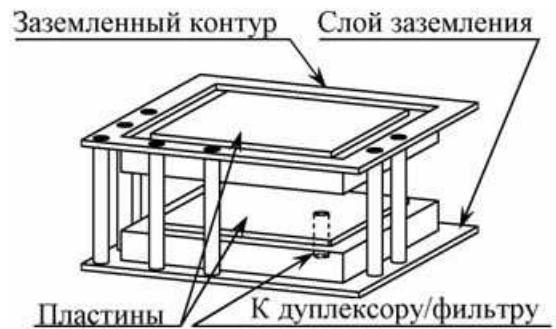
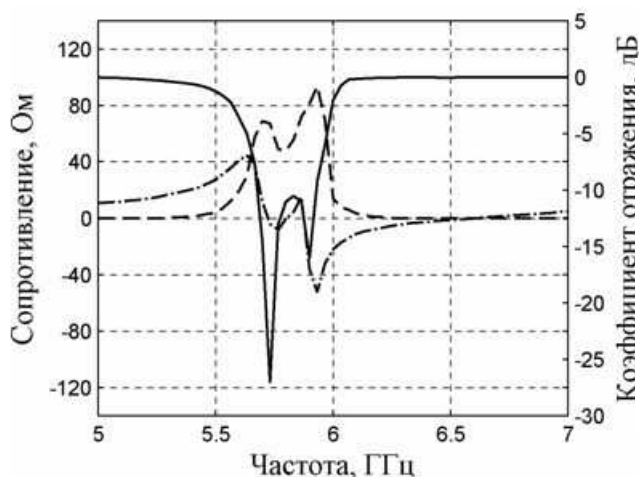
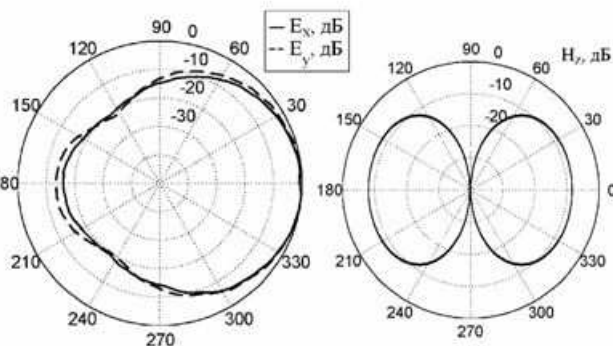


Рисунок 5 – Упрощенная конструкция моделируемой антенны



**Рисунок 6 – Входной импеданс
и коэффициент отражения
модели антенны**



**Рисунок 7 – Диаграммы
направленности антенны
для различных полей**

ЛИТЕРАТУРА

1. E.M.Tentzeris, A.Cangellaris, L.P.B.Katehi, and J.Harvey, «Multiresolution Time-Domain (MRTD) Adaptive Schemes Using Arbitrary Resolutions of Wavelets», IEEE Trans. Microwave Theory Tech., (50), pp.501–516, Feb. 2002.
2. T.Dogaru and L.Carin, «Application of Haar-wavelet-based multiresolution time-domain schemes to electromagnetic scattering problems», IEEE Trans/ Antennas Prop., (50), pp.774–784, June 2002.
3. E.M.Tentzeris, J.Harvey, and L.P.B.Katehi, «Time Adaptive Time-Domain Techniques for the Design of Microwave Circuits», IEEE Microwave and Guided Wave Letters, (9), pp.96–98, 1999.

Травин Геннадий Александрович

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор кафедры общей физики
308007, г. Белгород, ул. Некрасова, 17в, кв.10
Тел.: (4722) 31-29-02
E-mail: travin@bsu.edu.ru

Перепелкин Игорь Николаевич

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Ассистент кафедры прикладной информатики
308032, г. Белгород, ул. Степная, 1-А, кв.19
Тел.: (4722) 35-94-18
E-mail: perepelkin@bsu.edu.ru

Травин Михаил Геннадьевич

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Студент
308007, г. Белгород, ул. Некрасова, 17в, кв.10
Тел.: (4722) 31-29-02

УДК 004.738.52

Р.В. ШАРАПОВ, Е.В. ШАРАПОВА

ПУТИ РАСШИРЕНИЯ БУЛЕВОЙ МОДЕЛИ ПОИСКА

Рассматриваются пути расширения булевой модели поиска. Дается понятие p -нормы. Приводятся описание модели и принципы формирования запросов. Рассматриваются вопросы определения соответствия между документами в информационно-поисковых системах и запросами пользователей.

Ключевые слова: расширенная булева модель; p -норма; информационный поиск.

Extending of Boolean Space Model is considered. The concept of p -norm is given. The description of model and principles of queries are resulted. Definition of similarities between documents in information retrieval systems and queries of users are considered.

Keywords: extended Boolean Model; P -norm; Information retrieval.

Булева модель стала использоваться в информационно-поисковых системах с давних времен. Она является одной из старейших моделей поиска. Основным достоинством является ее простота, способность работать с большими объемами информации и высокая скорость выполнения поисковых запросов. По этой причине на основе булевой модели было построено большое количество поисковых систем.

В булевой модели запросы пользователей представляют собой логические выражения, в которых слова связаны операторами AND, OR и NOT. Для нахождения документа по запросу в нем должны содержаться все слова, связанные оператором AND или хотя бы одно из слов, связанных оператором OR. Нетрудно заметить, что при сложных запросах, состоящих из нескольких слов, и большом количестве документов в поисковой базе может наблюдаться некий дисбаланс результатов поиска:

- список результатов поиска при использовании оператора AND может оказаться слишком коротким, так как из результатов поиска исключаются все документы, в которых отсутствует хотя бы одно из слов запроса;
- список результатов поиска при использовании оператора OR может оказаться слишком большим, так как в результаты поиска включаются все документы, в которых встречается хотя бы одно из слов запроса.

Кроме того, у булевой модели есть существенный недостаток – в ней нет возможности установить веса термов (слов) и, соответственно, нельзя провести ранжирование результатов поиска. Из-за указанных недостатков современные информационно-поисковые системы практически перестали строиться на основе булевой модели. Они чаще всего используют различные варианты векторной модели, которые позволяют производить ранжирование результатов поиска, обладают неплохими скоростными характеристиками, но требуют большего числа вычислений.

Существующие информационно-поисковые системы, использующие в настоящее время булеву модель, также утрачивают свою конкурентоспособность. Перевод же на другие модели поиска означает практически полную их замену. Это обусловлено необходимостью модификации поисковой базы с добавлением дополнительной информации из текстовых коллекций (что в свою очередь означает повторную переиндексацию документов). Процедура эта довольно трудоемкая и дорогостоящая. По этой причине интерес представляет модификация булевой модели для обеспечения дополнительной гибкости систем.

Решением проблемы является расширение булевой модели, дающее возможность назначать веса термам, осуществлять поиск с частичным соответствием и производить ранжирование результатов поиска.

Впервые расширенная модель была описана Дж. Солтоном и Е. Фоксом [1, 2]. Предлагалось расширить булеву модель элементами векторной модели. Эта модифицированная модель получила название расширенной булевой модели (Extended Boolean Model) [2]. В дальнейшем возможности расширения модели рассматривались и другими исследователями [3, 4, 5].

Одной из первых реализаций расширенной булевой модели стала модель МММ [3]. Она основана на теории нечетких множеств, предложенной Л.Заде. В теории нечетких множеств у элемента есть различная степень принадлежности w_x к набору k_x вместо традиционного обозначения принадлежности (элемент/не элемент). В МММ (Mixed Min and Max) модели, разработанной Е. Фоксом [5], каждый терм связан с нечетким множеством. Вес документа относительно индексного термина k_x рассматривается как степень принадлежности документа нечеткому множеству, связанному с k_x . Степень принадлежности для операций объединения и пересечения в теории нечетких множеств определяются следующим образом:

$$w_{x \vee y} = \max(w_x, w_y), w_{x \wedge y} = \min(w_x, w_y).$$

Согласно теории нечетких множеств, документы, которые должны быть найдены по запросу k_x или k_y (k_x or k_y), должны быть в нечетком множестве, связанным с объединением двух наборов k_x и k_y . Аналогично, документы, которые должны быть найдены по запросу k_x и k_y (k_x and k_y), должны быть в нечетком множестве, связанным с пересечением двух наборов k_x и k_y . Следовательно, соответствие документа или-запросу определяется $\max(w_x, w_y)$ и соответствие документа и-запросу – $\min(w_x, w_y)$. Модель МММ пытается смягчить логические (булевы) операторы, предполагая, что соответствие документа запросу – линейная комбинация минимального и максимального весов документа.

Для документа d_j с весами индексных термов $w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{m,j}$ для термов k_1, k_2, \dots, k_m , запросов $q_{or} = k_1 \vee k_2 \vee \dots \vee k_m$ и $q_{and} = k_1 \wedge k_2 \wedge \dots \wedge k_m$ подобие документа запросу в модели МММ вычисляется следующим образом:

$$sim(q_{or}, d_j) = C_{or1} \cdot \max(w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{m,j}) + C_{or2} \cdot \min(w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{m,j}),$$

$$sim(q_{and}, d_j) = C_{and1} \cdot \min(w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{m,j}) + C_{and2} \cdot \max(w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{m,j}),$$

где C_{or1}, C_{or2} – коэффициенты «мягкости» для оператора или (or);

C_{and1}, C_{and2} – коэффициенты «мягкости» для оператора и (and).

Так как для или-запросов более существенен максимум весов документов, а для и-запросов – минимум, то $C_{or1} > C_{or2}$ и $C_{and1} > C_{and2}$. Для простоты предполагается, что $C_{or1} = 1 - C_{or2}$ и $C_{and1} = 1 - C_{and2}$.

Раисе-модель, предложенная Пэйсом [3, 4], также основана на теории нечетких множеств. В отличие от модели МММ, где для вычисления подобия рассматривается только максимум и минимум весов документов для индексных термов, в Раисе модели принимаются во внимание все веса документов.

Для документа d_j с весами индексных термов $w_{1,j}, w_{2,j}, \dots, w_{m,j}$ для термов k_1, k_2, \dots, k_m , запросов $q_{or} = k_1 \vee k_2 \vee \dots \vee k_m$ и $q_{and} = k_1 \wedge k_2 \wedge \dots \wedge k_m$ подобие документа запросу в модели Раисе вычисляется следующим образом:

$$sim(q, d_j) = \frac{\sum_{i=1}^m r^{i-1} w_{i,j}}{\sum_{i=1}^m r^{i-1}},$$

где $0 \leq r \leq 1$, $w_{i,j}$ рассматривается в порядке убывания для *или*-запроса и в порядке возрастания для *и*-запроса.

Наибольшую популярность получила модель **Р-норм**. Рассмотрим логический *и*-запрос $q = k_x \wedge k_y$. Согласно булевой модели, если документ содержит только терм k_x или терм k_y , то он не соответствует запросу также, как документ, не содержащий ни одного из термов. Однако такой бинарный критерий выбора из двух альтернатив является недостаточно гибким. Аналогичная ситуация наблюдается для *или*-запросов. Если рассматриваются только два слова в запросе, то можно отобразить запросы и документы на двухмерной карте (рис. 1) [2]. Документ d_j позиционируется в этом пространстве на основе весов $w_{x,j}$ и $w_{y,j}$, связанных с парами $[k_x, d_j]$ и $[k_y, d_j]$. После проведения нормализации эти веса будут принимать значения между 0 и 1. Например, эти веса могут вычисляться как TF-IDF коэффициенты.

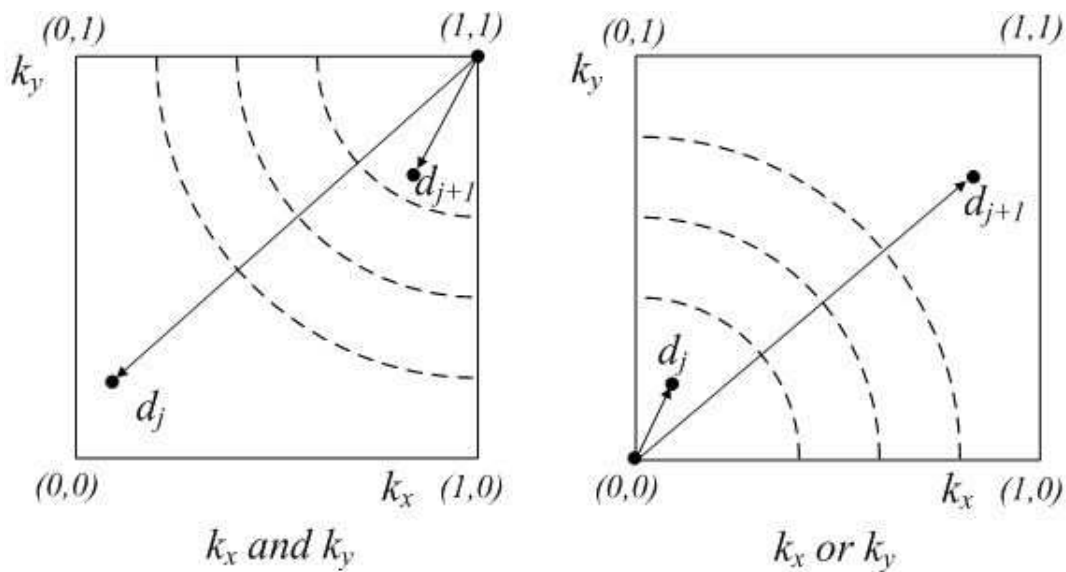


Рисунок 1 – Пространство, составленное из двух термов k_x и k_y

Из рисунка видны две интересные особенности. Во-первых, для *или*-запроса $q_{or} = k_x \vee k_y$ точка (0,0) является самой нежелательной. Это позволяет считать расстояние от (0,0) как меру подобия запросу q_{or} . Во-вторых, для *и*-запроса $q_{and} = k_x \wedge k_y$ точка (1,1) является самой желательной. Это дает возможность считать расстояние от точки (1,1) как меру подобия запросу q_{and} . Кроме того, такие расстояния могут быть нормализованы. В результате меры подобия документа запросу будут выглядеть следующим образом [2]:

$$sim(q_{or}, d) = \sqrt{\frac{w_{x,y}^2 + w_{y,j}^2}{2}},$$

$$sim(q_{and}, d) = 1 - \sqrt{\frac{(1 - w_{x,j})^2 + (1 - w_{y,j})^2}{2}}.$$

Если веса – логические (то есть, $w_{x,j} \in \{0,1\}$), то документ будет располагаться в одном из четырех углов – (0,0), (0,1), (1,0), или (1,1). Тогда значения для $sim(q_{or}, d)$ ограничены $0, 1/\sqrt{2}$ и 1. Аналогично, значения для $sim(q_{and}, d)$ ограничены $0, 1 - 1/\sqrt{2}$ и 1. Учитывая, что число термов в коллекции документов равно t , булева модель может быть расширена, чтобы рассматривать евклидовы расстояния в t -мерном пространстве.

Проводя обобщение, можно принять теорию векторных норм. Модель p -нормы обобщает понятие расстояния, включающего не только евклидовы расстояния, но и p -расстояния, где $1 \leq p \leq \infty$ – вновь введенный параметр, значение которого определяется во время формирования запроса. Обобщенный *или*-запрос тогда можно представить так:

$$q_{or} = k_1 \vee^p k_2 \vee^p \dots \vee^p k_m.$$

Аналогично, обобщенный *и*-запрос можно представить так:

$$q_{and} = k_1 \wedge^p k_2 \wedge^p \dots \wedge^p k_m.$$

Тогда функции соответствия документов запросу будут:

$$sim(q_{or}, d_j) = \sqrt[p]{\frac{w_{1,j}^p + w_{2,j}^p + \dots + w_{m,j}^p}{m}},$$

$$sim(q_{and}, d_j) = 1 - \sqrt[p]{\frac{(1 - w_{1,j})^p + (1 - w_{2,j})^p + \dots + (1 - w_{m,j})^p}{m}}.$$

p -норма обладает несколькими интересными свойствами [2]. Во-первых, когда $p = 1$, получаем:

$$sim(q_{or}, d_j) = sim(q_{and}, d_j) = \frac{w_{1,j} + w_{2,j} + \dots + w_{m,j}}{m}.$$

Во-вторых, при $p = \infty$ можно записать:

$$\begin{aligned} sim(q_{or}, d_j) &= \max(w_{i,j}), \\ sim(q_{and}, d_j) &= \min(w_{i,j}). \end{aligned}$$

Таким образом, для $p = 1$ *и*- и *или*-запросы определяются суммой весов термов в документах, подсчитанных на основе формул подобия в векторном пространстве. Для $p = \infty$ запросы оцениваются, согласно терминам нечеткой логики. Изменяя параметр p между 1 и бесконечность, мы можем изменить p -норму, варьируя ранжирование между векторной и булевой моделями.

Надо заметить, что расширенная булева модель ослабляет булеву алгебру, интерпретирующую логические операции в терминах алгебраических расстояний. В этом смысле, это – гибридная модель, которая включает свойства и теоретических, и алгебраических моделей.

Приведенные модификации дают возможность обойти ограничения булевой модели и дать новые возможности ее использования в информационно-поисковых системах. Появившаяся возможность осуществления ранжирования делает расширенную булеву модель более конкурентоспособной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Salton G., Fox E., Wu H. Extended Boolean Information Retrieval. Communications of the ACM. 1983; 26(11), pages 1022-1036.
2. Baeza-Yates R., Ribeiro-Neto B. Modern information retrieval. – ACM Press Books. Addison Wesley, 1999.
3. Frakes W., Baeza-Yates R. Information Retrieval: Data Structures Algorithms. - Prentice-Hall, 1992.
4. Paice C. P. Soft Evaluation of Boolean Search Queries in Information Retrieval Systems. Information Technology: Research and Development. 1984; 3(1), pages 33-42.
5. Fox E. A., Sharat S. A Comparison of Two Methods for Soft Boolean Interpretation in Information Retrieval. Technical Report TR-86-1, Virginia Tech, Department of Computer Science, 1986.

Шарапов Руслан Владимирович

Муромский институт Владимирского государственного университета, г. Муром
Кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности
602200, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, 23

Тел.: (49234) 20613

Факс: (49234) 22885

E-mail: info@vanta.ru

Шарапова Екатерина Викторовна

Муромский институт Владимирского государственного университета, г. Муром
Инженер кафедры безопасности жизнедеятельности
602200, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, 23

Тел.: (49234) 20613

Факс: (49234) 22885

E-mail: info@vanta.ru

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ
И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

УДК 004.03

В.И. РОГОВИЧ, К.А. ДАНИЛОВ

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕКЦИЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ
С УЧЕТОМ БОЛОНСКОЙ МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ
И МОДЕЛИ ЗРЕЛОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ**

В статье приводятся модели организации лекционных занятий и самостоятельной работы при дистанционном обучении в соответствии с компетентностным подходом, который является одним из ключевых положений Болонской модели образования. Кроме того, при организации дистанционного обучения авторами предлагается ориентироваться на модель зрелости электронного обучения *e-Learning Maturity Model*. В статье описывается выбор инструмента, удовлетворяющего рекомендациям этой модели, а также вычислительный эксперимент по оценке качества организации электронного дистанционного обучения на основе этого инструмента.

Ключевые слова: дистанционное обучение; электронное обучение; болонская модель образования; компетентностный подход; *e-Learning Maturity Model*.

The article states the models of lectures and self-dependent learning organization during distance learning in accordance with the competence approach that is one of the key concepts of the Bologna educational model. Moreover, the authors suggest to use the e-Learning Maturity Model for distance learning organization. The article describes the choice of a tool that meets the requirements of this model, and also the computing experiment on the assessment of the quality of electronic distance learning based on this tool.

Keywords: distance learning; e-Learning; Bologna model of education; competence approach; *e-Learning Maturity Model*.

ВВЕДЕНИЕ

В сентябре 2003 года Россия присоединилась к Болонскому процессу. Одной из его особенностей является компетентностный подход. Это метод моделирования результатов обучения и их представления как норм качества высшего образования. Корректное внедрение компетентностного подхода в российскую модель образования является одной из актуальных задач в направлении интеграции России в единое европейское образовательное пространство. Организация занятий в соответствии с компетентностным подходом является частной задачей общего процесса интеграции.

В исследовательской работе, проводимой авторами, была поставлена задача разработки моделей процесса организации лекционных и самостоятельных занятий при дистанционном обучении таким образом, чтобы они удовлетворяли компетентностному подходу. Кроме того, была поставлена задача выбора инструмента, позволяющего реализовать данные модели, и оценки качества работы с ним.

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ ВО ВРЕМЯ ЛЕКЦИИ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Анализ ряда нормативных и исследовательских документов [1, 2, 3, 4] позволяет представить компетенцию в виде следующего кортежа:

$$\text{Комп} = \langle \text{Кр}, \text{З}, \text{У}, \text{Н}, \text{ЛК} \rangle,$$

где Кр – кругозор,

З – знания,

У – умения,

Н – навыки,

ЛК – личные качества.

Под формированием компетенции в таком случае можно понимать систему процессов преобразования: $\text{Кр}^t \rightarrow \text{Кр}^s, \text{З}^t \rightarrow \text{З}^s, \text{У}^t \rightarrow \text{У}^s, \text{Н}^t \rightarrow \text{Н}^s, \text{ЛК}^t \rightarrow \text{ЛК}^s$, где элементы с индексом t (teacher) соответствуют элементам компетенции преподавателя, а элементы с индексом s (student) соответствуют элементам компетенции студента, которые нужно сформировать. В силу особенностей области исследования сделаем допущение, что преобразования кругозора (Кр) и личных качеств (ЛК) являются не осуществимыми.

Лекция – это систематическое устное изложение учебного материала, какого-либо вопроса, научной, политической темы [5]. Цель лекции для преподавателя – предоставить необходимую информацию о предмете в достаточном объеме в структурированной форме; для студента – получить такую информацию. Таким образом, речь идет о преобразовании $\text{З}^t \rightarrow \text{З}^s$. В рамках исследования лекции рассматриваются не сами по себе, а вместе с самостоятельной работой по закреплению материала, полученного во время лекции.

З^t при передаче студенту во время формализации преобразуются в И^t – информацию от преподавателя. Пусть И^s – информация, получаемая студентом во время обучения.

$$\text{И}^s = \text{И}^{st} \cup \text{И}^{sl},$$

где И^{st} – информация, получаемая студентом от преподавателя, $\text{И}^{st} \in \text{И}^t$,

И^{sl} – информация, получаемая студентом из учебной литературы и других методических источников.

Далее посредством обработки студентом происходит преобразование $\text{И}^s \rightarrow \text{З}^s$.

Как И^{st} , так и И^{sl} являются неконтролируемыми. Кроме того, неконтролируемой является и степень изначальной компетентности студента в изучаемом вопросе. Таким образом, процесс формирования компетенции во время лекции и самостоятельной работы существенно зависит от личных характеристик обучаемого. Это означает, что контроль только входной для него информации не позволит обеспечить наиболее эффективного результата. Для успешного преобразования $\text{З}^t \rightarrow \text{З}^s$ нужно учитывать способ подачи информации (функция преобразования), а также особенности личности. В соответствии с рекомендациями болонской модели образования, процесс обучения должен быть организован таким образом, чтобы обеспечить максимально эффективное взаимодействие между преподавателем и студентом. Кроме того, введем 3 характеристики информации для обучения:

α – степень формализации информации, $0 < \alpha \leq 1$,

β – степень точности определения контекста информации, $0 < \beta \leq 1$,

γ – степень доступности в любой момент времени, $0 < \gamma \leq 1$.

Видно, что α является характеристикой самой информации непосредственно, а β и γ характеризуют способ предоставления этой информации. Предполагаем, что вся информация релевантна, т.е. относится к предмету обучения. В таком случае введенные выше характеристики являются основой для оценки организации обучения или, что то же, формирования определенных компетенций обучаемого.

Следовательно, необходима такая организация процесса, при котором элементы информации, выделенные в ходе анализа процесса формирования компетенции, обладали бы наибольшими значениями введенных характеристик.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕКЦИЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Под дистанционным обучением будем понимать такую организацию обучения, при которой преподаватель и студент разделены географически. Такая ситуация возможна как при обычной технологии освоения учебной программы, так и при дистанционной технологии. В первом случае преподаватель и студент разделены географически не все время. Это может быть, например, очное обучение, во время которого преподаватель и студент встречаются только на лекции, а остальное время в процессе обучения они не находятся вместе, что подпадает под определение дистанционного обучения. Во втором случае преподаватель и студент разделены географически всегда. В данной статье рассматривается только первый из этих вариантов, поскольку второй является частным случаем первого.

Процесс организации лекционных занятий и самостоятельной работы при дистанционном обучении представлен на UML-диаграмме (рисунок 1).

На этапе самостоятельного изучения учебных материалов студенту должна быть предоставлена возможность задать вопрос преподавателю в случае возникновения неясных моментов. Соответственно, должна быть возможность и преподавателю дать ответ в случае возникновения такой ситуации. Реализовать эти требования удаленного взаимодействия можно средствами дистанционных образовательных технологий (ДОТ).

Одним из требований к такому сервису может служить возможность общения в формате «один ко многим», т.е. с одним преподавателем по одной теме общается сразу несколько студентов, причем таким образом, чтобы все вопросы и ответы были доступны всем студентам. Это позволит студенту более оперативно находить ответ на свой вопрос, а преподавателю – не объяснять одно и то же несколько раз, что экономит время. В качестве инструментов реализации могут служить дискуссионные группы, созданные на основе форумов в рамках системы электронного обучения.

Такая организация процесса обеспечивает максимальные значения характеристик α , β и γ , введенных ранее, для фрагментов информации, получаемых при использовании ДОТ. Степень формализации α текстовой информации гораздо выше, чем при восприятии на слух (при очном консультировании). Степень точности определения контекста β определяется четкой структурой форума, всегда позволяющей определить, к какому разделу или какой теме относится сообщение с фрагментом информации (будь то ответ или вопрос). Степень доступности в любой момент времени γ зависит в большей степени от надежности программного обеспечения. При нормальной работе оно предполагает круглосуточный доступ к системе, чего нельзя сказать об очном взаимодействии с преподавателем.

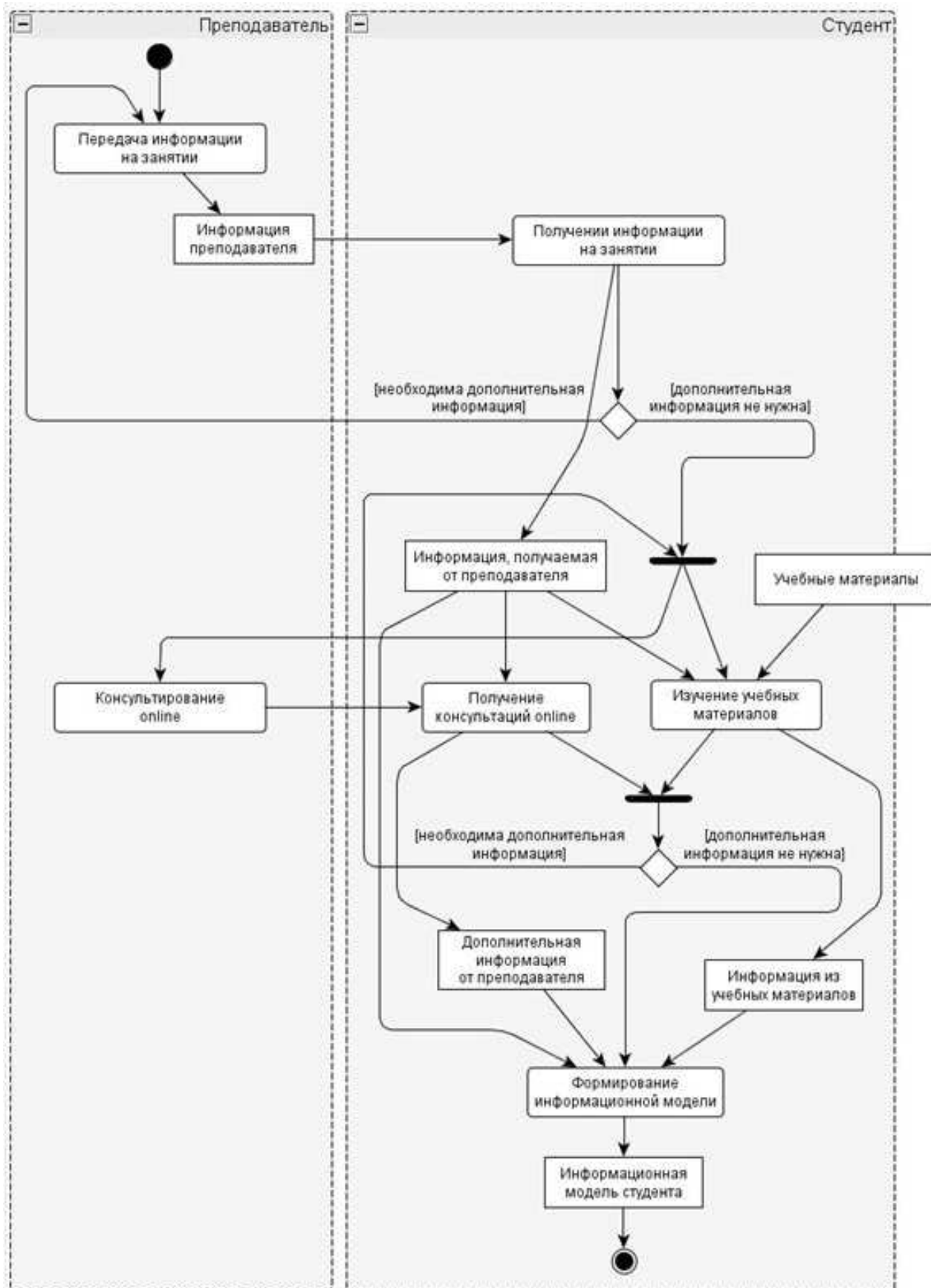


Рисунок 1 – Диаграмма процесса организации лекций и самостоятельной работы при дистанционном обучении

ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Для успешного выбора системы электронного обучения, позволяющей реализовать описанный процесс, и оценки результатов ее использования использовались рекомендации модели зрелости электронного обучения (e-Learning Maturity Model, eMM). Работы по описанию данной модели ведутся в Университете Виктории в Веллингтоне при поддержке Министерства образования Новой Зеландии [6]. Модель eMM в настоящее время не является международным стандартом, но лишь первой попыткой стандартизации процессов организации электронного обучения, однако, по нашей оценке, eMM имеет все шансы стать стандартом по умолчанию.

Для выбора системы электронного обучения мы руководствовались следующим алгоритмом.

1. Выделены ключевые характеристики систем.
2. Характеристикам заданы веса от 1 до 3.
3. На основе анализа каждой системе-аналогу по каждой их характеристик дана оценка от 0 до 10 баллов.
4. Посчитаны суммарные баллы по всем характеристикам для каждой из систем с учетом веса характеристики по формуле:

$$S_j = \sum x_i \cdot y_i, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$$

где S_j – сумма баллов j -й системы,

N – количество характеристик,

M – количество систем,

x_i – вес i -й характеристики,

y_i – количество баллов по i -й характеристике.

5. Выбрана система с наибольшим количеством набранных баллов.

При формулировании перечня характеристик систем электронного обучения и задании их весов были учтены рекомендации модели eMM и технические требования к инструментарию, выдвигаемые описанным процессом организации лекций. Рекомендации eMM существенно определяли веса характеристик. Оценивание и выбор проводился из ряда ведущих мировых систем электронного обучения на базе инструментария EduTools (<http://edutools.com>). Наибольшее количество баллов в результате такого сравнения набрала система Sakai, которая и использовалась в дальнейшем при проведении вычислительного эксперимента.

ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью эксперимента является проверка того, насколько правильным был выбор системы электронного обучения Sakai и насколько корректно реализован процесс дистанционного обучения (ДО) с ее помощью. Система Sakai на момент проведения эксперимента уже находилась на этапе промышленной эксплуатации. Использовалась система, запущенная в рамках реализации Программы снижения информационного неравенства в Республике Казахстан на 2007 – 2009 годы.

Для оценки эффективности электронного обучения был использован инструмент, предложенный авторами модели eMM, с заложенными метриками, единственно возможными в данной предметной области, и авторским вычислительным алгоритмом.

В ходе эксперимента были оценены все 5 процессов, рассматриваемых в модели eMM (обучение, разработка, поддержка, оценивание, организация) по каждой их характеристике. Каждая характеристика определяется набором практик. Качество

достижения каждой из этих практик была оценена баллом от 1 до 4. Затем на основе этих данных вычислялся итоговый балл для каждой характеристики. Данный вычислительный алгоритм заложен в используемый инструмент оценки eMM. Оценивание производилось по каждому уровню модели зрелости (предоставление, планирование, определение, управление, оптимизация).

Результаты оценивания представлены в таблице 1. Итоговые баллы 1, 2, 3 и 4, используемые в таблице, в самой модели зрелости электронного обучения обозначаются разными цветами ячеек: белым, голубым, синим и черным, соответственно, что делает результаты более наглядными.

Таблица 1 – Результаты оценки экспериментальных данных в соответствии с моделью eMM

		Предоставление	Планирование	Определение	Управление	Оптимизация
<i>Обучение: процессы, отражающие педагогические аспекты дистанционного обучения</i>						
L1	Цели обучения очевидны при проектировании курсов	1	1	1	1	1
L2	Студентам предоставляются механизмы для взаимодействия с преподавательским составом и другими студентами	4	2	2	1	1
L3	Студентам предоставляются средства по улучшению навыков для прохождения ДО	3	2	2	1	1
L4	Студентам предоставляется информация о типах и времени участия преподавателей в процессе коммуникации	2	2	2	1	1
L5	Студенты получают feedback по своей деятельности во время ДО	3	3	2	1	1
L6	Поддерживается развитие у студентов навыков исследовательской деятельности и информационной грамотности	4	2	2	1	2
L7	Планирование и проведение обучения происходит при активном участии студентов	3	2	3	1	2
L8	Оценивание студентов заложено таким образом, чтобы выстроить их компетенции	3	1	3	1	1
L9	Работа студента подчинена определенному расписанию	4	3	2	1	1
L10	Курсы спроектированы таким образом, чтобы поддержать различные стили обучения и возможности обучаемых	3	2	3	1	2
<i>Разработка: процессы, связанные с созданием и поддержкой учебных ресурсов</i>						
D1	Осуществляется поддержка преподавательского состава по проектированию и разработке учебных курсов СДО	3	2	3	1	2
D2	Планирование, разработка и проведение курсов следуют формальным процедурам и стандартам ДО	2	1	2	1	1
D3	При разработке курса определяются связи между педагогическим подходом, содержанием курса и технологиями обучения	1	1	2	1	1

D4	Курсы спроектированы с возможностью обучения студентов с ограниченными возможностями	2	2	1	1	1
D5	Все элементы физической инфраструктуры ДО надежны и обоснованы	4	3	1	1	3
D6	Все элементы физической инфраструктуры ДО интегрированы по определенным стандартам	4	1	3	1	2
D7	Создаваемые ресурсы проектируются и управляются таким образом, чтобы максимизировать их повторное использование	4	3	2	1	2
<i>Поддержка: процессы, связанные с контролем и поддержкой дистанционного обучения</i>						
S1	Студентам оказывается техническая поддержка во время ДО	4	3	3	1	1
S2	Студентам предоставляется широкий доступ к библиотечным ресурсам и сервисам	1	1	1	1	1
S3	Ведется учет и управление студенческими вопросами, пожеланиями и жалобами	4	2	1	1	1
S4	У студентов есть доступ к сервисам поддержки как по вопросам личного характера, так и по вопросам, касающимся обучения	2	2	1	1	1
S5	Преподавательский состав обеспечен педагогической поддержкой	1	1	2	1	2
S6	Преподавательский состав обеспечен технической поддержкой по электронным материалам, созданным студентами	3	4	3	1	2
<i>Оценивание: процессы, связанные с оцениванием и контролем качества дистанционного обучения в течение всего жизненного цикла</i>						
E1	Студенты могут предоставить формальную или неформальную оценку качества и эффективности своего участия в ДО	1	1	2	1	1
E2	Преподавательский состав может предоставить формальную или неформальную оценку качества и эффективности своего участия в ДО	1	1	1	1	1
E3	Регулярная независимая оценка различных аспектов ДО	1	1	1	1	1
<i>Организация: процессы организационного планирования и управления</i>						
O1	Используются формальные критерии для распределения ресурсов на проектирование, разработку, проведение курсов ДО	3	2	2	1	2
O2	Организационная политика обучения и преподавания делает стратегический упор на ДО	4	2	1	1	3
O3	Документированные спецификации и план являются основой для выбора технологий при проектировании курсов	3	3	1	1	2
O4	Документированные спецификации и план служат гарантией надежности, целостности и обоснованности сбора, хранения и поиска информации	3	3	2	1	1
O5	Осуществляется обоснование использования технологии ДО	3	2	1	1	2

О6	Студент информируется о процедурах ДО и используемых технологиях до начала занятий	4	3	1	1	1
О7	Студент информируется о педагогическом обосновании использования технологии ДО до начала занятий	2	2	1	1	1
О8	Административная информация предоставляется студенту до начала занятий	4	3	1	1	1
О9	Предоставление ДО руководствуется формальной бизнес-стратегией и управлением	3	2	1	1	1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из таблицы с результатами оценки, уровень представления, соответствующий технической функциональности, получил максимальные итоговые баллы (3 и 4). Остальные уровни, соответствующие организационным моментам работы с системой (мониторинг, планирование и т.п.), напротив, имеют низкие баллы (преимущественно 1 или 2). Таким образом, с технической стороны, система Sakai справляется с требованиями модели eMM и функциональность, необходимая для организации процесса взаимодействия преподавателя и студента во время лекционных и самостоятельных занятий, предложенных в работе, реализована на высоком уровне. Это говорит о верном выборе инструмента Sakai для организации лекций и самостоятельной работы при дистанционном обучении, ориентированном на болонскую модель образования.

Однако, как и подтвердили результаты эксперимента, для эффективной организации электронного дистанционного обучения необходим более системный подход к управлению этим процессом. Это находится в области ответственности топ-менеджмента организации, где внедряется электронное обучение. Таким образом, полученный результат верно подчеркивает особую природу области приложения (процесса организации и поддержки дистанционного обучения) – это сложная система с участием человека. Таким образом, управленческие аспекты также должны быть учтены в этом процессе.

Что касается модели eMM, то результаты эксперимента показывают, что она действительно может использоваться при организации электронного обучения и для его оценки как на начальных этапах, так и уже при запущенном процессе, позволяя определить проблемные моменты и возможные варианты их решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макет Федерального Государственного стандарта 3 поколения.
2. Болонский процесс в России - Глоссарий [Электронный ресурс]. Режим доступа http://bologna.mgimo.ru/documents.php?lang=ru&cat_id=4&doc_id=373.
3. Попов Э., Фоминых И., Харин Н. и др. Управление знаниями. Аналитический обзор. РФФИ, 2005 [Электронный ресурс]. Режим доступа www.rfbr.ru/default.asp?doc_id=20742.
4. Филиппович А.Ю. Инструкция по разработке модели компетенций УМК, 2007 [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.philippovich.ru/Projects/IST/UMK/InstructionModelCompetency.pdf>
5. Глоссарий федерального портала российского образования. [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.edu.ru/index.php?page_id=50.

6. E-Learning Maturity Model Version 2.3 (Draft) [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.utdc.vuw.ac.nz/research/emm/documents/versiontwothree/20070620ProcessDescriptions.pdf>

Рогович Валерий Иосифович

Уральский государственный технический университет – УПИ, г. Екатеринбург
Кандидат физико-математических наук, профессор кафедры Вычислительной техники
Тел. (343) 375-95-20
E-mail: valery.rogovich@gmail.com

Данилов Константин Александрович

Уральский государственный технический университет – УПИ, г. Екатеринбург
Аспирант кафедры Вычислительной техники
Тел. (343) 330-35-94
E-mail: danilov.konst@gmail.com

УДК 004.771, 004.772, 004.773.3, 004.773.5

В.Г. НЕСТЕРОВ, Е.В. НЕСТЕРОВА

**АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ
ВРАЧАМИ-ТЕРАПЕВТАМИ ПОЛИКЛИНИК**

Цель исследования – анализ использования интернета врачами-терапевтами. Проведено анонимное анкетирование 152 врачей-терапевтов поликлиник. Возврат анкет составил 81,6%. Доступ к Интернету имело около половины всех опрошенных врачей. Опыт и частота использования Интернета были меньше среднероссийских показателей. Основные цели использования Интернета респондентами – общение, поиск непрофессиональной информации (новости и т.д.), поиск музыки и фильмов. Только четверть врачей использовали Интернет с профессиональными целями. Чаще это были врачи, владеющие английским языком. Основные ограничения использования Интернета – технические проблемы, отсутствие навыков поиска информации, слабое развитие отечественных информационных медицинских ресурсов, малая компьютерная грамотность врачей. Таким образом, требуются как обучение врачей основам использования информационных технологий, так и развитие «медицинского сектора» Рунета.

Ключевые слова: интернет; информационное общество; информация.

The aim of this study was to assess the Internet usage by the therapists. A questionnaire survey of 152 physicians was provided. Response rate was 81,6%. About half of all physicians had internet access. Physicians' experience and frequency of internet use were lower than Russian mean value. They used internet generally for communication, searching for non-medical information (e.g. news), music and films. Only one quarter of doctors used internet for medical purposes. There were more physicians who know English language in this group. The main internet barriers were technical problems, navigation/searching difficulties, weak development of Russian internet resources, low level of computer skills among doctors. Thus, we can see low physicians' involvement into «information society». It requires informational technology training for physicians and progressive development of «medical sector» internet in Russia.

Keywords: internet; information society; information.

Одной из основных сфер использования Интернета в мире является здравоохранение. Более половины пользователей Интернета США используют его для получения информации о здоровье и здравоохранении [3]. Использование Интернета в медицине значительно помогает улучшить качество лечения, проведение медицинских исследований [5]. При этом следует отметить, что не всегда обращение к Интернету способствует улучшению здоровья [3].

В России 3,3% пользователей Интернета работают в сфере здравоохранения [2]. Данных об использовании Интернета в качестве источника информации о здоровье российскими пользователями в доступной нам литературе найдено не было. Однако в нашей стране наблюдается заметный рост числа пользователей Интернета. По данным Российского Интернет форума годовая аудитория пользователей к концу 2007 года превысила 25% совершеннолетнего населения страны. А Черешкин Д.С. и Смолян Г.Л. прогнозируют рост численности пользователей Интернета к 2010 году до 50% численности населения [9].

Еще в 2007 году Советом Безопасности РФ был одобрен проект «Стратегии развития информационного общества», подготовленный с участием представителей аппарата Совета Безопасности Российской Федерации, Мининформсвязи России, Росинформтехнологий и других заинтересованных федеральных органов исполнительной власти при поддержке РИО-Центра и ИРИО. В нем среди основных направлений развития Рунета фигурирует внедрение Интернет-технологий в медицину [9]. Казалось бы, внедрение новых информационных технологий (ИТ) в систему здравоохранения, расширения круга их конечных пользователей должно сопровождаться изучением тенденций использования ИТ среди медицинского персонала. Так, за рубежом активно ведутся исследования, посвященные использованию врачами ИТ вообще и Интернета в частности [7]. В России исследований, изучающих применение Интернета в медицине, вовлеченность врачей в «глобальную сеть», ограничения использования Интернета медицинским персоналом, гораздо меньше. И они, как правило, проведены на базе ЛПУ г. Москвы и Московской области [8].

Целью данного исследования стал анализ использования Интернета врачами-терапевтами амбулаторных ЛПУ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе 14 поликлиник Белгорода, Курска и Воронежа. Путем заочного индивидуального анкетирования опрошено 124 врача-терапевта. Доля ответивших составила 0,82% от 152 потенциальных респондентов. Анкета состояла из 42 вопросов, которые были сформулированы на основании нормативных и инструктивных материалов, результатов социологических исследований, статистических данных, собственных данных, полученных в результате плотных опросов и интервьюирования.

Анализ первичных данных проводился в Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возраст респондентов варьировал от 29 до 64 лет, средний возраст составил $40,78 \pm 3,19$ года. Распределение опрошенных по возрасту было следующим: до 30 лет – 15,4%, от 31 года до 35 лет – 23,1%, от 36 до 40 лет – 26,3%, от 41 года до 55 лет – 22,1%, от 56 лет и старше – 13,1% врачей; Большинство респондентов были женщинами (69,4%).

Следует отметить высокий профессиональный уровень респондентов. Стаж работы респондентов был разный, в том числе до 5 лет – у 11,5%, от 6 до 10 лет – у 12,6%, от 11 до 20 лет – у 37,6%, от 21 года до 30 лет – у 25,1%, от 30 лет и старше – у 13,2%. Большинство имели квалификационную категорию (92,5%), в том числе вторую – 4,4%, первую – 41,5%, высшую – 46,6% врачей, 8,6% респондентов имели ученую степень кандидата медицинских наук, 5,9% работали над диссертацией.

Опрос показал, что 4% респондентов закончили курсы повышения квалификации менее года назад, у 25,1% срок составил до 2 лет, у 22,7% – до 4 лет, у 28,3% – 4-5 лет, у 19,9% более 5 лет, в том числе у 1 – более 10 лет. Практически все занимались повышением своего профессионального уровня путем чтения монографий и статей по специальности (95,1%), посещения научного общества и общения с коллегами (44,9%), участия в конференциях и съездах (9,1%). За последние 6 месяцев 1 монографию прочитали 21,3% врачей, от 2 до 3 монографий – 54,3%, остальные затруднились ответить. Одну статью прочитали 4,6% респондента, от 2 до 5 статей – 26,7%, от 6 до 10 статей – 16,8%, 5,4 % прочитали более 10 статей. 46,5% затруднились ответить на этот вопрос.

Основным местом доступа к ИТ для респондентов был домашний компьютер (37,8%), только 16,2% использовали для этого компьютер на работе. Хотя большинство (87,5%) тех, кто пользуется домашним компьютером, сообщили, что одновременно не упускают возможности воспользоваться компьютером на работе. Причем, чем более активен пользователь дома, тем чаще он пользуется компьютером в рабочее время, и наоборот. Статистически значимых различий в результатах опроса респондентов разных городов мы не выявили. При этом следует отметить, что 76,9% московских врачей имеют компьютер дома и 62,5% врачей имеют домашний доступ к Интернету [8].

Свои знания компьютера как средние и выше среднего оценивало 86,6% респондентов. Большинство (96,6%) канадских коллег оценивают свои знания компьютера как выше среднего и отличные [7]. Такое различие может быть вызвано многими факторами. Например, 86,4% канадских респондентов использовали компьютер в клинической практике, против 12,9% в исследуемой нами выборке и 17,3% по данным московских клиник [8]. В том числе, следует отметить разные методы опроса. Опрос в исследовании Somal et al. [7] проводился посредством электронной почты, где доля ответивших составила 59%. Возможно, именно это стало причиной составления выборки из лиц, регулярно пользующихся Интернетом и проводящих за компьютером достаточно много времени.

Доступ в Интернет имело 82,9% опрошенных пользователей компьютера. Из них 54,9% пользовались Интернетом 7-6 раз в неделю, что ниже среднероссийских показателей [2] на 14,4%. Как правило, доступ осуществлялся из дома (88,2%) посредством выделенной линии (78,3%). На рабочем месте доступ в Интернет имели 17,6% врачей, преимущественно через аналоговый модем (80,0%), следовательно, имея значительные ограничения скорости и качества доступа. Кроме того, 6,7% подключались к Интернету через GPRS и EDGE модемы. Близкая ситуация наблюдалась в амбулаторных ЛПУ г. Москвы в 2005-2006 годах. Всего Интернетом пользуются 43,3% врачей в Москве, причем из них активно используют Интернет 34,6%. Подключение к Интернету на работе имели 15,4% врачей, которое в 50% случаев реализовывалось через аналоговый модем [8].

Большинство (41,2%) респондентов использовало Интернет более 4-х лет, 10,3% – в течение последних 3-4 лет, 36,8% – менее 3х лет. Остальные затруднились дать ответ. Найдена слабая отрицательная корреляционная зависимость между возрастом и опытом пользования Интернетом ($r = -0,43, p < 0,05$). Стоит отметить, что российская Интернет аудитория в целом состоит из более опытных пользователей – 62,2% использует Интернет более 4-х лет, 15,7% – 3-4 года [2].

Отмечены статистически значимые гендерные различия в использовании Интернета. Так доля мужчин среди пользователей Интернета была выше, чем женщин (95,8% vs 74,1%, $\chi^2 = 5,09, p < 0,05$). Интересно, что подобных различий в отношении использования компьютера вообще ни нами, ни другими исследователями [9] отмечено не было.

В основном Интернет использовался респондентами для общения (86,9%), посещения новостных сайтов (69,2%), поиска фильмов (60,3%), музыки (57,4%). Довольно часто (39,7%) описание целей использования Интернета можно было охарактеризовать как web-серфинг без конкретной цели. Отмечено, что мужчины чаще (86% против 60,5%, $\chi^2 = 4,58, p < 0,05$) используют Интернет для развлечения и поиска «непрофессиональной» информации (посещение новостных сайтов и др.), а женщины для общения (72,7% против 93,5%, $\chi^2 = 5,58, p < 0,05$), что совпадает с результатами исследований многих зарубежных авторов.

Лишь 23,5% использовали Интернет для поиска «профессиональной» информации, знакомства с материалами медицинских конференций, участия в работе форумов. Западные коллеги при использовании Интернета преследуют профессиональные цели гораздо чаще. Так, более 50% из них посещают сайты своих профессиональных ассоциаций, осуществляют в сети поиск различной медицинской информации [7].

Интересно, что несмотря на то, что основную аудиторию пользователей Интернета составили лица до 40 лет (83,8%), доля использующих Интернет в профессиональных целях была выше среди врачей старше 40 лет (63,6% против 19,6% $\chi^2 = 7,6, p < 0,01$).

Факт более частого использования Интернета в профессиональных целях врачами старшей группы, по нашему мнению, не свидетельствует о большей эффективности использования Интернета. Более редкое использование старшими коллегами Интернета и меньший опыт наводят на мысль о том, что применение Интернета ими является по сути вынужденным, и обусловленным некой профессиональной необходимостью.

Общение через Интернет осуществлялось, как правило, посредством электронной почты (66,3%). Клиентами мгновенных сообщений (ICQ, Jabber, IRC, Mail-агент и др.) пользовались 42,1% пользователей Интернета. 2,9% респондентов использовали Интернет для контакта с пациентами.

Для связи с пациентами, а также в качестве источника информации для больных, Интернет использует незначительное количество врачей. Незрелость этого сектора Рунета очевидна, хотя данные нескольких западных исследований доказывают несомненную полезность такого применения [6]. Важно учитывать то обстоятельство, что доля пациентов, пользующихся Интернетом, довольно высока, а дать правильную оценку достоверности медицинской информации человеку без соответствующего образования довольно сложно. Иногда это ведет к печальным последствиям [3], которые можно было бы избежать, если бы информационный ресурс выбирался по рекомендации врача.

Среди задач исследования одной из наиболее важных мы считали определение отношения врачей к применению Интернета в качестве источника информации в их профессиональной деятельности.

Как уже отмечалось, регулярно для поиска информации, касающейся профессиональной деятельности, Интернет использует довольно малая доля врачей. При этом около 67,6% врачей искали медицинскую информацию в Интернете хотя бы раз за прошедший год. Никто из этой группы врачей не счел цифровые источники информации более удобными, чем печатные издания, в то время как другие врачи в 93,8% случаев отдавали предпочтение цифровым источникам информации.

Важно отметить, что среди респондентов, у которых источником различных медицинских данных является Интернет, больше владеющих английским языком, чем среди читающих исключительно печатные издания (93,8% против 17,3% $\chi^2 = 12,06, p < 0,001$).

Все опрошенные сообщили, что сталкивались с какими-либо проблемами при поиске нужной им информации.

Технические проблемы (медленная скорость доступа в Интернет и т.д.) испытывали 11,8% пользователей. Интересно, что несмотря на более высокую скорость доступа в Интернет, в Англии на медленную скорость доступа жаловалось около трети врачей [1]. Парадокс может быть связан с тем, что английские врачи, возможно, посещают более качественные Интернет-ресурсы с большим количеством мультимедийного содержимого. Российские врачи, скорей всего, их посещают реже, т.к. ресурсы Рунета, как правило, оптимизированы для низкой скорости доступа, а количество врачей, владеющих английским языком, невелико.

Данные, не несущие полезной информации, многократно увеличивающие временные и прочие издержки пользователя на извлечение и обработку полезной информации, мешали работе в Интернете 86,5% респондентов. Проблема «информационного мусора» является актуальной и за рубежом [1]. Вероятно, большее значение она имеет в отношении пациентов, но вместе с тем значительно ограничивает доступность необходимых данных и для врача.

42,1% респондентов столкнулись с проблемой большого количества релевантной информации, которую сложно обработать и классифицировать. Среди врачей, которые столкнулись именно с этой проблемой, было подавляющее большинство (86,6%) пользователей, опыт использования Интернета которых превышал 4 года, при этом количество владеющих английским языком составило 93,2%. Любопытно, что в этой же группе 93,2% отметили невозможность доступа к цифровым версиям статей и некоторым базам данных (MD Consult, Science Direct и др.) из-за слишком высокой стоимости доступа. Среди остальных врачей доля столкнувшихся с этой проблемой составила 8% ($p < 0,05$). Конечно, это говорит не об относительной неплатежеспособности врачей владеющих английским языком и имеющих доступ в Интернет более 5 лет. Скорей всего, приобретение навыков поиска медицинской информации в Интернете и рост медицинского сегмента Рунета увеличит долю испытывающих проблему большого объема информации. В пользу этого предположения свидетельствует исследование Bennett et al. [1]. Так, по его результатам получению нужной информации в 58,6% случаев врачам общей практики мешало слишком большое количество данных, а в 61,3% – трудности навигации по ним. Исследуемая выборка состояла из опытных пользователей Интернета, 61,5% из которых занимался поиском литературы, а 57,6% имели доступ к базам медицинских журналов.

Конечно, в настоящий момент более актуальным для развития Рунета является вопрос малого количества русскоязычной литературы в Интернете. Ее испытывает 84,3% респондентов. Однако оцифровка изданий русскоязычных журналов несомненно должна происходить вместе с разработкой поисковых систем, иначе попытки врачей «найти несуществующее» перерастут в попытки «объять необъятное».

Нередко трудности возникали из-за низкого уровня компьютерной грамотности. Например, у 24,2% респондентов возникала проблема невозможности просмотра найденного файла из-за неизвестного расширения (pdf, pdb, djvu и т.д.).

Помимо всего прочего, нельзя не отметить несовершенства собственно Интернета, в особенности его русскоязычного сектора. Наличие «битых», недостоверных ссылок, большого количества рекламы мешало 52,2% пользователей.

Таким образом, у многих врачей нет постоянного доступа в Интернет. Использование Интернета в профессиональных целях среди врачей также ограничено. Сравнение как доступности, так и опыта, частоты, целей использования Интернета врачами со всей аудиторией Рунета показывает «отсталость» современных врачей от своих пациентов в плане освоения информационных технологий. Сопоставление результатов проведенного исследования с международным опытом использования Интернета медицинскими работниками демонстрирует явную недостаточность развития медицинского сегмента ИТ в исследуемых регионах. Доказанная многими западными исследователями эффективность использования Интернет-технологий в медицине диктует необходимость как обучения врачей современным информационным технологиям, так и развития «медицинского сектора» Рунета.

ВЫВОДЫ

Вовлеченность врачей первичного звена здравоохранения в «информационное общество» довольно низкая, что требует как обучения врачей основам использования информационных технологий, так и развития «медицинского сектора» Рунета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bennett Nancy L. Family physicians' information seeking behaviors: A survey comparison with other specialties [Text] / Nancy L Bennett [et al.] // BMC Med Inform Decis Mak.- 2005.- Vol. 5.- P. 9. Bennett
2. OnLineMonitor [Электронный ресурс]. Результаты Онлайн монитора. Осень2008.- Режим доступа: <http://www.onlinemonitor.ru/results-monitoring/rezultaty/>
3. Pho K. Wikipedia isn't really the patient's friend [Electronic resource] : USA Today, Retrieved August 3, 2009, from Academic Search Premier database.- Режим доступа: <http://blogs.usatoday.com/oped/2009/07/wikipedia-isnt-really-the-patients-friend.html>
4. Sherman R.C. The internet gender gap among college students: forgotten but not gone? [Text] / R.C. Sherman [et al.] // CyberPsychology Behavior.- 2000.- Vol. 3.- P. 885–894.
5. Sinkowitz-Cochran Ronda L The Internet: A practical example of the use of new technology in the assessment of vancomycin use in pediatrics [Text] / Ronda L. Sinkowitz-Cochran [et al.] // American Journal of Infection Control.- 2000.- Vol. 28.- № 6.- P. 459-464.
6. Solves Mira JJ. Uso de internet por médicos de primaria y hospitales y percepción de cómo influye en su relación con los pacientes. Internet use by primary care and hospital doctors: Perception of how it influences their relationships with patients. Atencion Primaria [Text] / Mira Solves JJ. [et al.] // Sociedad Española De Medicina De Familia Y Comunitaria.- 2009.- Vol. 41, no. 6.- P.308-314.
7. Somal K. Computer and internet use by ophthalmologists and trainees in an academic centre [Text] / K Somal, W.C. Lam, E. Tam // Can J Ophthalmol.- 2009.- Jun;44(3).- P.265-268.
8. Илюшин Г.Я., Шапошник С.Б. Использование информационно-коммуникационных технологий в медицине / Г.Я. Илюшин, С.Б. Шапошник // Информационное общество. – 2006. – Вып. 2-3. – С. 76-91.
9. Черешкин Д.С., Смолян Г.Л. Нелегкая судьба российской информатизации [Текст] / Д.С. Черешкин, Г.Л. Смолян // Информационное общество. – 2008. – Вып. 1-2. – С. 47-71.

Нестеров Валерий Георгиевич

Белгородский государственный университет, г. Белгород

Медицинский факультет

Кандидат медицинских наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин

308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Тел.: (4722) 30-13-83

E-mail: valnest@inbox.ru

Нестерова Елена Викторовна

Белгородский государственный университет, г. Белгород

Факультет компьютерных наук и телекоммуникаций

Ассистент кафедры прикладной информатики

308015, Белгород, ул. Победы, 85

Тел.: (4722) 30-13-56

E-mail: nesterova@bsu.edu.ru

УДК 519.86

Ю.С. ПИНЬКОВЕЦКАЯ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ
В СФЕРЕ МАЛОГО БИЗНЕСА
В РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

В статье рассматривается математическая модель, отражающая объемы производства малого бизнеса в регионах Российской Федерации. Построенная двухфакторная производственная функция хорошо аппроксимирует исходные данные, описывающие влияние затрат на заработную плату работников и инвестиций в основной капитал на оборот малых предприятий. Приведены разработанные на основе исследований функции изоквант и траектории расширения производства. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования управления малым бизнесом.

Ключевые слова: математическое моделирование; производственная функция; малый бизнес; заработная плата; инвестиции.

The article discusses the mathematical model, describing the volumes of small business production in the regions of the Russian Federation. Construction of the two-factor production function well approximates the original data, describing the impact of the cost of workers wage and investment in the basic capital on the turnover of small enterprises. Functions of isoquant and trajectory of production expansion based on the research are given. The obtained results can be used to improve the management of small business.

Keywords: mathematical modeling; production function; small business; wage; investment.

ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее развитие малого бизнеса, о котором много говорится в программах развития государства, требует тщательного анализа основных характеристик малых предприятий. Именно на такой основе возможна подготовка научно обоснованных рекомендаций по развитию их государственной поддержки и улучшению всех аспектов деятельности: правовой, экономической, финансовой, организационной. В условиях выхода из кризиса малые предприятия могут стать точками роста, обеспечить структурные изменения в стране. На их основе возможно реализовать универсальный подход к улучшению таких важных аспектов социально-экономического развития, как создание новых рабочих мест, замещение импортных товаров, увеличение налоговой базы, совершенствование управления бизнесом.

Одним из наиболее важных показателей характеризующих уровень управления малым бизнесом в Российской Федерации, является объем производства или оборот малых предприятий. В экономической теории для описания объемов производства широко используются производственные функции. Производственная функция является математической моделью процесса производства продукции в данной экономической системе и выражает устойчивую закономерную количественную зависимость между объемными показателями ресурсов и оборота. Производственные функции лежат в основе моделирования деятельности самых разнообразных производственных структур и систем от отдельных предприятий и организаций до регионов, отраслей и экономики страны в целом [1, 2].

Актуальность построения производственных функций для малого бизнеса обусловлена необходимостью формирования информационной базы о предполагаемой динамике изменения объемов производства, а также факторах, оказывающих наиболее существенное влияние на формирование оборота малых предприятий. Именно производственные функции позволяют обеспечить управление малым бизнесом в регионах на основе оптимальных соотношений величин инвестиций в основной капитал и затрат трудовых ресурсов.

ПОСТРОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ

К настоящему времени за рубежом и в нашей стране накоплен большой опыт построения производственных функций для различных объектов [3].

Классический метод построения производственной функции по статистическим данным основывается на выборе двухфакторной производственной функции с использованием таких факторов, как труд и капитал [4]. Такой подход применим, по мнению автора, и для малых предприятий.

Проведенный анализ показал, что производственные функции могут быть построены для предприятий малого бизнеса отдельных регионов Российской Федерации (областей и республик). В субъектах Российской Федерации присутствуют малые предприятия различных отраслей, внутри регионов находятся их рынки сбыта, малый бизнес, как правило, имеет замкнутый цикл внутри соответствующего региона, вопросы оказания поддержки развитию малого бизнеса решаются в основном на уровне регионов. Наиболее приемлемыми факторами, определяющими оборот малых предприятий, являются затраты на заработную плату всех работников, занятых на малых предприятиях (как характеристика затрат труда) и инвестиции в основной капитал малых предприятий.

В процессе исследований автором проведен анализ статистических данных, характеризующих значения оборота малых предприятий, инвестиций в основной капитал и затрат на заработную плату по малым предприятиям. В качестве исходных данных использовалась информация, представленная в сборниках Федеральной службы государственной статистики [5, 6].

В процессе математического моделирования рассматривались различные виды производственных функций (линейная, степенная, логарифмическая, экспоненциальная) и производился анализ их качества по принятым критериям. Построение производственных функций проводилось с использованием пакетов прикладных программ «Microsoft Excel», «Mathcad» и «Mathematica».

Итоги расчетов показали, что лучше всего аппроксимируют исходные данные линейная и степенная производственные функции. Вместе с тем линейная функция не всегда применима для регионов с небольшим оборотом малых предприятий. Кроме того, в линейной функции величина стандартной ошибки намного больше аналогичного показателя степенной функции.

Поэтому, по мнению автора, наиболее приемлема следующая производственная функция:

$$y(x_1, x_2) = 7,766 \times x_1^{0,139} \times x_2^{0,930}, \quad (1)$$

где y – оборот малых предприятий по региону за год, млрд. руб.;

x_1 – инвестиции в основной капитал малых предприятий за год, млрд. руб.;

x_2 – затраты на заработную плату работников малых предприятий по региону за год, млрд.руб.

Проверка качества полученной модели, проведенная на основе регрессионного анализа, показала, что полученная зависимость (1) является тесной и значения коэффициентов детерминации $R^2 = 0,925$ и корреляции $r = 0,962$ близки к единице. Дисперсионный анализ подтвердил, что уравнение значимо, поскольку табличное значение критерия Фишера-Снедекора ($F_{\text{табл}} = 3,15$) значительно меньше значения, рассчитанного для полученной функции ($F_{\text{набл}} = 1172,41$).

Таким образом, в процессе исследования было доказано наличие зависимости между объемами производства малых предприятий региона и таким факторами, как инвестиции в основной капитал и затраты на заработную плату всех работников малых предприятий по региону за год. Полученная производственная функция (1) в полной мере аппроксимирует исходные данные на всем диапазоне их изменений.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ОСНОВАННЫЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ

На основе полученной производственной функции (1) были построены изокванты, отражающие зависимость между факторами, входящими в производственную функцию при постоянном значении самой функции. Общее уравнение изокванты (x_2^i) с учетом принятых выше условных обозначений имеет вид:

$$x_2^i = \frac{y^{1,075}}{9,062 \times x_1^{0,149}} \quad (2)$$

Для построения таких изоквант была произведена группировка регионов Российской Федерации в зависимости от значений оборота малых предприятий в конкретных регионах. Таким образом, были выделены шесть групп регионов. На основе средних значений оборота малых предприятий для каждой из полученных групп, по формуле (2), были построены изокванты.

К каждой из изоквант была построена изокоста, представляющая собой касательную к изокванте, в точке, соответствующей минимуму суммы затрат на заработную плату и инвестиций.

В таблице 1 для шести групп регионов приведены средние значения оборота малых предприятий, уравнения изоквант (x_2^i) и изокост (x_2^k) в зависимости от инвестиций в основной капитал (x_1). Причем индексы от 1 до 6 при i и k соответствуют каждой из шести групп регионов.

Уравнение прямой (3), соединяющей точки касания полученных изоквант и изокост, определяет траекторию расширения оборота малых предприятий:

$$x_2^t(x_1) = 6,7098 \times x_1 + 0,0041, \quad (3)$$

Угловой коэффициент изокосты равен предельной норме замещения и характеризует возможность замены затрат на заработную плату работников инвестициями в основной капитал при сохранении оборота малого бизнеса в регионе. Расчеты показали, что коэффициент предельной нормы замещения для полученной производственной функции приблизительно равен единице. То есть, при фиксированном значении оборота рост инвестиций способен обеспечить пропорциональное снижение расходов на заработную плату, и наоборот, рост расходов на заработную плату пропорционален снижению инвестиций в основной капитал малых предприятий.

Поэтому для регионов с недостатком трудовых ресурсов представляется целесообразным преимущественное увеличение инвестиций, а для регионов с избытком трудовых ресурсов более приемлем экстенсивный путь развития малого бизнеса на основе увеличения численности занятых в нем работников.

Полученные зависимости позволили обосновать оптимальные соотношения инвестиций в основной капитал и затрат на заработную плату работников, соответствующие среднему обороту малых предприятий по шести выше указанным группам регионов. Итоги расчетов приведены в таблице 2.

Полученные результаты подтверждают тезис о том, что наращивание инвестиций и трудовых ресурсов требуют гармоничного сочетания этих двух факторов, поскольку инвестиции связаны с ростом затрат на заработную плату. В свою очередь, увеличение численности работников требует новых производственных фондов, оборудования, помещений, что связано с необходимостью инвестиций.

Таблица 1 – Уравнения изоквант и изокост для шести групп регионов

Группа регионов	Среднее значение оборота малых предприятий, млрд. руб.	Уравнение изокванты	Уравнение изокосты
1	4,267	$x_2^{i1}(x_1) = \frac{0,525}{x_1^{0,149}}$	$x_2^{kl}(x_1) = 0,839 - 0,996 \times x_1$
2	22,184	$x_2^{i2}(x_1) = \frac{3,092}{x_1^{0,149}}$	$x_2^{k2}(x_1) = 3,928 - 0,999 \times x_2$
3	44,667	$x_2^{i3}(x_1) = \frac{6,562}{x_1^{0,149}}$	$x_2^{k3}(x_1) = 7,562 - 0,9998 \times x_1$
4	79,168	$x_2^{i4}(x_1) = \frac{12,141}{x_1^{0,149}}$	$x_2^{k4}(x_1) = 12,918 - 1,0001 \times x_1$
5	177,533	$x_2^{i5}(x_1) = \frac{28,932}{x_1^{0,149}}$	$x_2^{k5}(x_1) = 27,505 - 0,99996 \times x_1$
6	483,426	$x_2^{i6}(x_1) = \frac{84,952}{x_1^{0,149}}$	$x_2^{k6}(x_1) = 70,233 - 0,99997 \times x_1$

Таблица 2 – Оптимальные затраты и оборот сферы малого бизнеса

Группа регионов	Средние значения по группам регионов в год, млрд.руб.		
	инвестиции в основной капитал	затраты на заработную плату	оборот малых предприятий
1	0,109	0,73	4,267
2	0,51	3,418	22,184
3	0,981	6,58	44,667
4	1,657	11,243	79,168
5	3,567	23,938	177,533
6	9,108	61,125	483,426

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье рассмотрена актуальная на сегодняшний день проблема построения производственной функции, отображающей деятельность малых предприятий на региональном уровне. Разработанная модель необходима для решения таких важных для управления на региональном уровне задач, как сравнительный анализ показателей, достигнутых малым бизнесом в отдельных регионах, оценки различных вариантов дальнейшего развития этого сектора экономики, разработки перспективных планов роста оборота малых предприятий и определения факторов, оказывающих наибольшее влияние на объемы производства.

Показано наличие устойчивой связи между оборотом малых предприятий в регионах и двумя факторами – затратами на заработную плату работников и инвестициями в основной капитал малых предприятий, построены соответствующие математические модели: степенная производственная функция, уравнения изоквант, изокост и траектории расширения.

Анализ полученных результатов позволяет сделать ряд важных для управления малым бизнесом в регионах выводов, в частности:

- возможен существенный рост объемов производства, так как производственная функция непрерывна, постоянно возрастает и не имеет максимума на всем рассматриваемом диапазоне значений;
- имеет место возрастающая отдача от масштаба, поскольку сумма значений степеней переменных в производственной функции больше единицы;
- эффективность вложения инвестиций и повышения затрат на заработную плату достаточна высока, каждый рубль расходов обеспечивает увеличение оборота на 5-6 рублей;
- наилучшее соотношение факторов достигается при синхронном их увеличении, то есть, когда увеличение происходит на одинаковое число процентов.

Наращивание инвестиций в основной капитал и затрат на заработную плату работников малых предприятий требует гармоничного сочетания этих двух факторов, поскольку инвестиции не всегда носят инновационный характер, а зачастую связаны с увеличением количества работающих. В свою очередь, увеличение численности работников зачастую требует увеличения производственных фондов, оборудования, помещений, что связано с необходимостью дополнительных инвестиций.

Представленная математическая модель позволяет сделать вывод о возможности существенного увеличения объемов производства малого бизнеса при достаточно ограниченных инвестициях и росте затрат на заработную плату за счет эффекта масштаба во всех регионах Российской Федерации. Это должно позволить обеспечить совершенствование структуры управления регионами, особенно важное в условиях выхода из кризиса, обеспечение занятости населения, повышения эффективности сектора малого бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов В.А., Цухло С.В. Проблемы построения производственных функций в российской переходной экономике // Анализ динамики российской переходной экономики. М.: Институт экономики переходного периода, 2002. – С. 5–89.
2. Вэриан Х.Р. Микроэкономика. Промежуточный уровень. Современный подход. М.: ЮНИТИ, 1997. – 767 с.

3. Клейнер Г.Б. Производственные функции: Теория, методы, применение. М.: Финансы и статистика, 1986. – 239 с.
4. Пиндайк Р.С., Рубинфельд Д.Л. Микроэкономика. М.: ДЕЛО, 2001. – 808 с.
5. Малое предпринимательство в России. 2008: Статистический сборник. М.: Росстат, 2008. 164 с.
6. Российский статистический ежегодник. 2008: Статистический сборник. М.: Росстат, 2008. – 847 с.

Пиньковецкая Юлия Семеновна

Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск

Ассистент кафедры «Экономико-математические методы и информационные технологии», аспирант

432071, г. Ульяновск, ул. К. Маркса, 26-15

Тел.: (8905) 3490394

E-mail: judy54@yandex.ru

УДК 004.738.5

А.В. СВЕТКИН, Е.А. СЕНДЗЮК

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК И ОСОБЕННОСТЕЙ БИЛЛИНГОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Предлагается классификация биллинговых систем (БС), применимых для веб-приложений. Ставятся общие задачи и цели внедрения БС, а также типовые архитектуры интеграции БС и системы управления сайтов. Обосновывается выбор типа БС в зависимости от функций, выполняемых сайтом.

Ключевые слова: системы управления сайтами; электронные платежные системы; биллинговые системы.

New web application based billing system classification is proposed. General BS introduction tasks and goals are stated, as well as basic site integration schemes. Selecting an preferable type of BS for specific sorts of sites is founded.

Keywords: content management systems; e-commerce; billing systems.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с развитием электронной коммерции актуальным становится вопрос об интеграции автоматизированных систем расчетов денежных средств (или биллинговых систем) в системы управления веб-сайтами [1].

Биллинговая система (БС) — автоматизированный программный комплекс, осуществляющий учет объема потребляемых пользователями услуг, расчет и списание денежных средств в соответствии с тарифами, ввод и вывод денежных средств [2].

К БС предъявляются различные требования, такие, как программная совместимость (в связи с применением большого количества электронных платежных систем), защита персональных данных, оперативность проведения платежных операций и др.

Разнообразие видов веб-приложений — интернет-магазины, партнерские программы, многопользовательские онлайн-игры и пр. — приводит к существованию большого количества подходов к реализации БС, зависящих от поставленных задач. Приведем классификацию БС на основе их функциональных признаков, а также рассмотрим способы интеграции и схемы типовых архитектур.

ЗАДАЧИ БС И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Выделим следующий перечень задач, которые должна решать типовая БС:

- пополнение счетов пользователей;
- перемещение денежных средств в системе, списание средств со счетов пользователей в соответствии с действующей тарифной сеткой;
- предоставление актуальной информации о состоянии счетов пользователей;
- учет платежных операций, предоставление статистической информации по ним.

К БС выдвигаются следующие требования:

- проведение платежных операций в режиме, как можно более приближенном к реальному времени;
- безопасное хранение и обработка данных о счетах пользователей;
- интеграция с распространенными системами электронных платежей для ввода и (или) вывода денежных средств.

Принципиальная схема перемещения денежных средств в БС представлена на рисунке 1.

Пользователи переводят деньги со своих счетов вне системы (банковские счета, счета ЭПС и т.д.) на свои внутренние счета в БС. Среди счетов выделяется системный счет. Возможны следующие направления перемещений средств:

- с внешнего счета на внутренний счет — ввод средств в систему;
- с внутреннего счета на внешний счет — вывод средств из системы;
- с внутреннего счета пользователя на внутренний счет системы — покупка пользователями товаров или услуг, выполнение иных тарифицированных операций;
- между внутренними счетами пользователями — межпользовательская торговля, обмен;
- с внутреннего счета системы на счет пользователя — заработок пользователя или поощрения.

Реальные денежные средства при вводе в систему поступают на внешний счет системы и соответствующая сумма виртуальных (внутрисистемных) средств зачисляется на внутренний счет пользователя. При выводе пользователем средств на свой внешний счет необходимая сумма переводится с внешнего счета системы.

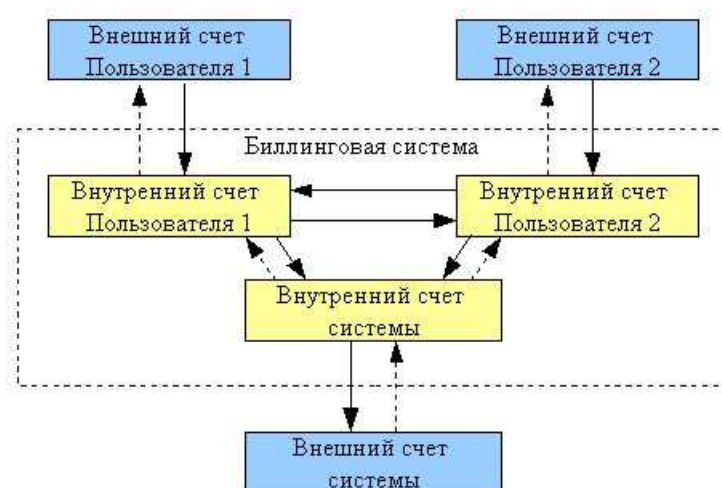


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства БС

КЛАССИФИКАЦИЯ

Проведем классификацию БС на основе нескольких признаков, отвечающих за функциональность системы.

По возможности вывода денежных средств

В зависимости от возможности пользователя выводить деньги из системы на свой реальный счет, выделим следующие классы БС:

1. Без возможности вывода. Введенные в систему денежные средства не могут быть выведены из системы штатными средствами, а могут быть только использованы внутри системы. Подобные БС применяются в интернет-магазинах, сайтах с оплатой за получение доступа к содержимому, некоторых онлайн-играх и др.

2. С возможностью вывода. Денежные средства могут быть выведены из системы в другие платежные системы штатным образом. Подобные БС применяются в областях, где пользователь имеет возможность получить прибыль от использования системы: рекламные кампании (прибыль от показов рекламы), онлайн-игры (получение выигрыша) и т.д.

Обратим внимание, что здесь речь идет о штатных возможностях системы по выводу средств. Пользователь может потребовать возврата введенных денежных средства в случаях, оговоренных законодательством, но это нельзя считать штатным выводом средств.

По обеспечению денежных средств

При возможности вывода денежных средств возникает понятие об обеспеченности виртуальных денежных средств реальными денежными средствами на системном счету. По признаку обеспеченности выделим два класса БС:

1. Обеспеченные реальными денежными средствами. Любая эмиссия внутренних денежных средств сопровождается вводом эквивалентной суммы реальных средств на расчетный счет;
2. Необеспеченные реальными денежными средствами. В системе может быть эмитирована любая сумма виртуальных средств. Это могут быть различные бонусы, премии, поощрения для пользователей и т.п. Системы с необеспеченными средствами предполагают существование особых финансовых механизмов контроля для избежания ситуаций, когда пользователи попробуют вывести со своих внутренних счетов больше средств, чем находится на реальном счете системы.

По направлению движения денежных средств

Выделим следующие классы БС на основе разрешенных направлений движений денежных средств:

1. «однопользовательские». Такие БС рассчитаны только на переводы средств между счетами пользователя и системы. Такие БС широко используются в интернет-магазинах, сайтах с оплатой за получение доступа к содержимому, некоторых онлайн-играх и т.д.
2. «многопользовательские». Такие БС не только принимают денежные средства от пользователей, но и позволяют пользователям вести «торговлю» друг с другом, т.е. допустимы переводы со счета одного пользователя на счет другого.

По схеме интеграции с системой управления веб-сайтом

Можно выделить два уровня интеграции БС:

1. встраиваемая БС;
2. отдельностоящая БС.

На встраиваемом уровне БС представлена как один из модулей системы управления веб-сайтом.

Характерные особенности реализации:

- использование базы данных, общей для всей системы управления сайтом, для хранения информации о расчетных операциях;
- возможность прямого вызова функций БС из прочих модулей системы управления сайтом.

Преимущество такого подхода заключается в простоте реализации.

Отдельностоящая БС — максимально изолированная система, обменивающаяся информацией через стандартизированный программный интерфейс.

Такой подход более сложен в реализации, но предлагает повышенную безопасность данных БС за счет их изоляции.



Рисунок 2 – Встраиваемая реализация БС

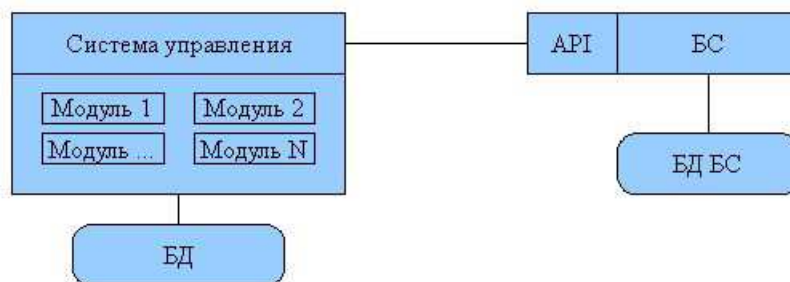


Рисунок 3 – Отдельностоящая реализация БС

ИНТЕГРАЦИЯ С ЭЛЕКТРОННЫМИ ПЛАТЕЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

В настоящее время на Российском рынке представлено большое количество электронных платежных систем (ЭПС): WebMoney, Яндекс.Деньги, Рапида, RuPay и другие. Интеграция БС с ЭПС выполняется обеспечения ввода-вывода денежных средств пользователями.

ВВОД ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ

БС должна позволять пользователям сайта, желающим оплатить услуги, воспользоваться удобной им платежной системой. После пополнения пользователем своего виртуального счета полученная сумма должна переводиться на реальный счет системы.

Интеграция БС сайта с конкретной ЭПС заключается в реализации API, стандарт на который предлагает разработчик платежной системы (рисунок 3).

Преимущества подхода:

- для проведения оплаты требуется только один посредник между пользователем и БС — сама платежная система;
- при сбое в работе одной из платежных систем, пользователи могут воспользоваться другой.

Однако создание интерфейсов для каждой из платежных систем может быть достаточно трудоемким — особенно с учетом возможности появления новых платежных систем и изменения интерфейсов работы старых. Кроме того, для работы БС требуется заведение и обслуживание отдельного счета в каждой платежной системе.

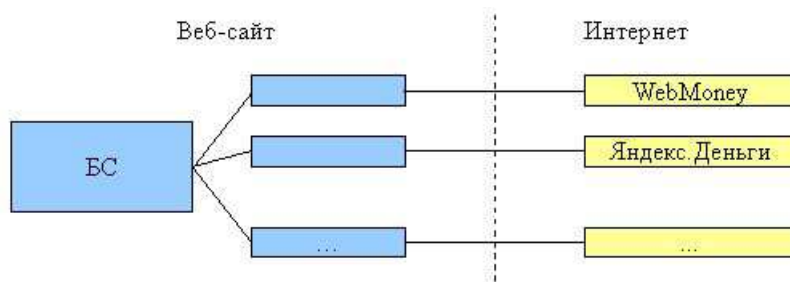


Рисунок 4 – Архитектура БС с поддержкой множества платежных систем

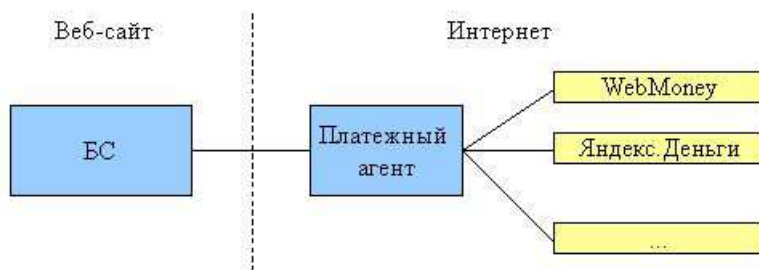


Рисунок 5 – Архитектура БС с единым интерфейсом

Для упрощения решения такой задачи существуют отдельные сервисы-агенты (например, Робокасса), предоставляющие единый интерфейс для работы с платежными системами (рисунок 5).

Подобная схема позволяет БС реализовывать только один внешний API для получения информации о платежных операциях, однако для проведения оплаты требуется уже два посредника: платежная система и агент.

Преимущества использования агента:

- возможность использования большого количества платежных систем, поддерживаемого агентом;
- требуется реализовать только один интерфейс;
- требуется обслуживать только один счет.

Недостатки сотрудничества с агентом:

- агент взимает комиссию с проводимых платежей или абонентскую плату за определенный период пользования;
- агент становится «единичной точкой отказа» для БС.

ВЫВОД ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ

Пользователь должен иметь возможность вывести денежные средства со своего виртуального счета в БС. Для этого требуемая сумма, находящаяся на реальном счету системы, переводится на реальный счет пользователя — банковский или счет в ЭПС.

Каждое движение денежных средств между реальными счетами сопровождается временной задержкой (составляющей от нескольких минут до нескольких суток), а в некоторых случаях — комиссией за перевод. Одна из основных сложностей при проектировании двунаправленной БС — оптимизация количества банковских операций для минимизации временных задержек и стоимости выполнения.

Также, в зависимости от того, какой счет для вывода средств у пользователя, может применяться различная схема для перевода, поэтому задача по автоматизации вывода средств может являться достаточно трудоемкой.

Возможным решением обеих проблем может также стать использование платежного агента: это позволит унифицировать процесс вывода денег из системы.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С БУХГАЛТЕРСКОЙ СИСТЕМОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

С технической точки зрения, задачей по взаимодействию БС сайта с бухгалтерской системой организации, владеющей сайтом, является реализация возможности создания отчетов по форме, установленной нормативными актами [1,2]. Каждое перемещение денежных средств в систему или из системы, а также внутри системы, должно сопровождаться соответствующим финансовым документом.

С юридической точки зрения, для нормального функционирования БС совместно с бухгалтерией необходимо заключение договоров об оказании услуг:

- с агентом или ЭПС, для ввода денежных средств в систему;
- с пользователями, для вывода денежных средств с их счетов в системе;
- с агентом, для автоматизации вывода денежных средств со счетов пользователей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного анализа можно предложить рекомендации по выбору биллинговой системы, наилучшим образом подходящей для решения поставленной задачи.

Для системы, только получающей платежи от пользователей, подходят однонаправленные замкнутые или разомкнутые БС. Если целевая аудитория разнородна и может использовать большое количество разнообразных платежных систем, следует рассмотреть возможность заключения договора с платежным агентом.

В случае, когда для небольшого числа пользователей доступен вывод денежных средств, возможно также использовать однонаправленную систему. БС должна предоставлять информации о состоянии счетов пользователей в бухгалтерию. Для реализации массового вывода пользователями денежных средств необходимо как использование двунаправленной БС, так и заключение договора с агентом для унификации и автоматизации процедуры вывода.

В качестве дальнейшего направления исследования можно рассматривать частично разомкнутые двунаправленные платежные системы, а также процедуру оптимизации издержек при выводе денежных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Криворучко С.В. Платежные системы. – М.: Маркет ДС, 2008. – 176 с. – ISBN 978-5-94416-021-8.
2. Электронные деньги и мобильные платежи. – М.: КноРус, 2009. – 368 с. – ISBN: 978-5-390-00511-8.

Светкин Александр Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8-920-287-88-46

E-mail: alex@svetkin.ru

Сендзюк Евгений Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8-910-205-36-70

E-mail: senzpo@mail.ru

УДК 303.732.4

М.Ф.ТУБОЛЬЦЕВ, В.М.МИХЕЛЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ УПРАВЛЕНИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ФИНАНСОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассматриваются вопросы применения импульсных управляющих воздействий в задачах моделирования процессов формирования финансовых активов, а также оптимальные стратегии управления этими процессами.

Ключевые слова: *финансовые процессы; финансовые активы; оптимизация; принцип максимума.*

Questions of application of pulse operating influences in problems of modeling of processes of formation of financial actives, and also optimum strategy of management by these processes are considered.

Keywords: *financial processes; financial actives; optimization; a maximum principle.*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим процесс формирования финансовых активов. Пусть $x(t)$ – величина некоторого финансового актива в момент времени t . Тогда процесс формирования актива задается следующим уравнением в дифференциалах:

$$dx(t) = p(t)x(t)dt + u(t)dt, \quad (1)$$

где $p(t)$ – сила роста актива в момент времени t ,

$u(t)$ – интенсивность вложений в актив.

Уравнение (1) показывает, что финансовый актив формируется за счет капитализации процентов (первое слагаемое в правой части) и за счет прямых новых вложений (второе слагаемое). Сила роста связана со ставкой процентов следующим образом:

$$p(t) = \ln(1 + r(t)),$$

где $r(t)$ – ставка процентов, по которой формируется финансовый актив. Ставка процентов и сила роста на практике являются кусочно-постоянными функциями, а при теоретическом рассмотрении считаются непрерывными функциями ограниченной вариации. Что касается функции вложений $u(t)$, то обычно предполагается, что это интегрируемая по Лебегу функция [1, с.89], имеющая область значений компактное множество.

Уравнение (1), как правило, записывается в эквивалентной форме линейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$\dot{x}(t) = p(t)x(t) + u(t). \quad (2)$$

Важным примером использования уравнения (2) является задача оптимального управления процессом формирования финансового актива. Для постановки задачи оптимизации требуется определить критерий качества управления. Имеются два критерия, наиболее важные для применений:

$$Z = \begin{cases} \int_{t_n}^{t_k} 1dt = t_k - t_n, & \text{для задачи быстрогодействия,} \\ \int_{t_n}^{t_k} u(t)dt, & \text{для задачи минимизации вложений,} \end{cases} \quad (3)$$

где t_n – момент начала формирования финансового актива,

t_k – момент окончания формирования финансового актива.

В стационарном случае (далее выполняется всюду, что существенно), когда ставка процентов не меняется в течение всего процесса формирования актива, с помощью принципа максимума Понтрягина можно получить решение задачи оптимизации для задач минимизации вложений и быстродействия [2]. Более того, можно усложнить постановку задачи и решать задачу оптимизации не для одного, а для нескольких активов, формируя их из одного источника финансирования [3,4]. Решение подобной задачи оптимизации может потребоваться, например, при создании накопительных фондов в бюджете муниципального образования [5].

Математическая модель процесса создания финансовых активов задается следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_i(t) = p_i x_i(t) + u_i(t), \quad (4)$$

где i – номер актива, изменяющийся от 1 до N .

В соответствии с этим номером пронумерованы сила роста ($p_i = \ln(1 + r_i)$), функция вложений и остальные параметры. Должны выполняться также следующие ограничения: $u_i(t) \geq 0$, $U > 0$ (мощность источника финансирования), $\sum u_i(t) \leq U$ и начальные условия: $x_i(t_n) = 0$, $x_i(t_k) = S_i$. Выбор целевой функции, сделанный в (3), далеко не однозначен и может отражать различные аспекты формирования накопительных фондов, но наиболее часто используются указанные выше.

Доказано [3,4], что активы формируются в порядке убывания ставок процентов, причем в каждый момент времени средства источника финансирования вкладываются только в один актив. Для задачи минимизации вложений дополнительно в конце периода формирования активов может существовать интервал, когда увеличение активов осуществляется только за счет капитализации процентов (пассивное накопление активов).

Представление о функциях вложений $u_i(t)$, как об интегрируемых по Лебегу функциях, не позволяет в ряде случаев адекватно формализовать процесс формирования финансовых активов. Например, в муниципальный бюджет могут поступить средства из регионального бюджета, которые могут быть направлены на формирование накопительных фондов. При этом фонды увеличатся скачком, что означает присутствие функций Дирака в правых частях уравнений (4). Как частный случай средства могут поступить в самом начале формирования активов, т.е. фазовая траектория процесса может начинаться не в начале координат, а в некоторой точке заданной некоторыми условиями.

Если имеет место целевое первоначальное вложение средств, т.е. точно определено, сколько средств вкладывается в начальный момент в тот или иной актив, то задача оптимизации легко сводится к канонической задаче (с выходом фазовой траектории из начала координат) [6].

При нецелевом сложении средств нужно рассматривать неизвестные разовые вложения в активы как управления наряду с обычным управлением. Для упрощения будем считать, что разовые вложения в активы осуществляются только один раз одновременно во все активы. При этом не существенно, осуществляются ли эти вложения в начальный момент или это происходит в некоторый промежуточный момент времени.

Пусть общая сумма разовых вложений равна $K > 0$, а $K_i \geq 0$ – не определенные еще вложения в соответствующий актив. Момент разового вложения средств t_0 принадлежит полусегменту $[t_n, t_k)$. Математическая постановка оптимизационной задачи (быстродействия или минимизации вложенных средств) с первоначальным нецелевым вложением средств будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Z &\rightarrow \min, \\
 \dot{x}_i(t) &= p_i x_i(t) + u_i(t) + K_i \delta(t - t_0), \\
 \sum_{i=1}^N u_i(t) &\leq U, \\
 x_i(t_n) &= 0, \\
 x_i(t_k) &= S_i, \\
 \sum_{i=1}^N K_i &\leq K,
 \end{aligned} \tag{5}$$

где Z – целевая функция (3).

В задаче (5) фазовая траектория процесса скачком в момент времени t_0 смещается на N -мерный вектор, координаты которого не отрицательны и не превышают K .

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для решения задач, в которых фазовая траектория выходит не из конкретной точки, а с некоторого множества, предлагается использовать в дополнение к принципу максимума Понтрягина так называемое условие трансверсальности [7]. Однако в данном случае условие трансверсальности применить не удастся. Это связано с тем, что фазовая траектория системы финансовых активов должна скачком измениться на вектор, принадлежащий симплексу:

$$\sum_{i=1}^N K_i \leq K. \tag{6}$$

Очевидно, что для оптимального импульсного управления вектор скачка должен заканчиваться на наклонной грани симплекса. Эта грань представляет собой часть гиперплоскости в N -мерном фазовом пространстве, следовательно, условие трансверсальности выполняется или не выполняется всюду. Кроме того, условие трансверсальности применяется только в начальный или конечный момент времени для определения точки выхода траектории из начального множества или точки прихода на конечное множество.

Очевидная попытка «грубого» решения оптимизационной задачи (5) с помощью стандартного алгоритма, применяемого для канонической задачи, потребует осуществить многократное решение одноточечной задачи [6], располагая начальными условиями одноточечной оптимизационной задачи на множестве, заданном условием (6), достаточно плотно, чтобы получить сколько-нибудь точное решение. Ввиду многомерности задачи (в муниципальном образовании может потребоваться с десятков различных фондов) данное решение может потребовать как значительного времени, так и очень мощной вычислительной системы. Это бы очень сильно усложнило практическое использование методов оптимизации накопительных фондов, поскольку превратило бы рутинную вычислительную задачу в сложный вычислительный эксперимент.

Проблема снижения вычислительной сложности при решении задачи (5) является важной при моделировании процессов формирования активов. Суть проблемы заключается в том, чтобы максимально сузить выбор начальных точек на поверхности (6), из которых оптимальная траектория выходит после разрыва. Тогда, используя алгоритм, предложенный в [6], можно рассчитать оптимальную фазовую траекторию и оптимальное управление.

Покажем, что оптимальная траектория, идущая из начала координат фазового пространства процесса формирования системы активов (каноническая траектория) в точку (S_1, S_2, \dots, S_N) , определяет решение задачи (5), поскольку вектор оптимального скачка начинается (что очевидно) и заканчивается (что важно) на канонической траектории. Доказательство того, что при оптимальном разовом вложении средств осуществляется скачок вперед по канонической траектории, основано на единственности оптимального управления канонической задачи (и, соответственно, одноточечной задачи при целевом вложении средств).

Введем в рассмотрение функцию $X(T)$ такую, что:

$$X(t) = \sum_{i=1}^N x_i(t).$$

Данная функция показывает, какова общая сумма сформированных активов. Очевидно, что в момент разового вложения средств t_0 на оптимальной траектории выполняется условие $X(t_0 + 0) - X(t_0 - 0) = K$, поскольку все средства вкладываются в активы полностью. Обозначим через $M(t) t_n \leq t < t_k$ точку на канонической траектории, а через $M^*(K_1^*, K_2^*, \dots, K_N^*)$ точку пересечения грани симплекса (6) с канонической траекторией, т.е. вектор $(K_1^*, K_2^*, \dots, K_N^*)$. Предположим, что вектор скачка переводит точку M_0 с координатами $x_1(t_0 - 0), x_2(t_0 - 0), \dots, x_N(t_0 - 0)$ на канонической траектории в точку M_1 с координатами $x_1(t_0 - 0) + K_1, x_2(t_0 - 0) + K_2, \dots, x_N(t_0 - 0) + K_N$, которая не лежит на канонической траектории. Для определенности рассмотрим задачу минимизации вложений, задача быстрогодействия рассматривается аналогично.

Обозначим через t_1, t_2, \dots, t_N моменты переключения оптимального управления в канонической задаче. Пусть t^* находится из условия:

$$X(t^*) = X(t_0) + K. \quad (7)$$

Если $t^* > t_N$, то из точки M_1 невозможно попасть в точку $M(t_k)$, поскольку все управления равны 0, т.е. активы фактически не управляемы, а «по инерции» в точку $M(t_k)$ можно попасть только из точки M^* . Пусть t^* находится на предпоследнем этапе – этапе активного накопления актива с наименьшей ставкой процентов. Если точка M_1 отлична от точки M^* , то из нее попасть в $M(t_k)$ также нельзя. Это связано с тем, что на предпоследнем этапе управляется только последний актив (остальные не управляемы). Если в этот актив вложить больше или меньше средств по сравнению с тем, что должно быть в соответствующей точке канонической траектории, то уменьшится или увеличится один из неуправляемых активов, а поэтому он будет в конечной точке траектории не таким, как у $M(t_k)$. Рассматривая аналогично случаи, когда t^* находится на интервалах активного накопления других активов, получаем, что всегда вектор оптимального скачка заканчивается на канонической траектории. Отметим, что с самого начала предполагается невозможность перераспределения накопленных средств между активами (поскольку тогда все средства можно вкладывать в самый доходный актив с последующим перераспределением в самом конце).

Таким образом, оптимальное управление в задаче (5) устроено так же, как в канонической задаче, за исключением того, что разовые вложения ускоряют процесс накопления, «вырезая» из канонической траектории некоторые участки. На практике алгоритм решения задачи (5) состоит в следующем. Сначала решается каноническая задача. Алгоритм ее решения известен и сводится к простым вычислениям алгебраических выражений [3,4]. Затем на известной траектории вычисляется функция $X(t)$ и ее значение в момент скачка траектории t_0 (момент разового вложения средств).

По формуле (7) находится момент времени t^* , когда точка траектории канонической задачи совпадает с точкой траектории задачи (5) в момент времени сразу после скачка. Из канонической траектории «вырезается» та ее часть, которая находится на интервале (t_0, t^*) . Оставшаяся часть является оптимальной траекторией задачи (5).

Полученный результат позволяет решить задачу формирования финансовых активов и в тех случаях, когда каноническая траектория содержит несколько разрывов. В этом случае также нужно начинать с решения канонической задачи, последовательно вводя разрывы, начиная с самого первого. Возможно также произвольное сочетание целевого и не целевого вложения средств, тогда сначала решается задача (5), а затем задача целевого вложения средств [6]. Это возможно ввиду линейности уравнения (1). При этом вычислительная сложность не возрастает и остается такой же, как у канонической задачи. Это дает возможность проводить вычисления, используя персональные компьютеры рабочих мест и ноутбуки. Реализация необходимых вычислений не вызывает трудностей даже у программистов средней квалификации и может осуществляться с использованием любого современного средства разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благодатских В.И. Введение в оптимальное управление (линейная теория): / под ред. В.А.Садовниченко. – М.: Высш.шк., 2001. – 239 с.: ил.
2. Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Понтрягин Л.С. К теории оптимальных процессов, ДАН СССР, 110, №1 (1956), с.7-10.
3. Тубольцев М.Ф. Оптимальные по быстродействию стратегии создания накопительных фондов. // «Научные ведомости» серия «Информатика, Прикладная математика, Управление», том 1, выпуск 1(19). – Белгород: Изд-во БелГУ, 2004. – с.65-70.
4. Тубольцев М.Ф. Оптимальные по критерию минимума вложения средств стратегии создания накопительных фондов. // «Научные ведомости» серия «Информатика, Прикладная математика, Управление», № 1 (21), выпуск 2. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2006. – с.50-55.
5. Тубольцев М.Ф. Методы оптимального накопления фондов в бюджете развития муниципального образования.// «Научная мысль Кавказа», Ростов-на-Дону, Изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы, 2005, №8. – с.82-91.
6. Тубольцев М.Ф. Моделирование накопительных фондов с целевым вложением средств.// «Информационные технологии моделирования и управления», выпуск 1(35). – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2007. – с. 35-38.
7. Л.С.Понтрягин, В.Г.Болтянский, Р.В.Гамкрелидзе, Е.Ф.Мищенко. Математическая теория оптимальных процессов. – 4-е изд. – М.: «Наука»,1983.-392 с.

Тубольцев Михаил Федорович

Белгородский государственный университет, г. Белгород

Кандидат технических наук

Доцент кафедры «Математическое и программное обеспечение информационных систем»

Тел.: 8-919-220-98-27

E-mail: tuboltsev@bsu.edu.ru

Михелев Владимир Михайлович

Белгородский государственный университет, г. Белгород

Кандидат технических наук

Доцент кафедры «Математическое и программное обеспечение информационных систем»

Тел.: 8-952-424-19-70

E-mail:mikhelev@bsu.edu.ru

УДК 681.3:378

О.В. ЧУДОВА

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ,
АЛГОРИТМА И ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
КОМПЕТЕНТНОСТИ ВЫПУСКНИКОВ ВУЗА**

В данной статье рассматривается иерархический подход к комплексной оценке компетентности выпускника ВУЗа на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования третьего поколения. Разработана структура информационной системы оценки компетентности выпускника ВУЗа.

Ключевые слова: информационная модель; информационные технологии; оценка компетенций; гибридные экспертные системы.

In given article the hierarchical approach to a complex estimation of competence of the graduate of HIGH SCHOOL on the basis of federal state educational standards of the higher vocational training of the third generation is considered. The structure of information system of an estimation of competence of the graduate of HIGH SCHOOL is developed.

Keywords: information model; information technology; competence estimation; hybrid expert systems.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях мирового социально-экономического развития особенно важной областью стало информационное обеспечение процесса управления, которое состоит в сборе и переработке информации, необходимой для принятия обоснованных управленческих решений.

В настоящее время в связи с переходом системы образования на компетентностно-ориентированный подход актуальной является проблема оценивания результатов обучения. Задача оценки уровня сформированности компетентности выпускника является трудноформализуемой и для ее решения необходимы разработка и создание соответствующей информационной аналитической системы. Разработка такой системы базируется на комплексном исследовании процессов формирования компетентности выпускника.

**КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВУЗА**

Создание и внедрение в ВУЗах автоматизированных информационных систем (АИС) обусловлено необходимостью интеграции больших массивов разносторонних данных и организации информационной поддержки и сопровождения образовательного процесса. АИС в высшей школе выполняет функции контроля, аналитической обработки, планирования и управления различными видами деятельности (административно-хозяйственной, учебной, научной), направленными на реализацию процесса подготовки специалистов. Среди АИС вуза выделяют [1]:

1. Автоматизированные системы управления высшей школой.
2. Автоматизированные системы управления учебным процессом.

Автоматизированные системы управления высшей школой предназначены для решения задач функционирования университета: административное управление, управление персоналом, управление качеством образования и управление документооборотом.

Автоматизированные системы управления учебным процессом предназначены для методической, информационно-методической и организационной поддержек управления учебным процессом.

Существуют два пути создания и развертывания таких ИС:

1. Приобретение готовых программных разработок в данной области.
2. Выполнение собственных разработок.

Среди готовых автоматизированных систем управления высшей школой можно выделить АИС «Университет» [2], АИС «Управление ВУЗами» [3], АИС «Образование» [4] и др.

АИС «Университет» – отечественная система класса ERP, специально разработанная для управления административно-хозяйственной, финансовой, учебной и научной деятельностью российских высших учебных заведений, позволяющая решать следующие задачи: управление учебным процессом; управление научными исследованиями; управление финансами и бюджетом; управление персоналом; организационный менеджмент; стратегическое управление; координация документооборота.

АИС «Управление» ВУЗами, разработанная Hewlett-Packard, определяет систему управления ВУЗом как некую сумму функций учреждения, направленных на обеспечение успешной учебы студентов, а также на управление академическими и финансовыми данными (оценки, успеваемость, оплата обучения, кредиты на обучение, студенческая электронная коммерция и т.д.).

В системе АИС «Образование» реализованы модули, поддерживающие работу следующих подразделений: приемная комиссия, деканат, отдел кадров студентов, учебная часть, отдел финансового сопровождения договоров.

Автоматизированные системы управления учебным процессом также представлены на рынке программного обеспечения, например, интегрированная информационная система для автоматизации управления высшим учебным заведением «ЧДК: ВУЗ 8.1» [5], а также пакет программ АИС «Абитуриент», АИС «Деканат», АИС «Кафедра» [6] и др.

Интегрированная информационная система для автоматизации управления высшим учебным заведением «ЧДК: ВУЗ 8.1» позволяет вести кадровый учет учащихся, управление обучением, управление занятиями, управление стипендией, управление платными услугами.

Пакет программ, разработанных СпецАвтоматикаСпектр, предназначен для автоматизации учета в ВУЗах и включает АИС «Абитуриент», АИС «Деканат», АИС «Кафедра». АИС «Деканат» предназначена для автоматизации работы деканатов ВУЗа. АИС рассчитана на сетевое взаимодействие всех факультетов с единой базой данных, расположенной на сервере вашего ВУЗа. АИС «Кафедра» обеспечивает методическую, информационно-методическую и организационную поддержку управления учебным процессом.

Однако использование готовых систем сторонних производителей имеет ряд недостатков. Внедрение таких систем является дорогим и длительным. Системы требуют доработок в соответствии со спецификой ВУЗа, а также непрерывной поддержки системы производителем.

Выполнение собственных разработок в большей мере позволяет учесть специфику ВУЗа, являются относительно недорогими. Многие ВУЗы пошли именно по этому пути автоматизации. В работах [7-11] представлены результаты создания, внедрения и эксплуатации АИС в различных ВУЗах России: Алтайском государственном техническом университете, Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете, Самарском государственном аэрокосмическом университете, Кемеровском государственном университете, Томском политехническом университете и ряде других. Большинство таких АИС выполняют функции автоматизации системы управления высшей школой и учебным процессом.

Проведенный анализ научных исследований и разработок в области создания автоматизированных информационных систем управления высшей школой и образовательным процессом также показал, что ни одна из них не реализует учет и оценку уровня сформированности компетентности студентов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проблему оценки компетентности выпускников можно отнести к трудноформализуемому (сложному) типу задач, так как при ее решении необходимо учитывать большой объем разнотипной информации, индивидуальные характеристики выпускников, а также изменения в организации учебного процесса, в результате которого формируются компетенции.

При проектировании сложных систем и разработке методов структурирования информации традиционно использовали иерархический подход [12] как методологический прием расчленения формально описанной системы на уровни. В рамках этого подхода компетентностную модель выпускника можно представить в виде многоуровневой иерархической структуры, а сама задача построения комплексной оценки представляется в виде иерархического дерева подзадач. При этом ее решение по модели осуществляется через последовательное решение всех подзадач (снизу вверх), из которых она состоит.

На основе системного подхода к анализу предметной области была разработана система оценки компетентности выпускника, имеющая 4-уровневую структуру. Она включает: уровень частных компетенций; уровень промежуточных компетенций; уровень обобщающих компетенций; уровень интегральной компетентности.

Представляется целесообразным в качестве инструментария построения системы комплексной оценки компетентности выпускника использовать гибридные экспертные системы [13]. Преимущество гибридных экспертных систем для решения поставленной задачи определяется следующими факторами. Часть подзадач проще решить при помощи формальных методик, другие – плохо формализованные, но имеющие логическую прозрачность – при помощи традиционных экспертных систем. Причем в структуру такой системы могут входить блоки, реализующие математические методы, экспертные системы, основанные на правилах продукций, фреймах и др., а также нейросетевые элементы. Применение каждого из них обуславливается сложностью решаемой проблемы.

Для оценки частных компетенций предлагается использовать методы многомерной классификации [14]. Задачу оценки промежуточных компетенций можно отнести к классу разрешимых. Формирующие компетенции являются близкими по содержанию и представлены в порядковой шкале. Показатели второго уровня могут быть вычислены путем агрегирования показателей нижнего уровня. Для решения данной задачи могут

быть использованы следующие методы: взвешенное суммирование; аддитивная свертка; мультипликативная свертка.

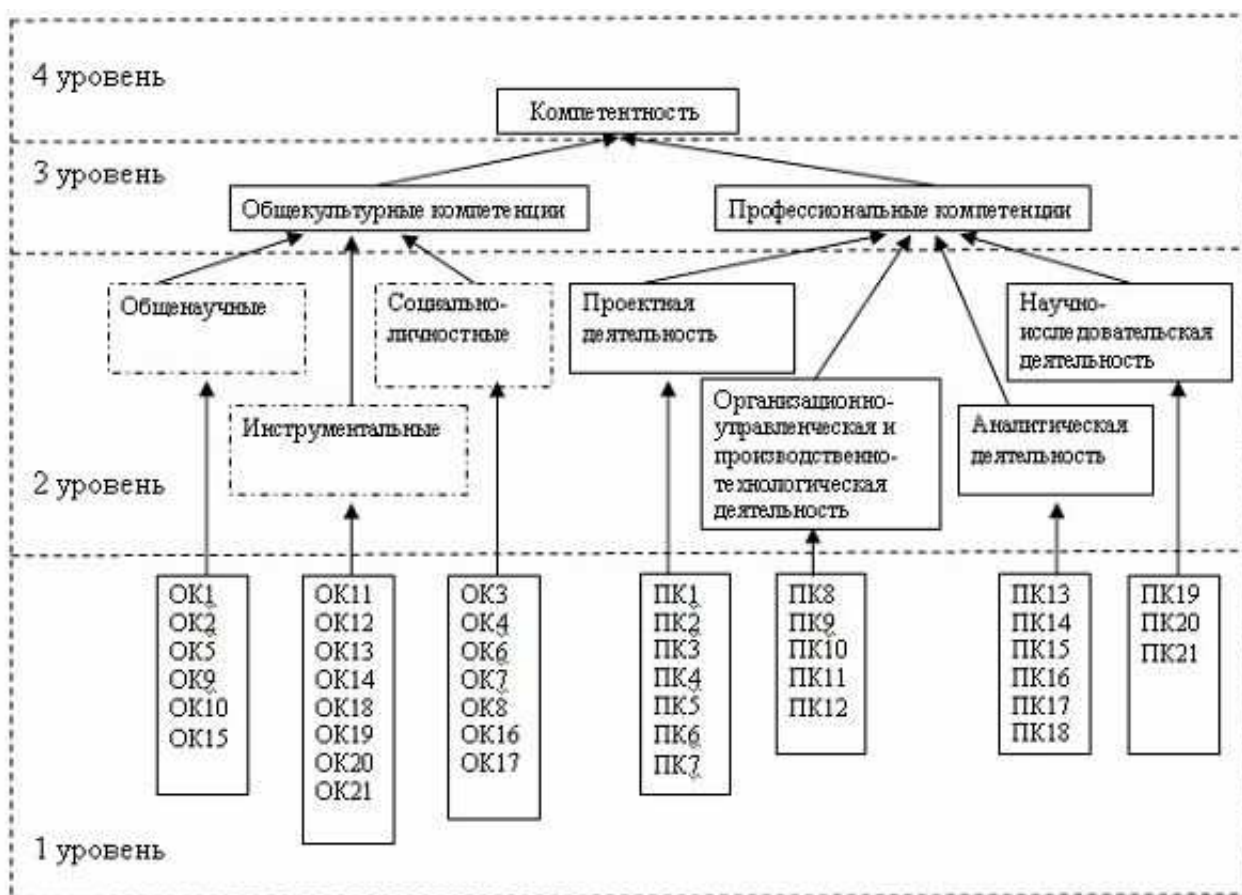


Рисунок 1 – Пример структуры модели компетентности выпускника

Уровень сформированности обобщающих компетенций рассчитывается на основании оценок компетенций промежуточного уровня. Компетенции этого уровня объединяют различные по содержанию компетенции, профессиональная компетенция объединяет проектную деятельность, организационно-управленческую и производственно-технологическую деятельность, аналитическую деятельность, научно-исследовательскую деятельность, а общекультурная – общенаучные, социально-личностные и инструментальные компетенции.

На четвертом уровне рассчитывается уровень сформированности интегральной компетентности, обобщающий общекультурные и профессиональные компетенции.

Оценка обобщающих компетенций и интегральной компетентности достаточно сложна и плохо формализуема. Для ее нахождения могут быть использованы продукционные системы. Причинами выбора данного метода являются необходимость объяснения причин полученной оценки, небольшая размерность входных показателей, небольшая вариация значений входных показателей.

РАЗРАБОТКА АИС ДЛЯ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ ВЫПУСКНИКА

Назначение создаваемой АИС – информационная поддержка оценки уровня сформированности компетентности выпускника ВУЗа. АИС осуществляет сбор, ввод,

учет и хранение различного рода информации о студентах. Содержит средства поддержки, контроля и анализа, которые позволяют полностью автоматизировать процессы, связанные с учетом личных данных студентов, формированием групп, анализом полученных оценок и уровня сформированности компетенций. В соответствии с обозначенными функциями можно выделить две составляющие АИС:

1. информационная поддержка постоянного мониторинга успеваемости студентов и предоставления отчетов по результатам сессии;
2. информационная поддержка оценки сформированности компетентности выпускников.

Функциональные требования, обеспечивающие реализацию первой составляющей АИС:

- ввод, редактирование и хранение личной информации о студентах;
- создание списков групп учащихся с возможностью добавления новых и удаления из списка отчисленных и переведенных студентов в архив;
- создание перечня преподаваемых предметов по семестрам. Также реализована возможность добавления и удаления предметов;
- добавление оценочных средств по предметам для каждого студента;
- создание сводной ведомости по результатам сессии для каждой группы.

Функциональные требования, обеспечивающие реализацию второй составляющей АИС:

- формирование списка компетенций для каждого преподаваемого предмета;
- формирование и модернизация дерева показателей;
- оценка уровня компетентности выпускника и ее отдельных составляющих в соответствии с деревом показателей.

Общая архитектура разработанной АИС представлена на рисунке 2.

Данная схема иллюстрирует основные этапы использования ИС. При эксплуатации данной системы в блоке «Сбор информации» в базу данных вносится информация о студентах, преподаваемых предметах, результатах сессий, которая впоследствии используется для оценки уровня сформированности компетентности выпускника.

Модуль «Мониторинг успеваемости» выполняет обработку информации для учета успеваемости студентов.

Модуль «Оценка сформированности компетентности выпускников» выполняет обработку информации и определяет уровень сформированности выпускника ВУЗа в соответствии с построенным ранее деревом решений. Модуль «Оценка сформированности компетентности выпускников» состоит из 4 функциональных блоков:

- оценка уровня сформированности частных компетенций;
- оценка уровня сформированности промежуточных компетенций;
- оценка уровня сформированности обобщающих компетенций;
- оценка уровня сформированности интегральной компетентности.

Для оценки уровня сформированности частных компетенций осуществляется выбор первичных показателей из базы данных, формирующих каждую из них. На основании отобранных показателей с помощью методов многомерной классификации оценивается уровень сформированности частных компетенций. Для этой цели отобранные показатели могут быть выгружены из базы данных, а оценка уровня

сформированности компетентности может быть проведена с помощью статистических пакетов обработки информации, таких, как SPSS. Stadia и др. [15].

Для оценки уровня сформированности промежуточных компетенций предоставляется возможность выбора наиболее подходящего метода решения: взвешенное суммирование; аддитивная свертка; мультипликативная свертка. Применение различных методов позволяет выбрать самый подходящий алгоритм решения задачи.

Для оценки уровня сформированности обобщающих компетенций и интегральной компетентности предусмотрена возможность ввода и корректировки правил продукции, что позволяет объяснить причины полученной оценки.

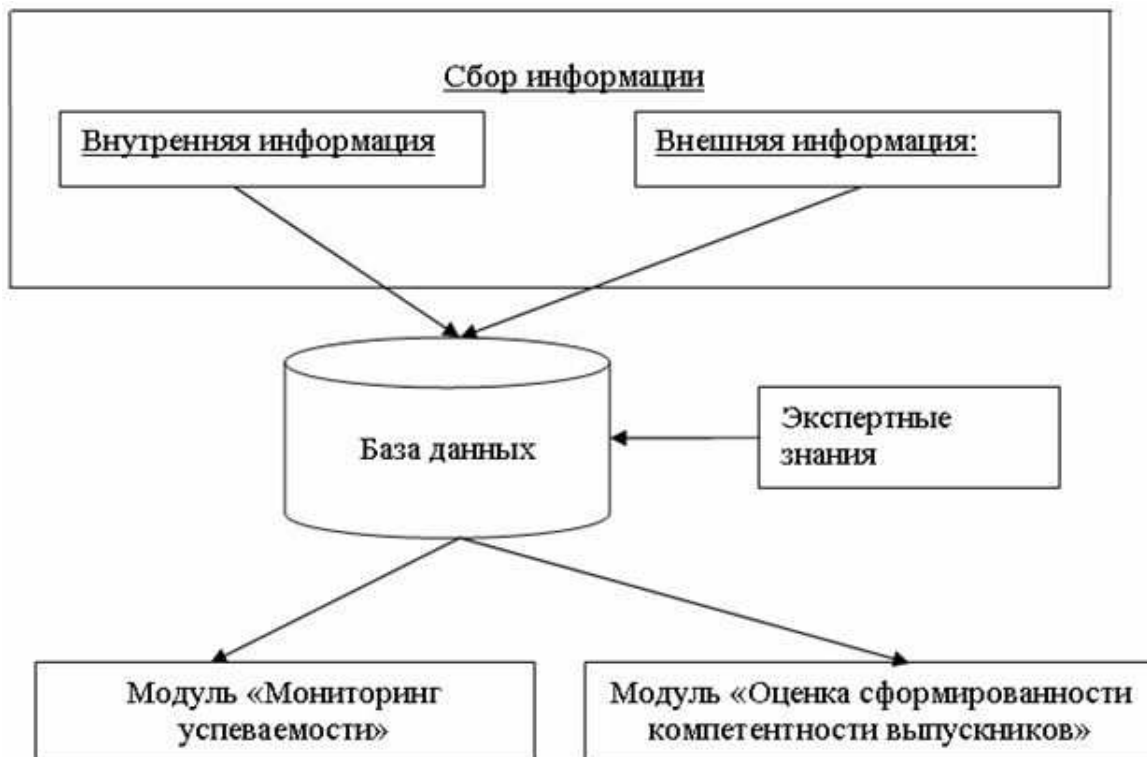


Рисунок 2 – Общая архитектура АИС оценки компетентности выпускников ВУЗа

Модуль «Оценка сформированности компетентности выпускников» не требует постоянного вмешательства в используемую им базу данных, после первоначальной настройки, составления дерева показателей и правил продукции система может функционировать длительное время.

Разработанная модель комплексной оценки компетентности выпускников по направлению «Прикладная информатика» позволила учесть специфику решаемых подзадач, применить модульное построение алгоритмов решения подзадач, провести сопоставление результатов решения подзадач разными методами, что, в конечном счете, позволило повысить объективность оценки компетентности выпускников. В свою очередь, автоматизированная информационная система обеспечивает информационную поддержку мониторинга успеваемости студентов и оценки компетентности выпускника ВУЗа. Модель, алгоритм и информационная система комплексной оценки выпускника ВУЗа разработаны в рамках единого макета стандартов III поколения и поэтому легко адаптируется для других направлений подготовки бакалавров.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОСТ ВШ 01.002-95. Отраслевой стандарт Госкомвуза РФ. Информационные технологии в высшей школе. Термины и определения. Введ. 01-03-96. – М.: Госкомвуз, 1995. – 24 с.
2. Система «Университет» [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <http://www.redlab.ru/m/35513/35689/index.html>
3. Автоматизированная информационная система «Управление ВУЗами» [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: http://h41110.www4.hp.com/government/solutions/Show_143_1.html
4. АИС Образование [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <http://ais.guap.ru/index.htm>
5. Большиков Д. В. «Интегрированная информационная система для автоматизации управления высшим учебным заведением «ЧДК: ВУЗ 8.1.» [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <http://www.1c.ru/rus/partners/training/edu/theses/?y=2008s=4t=149>
6. Пакет программ АИС «Абитуриент», АИС «Деканат», АИС «Кафедра» [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: http://allsoft.ru/program_page.php?grp=66783
7. Отдел Единой Автоматизированной Информационной Системы АлтГТУ [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <http://www.altstu.ru/structure/unit/oais/>
8. АСУ-ВУЗ. Автоматизированная информационная система (типовая) АИСТ [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа: <http://www.khadi.kharkov.ua/default.asp?id=73mnu=73>
9. Сойфер В.А. Система управления качеством образования в университете на основе информационных технологий / В.А.Сойфер, Ф.В. Гречников, В.С. Кузьмичев, В.А. Колпаков, А.М. Ланский, Д.Е. Пашков // Университетское управление: практика и анализ. – 2006. – №5(45). С. 92-97.
10. Капский Е.В. Автоматизированная информационная система НФИ КемГУ / Е.В. Капский, Ю.Н. Марченко // Единая образовательная информационная среда: Проблемы и пути развития: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции-выставки. - Омск, 2004. С.268-269.
11. Чудинов И.Л. Опыт реализации подсистемы планирования и организации учебного процесса в условиях единой информационной среды Томского политехнического университета/ И.Л. Чудинов, А.С. Демидов // Информационная среда вуза XXI века: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Петрозаводск, 2007. - -С. 33-35.
12. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем. / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага – М.: Мир, 1973. – 344 с.
13. Пятковский О.И. Интеллектуальные компоненты автоматизированных информационных систем управления предприятием: монография. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. 351 с.
14. Чудова О.В. Применение методов многомерной классификации в оценке компетентности выпускников / О.В. Чудова // Известия Алтайского государственного университета №1(61). – Барнаул, 2009. - С.93-95.
15. Чудова О.В. Кластерный анализ социологической информации / О.В. Чудова // Материалы IV Всероссийской научной конференции Сорокинские чтения. Новосибирск, 2008. С. 89-92.

Чудова Олеся Владимировна

ГОУ ВПО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул

Аспирант математического факультета

Преподаватель кафедры математических методов в социальных науках

656049, г. Барнаул, пр-т Ленина,61

Тел.: (3852) 366-348

E-mail: chudova-o@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

УДК 681.518.2

М.Т. ПРАСОВ, А.В. ТЮТЯКИН

СТРУКТУРЫ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СБОРА
И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ХРАНИЛИЩ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Предложены структуры аппаратно-программных средств автоматизированных систем сбора и обработки данных (АССОД) с объектов, основанные на автоматизированном профилировании указанных средств в процессе эксплуатации, в зависимости от текущих сочетаний параметров выходных сигналов датчиков АССОД.

Ключевые слова: структуры аппаратно-программных средств; профили; контроль микроклимата.

The structures of hardware and software of automated data acquisition and processing systems (ADAPS) are proposed. The structures are based on automatic profiling of above-mentioned hardware and software during operation, in dependence on current combinations of parameters of output signals of ADAPS sensors.

Keywords: structures of hardware and software; profiles; microclimate monitoring.

Автоматизированные системы сбора и обработки данных (АССОД) с объектов [1] нашли широкое распространение практически во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства, науки, медицины, экологического мониторинга и других областей человеческой деятельности.

Одной из ключевых задач, решаемых при реализации АССОД, является обработка выходных сигналов датчиков, состоящая в подавлении их неинформативных составляющих и определении их информативных параметров (частотного спектра, амплитуды или площади импульсов и т.п.). В настоящее время в распоряжении разработчиков и пользователей АССОД имеется широкий спектр методов и аппаратно-программных средств аналоговой и цифровой обработки сигналов (ОС) [1, 2], в совокупности позволяющих решить практически любую задачу обработки сигналов датчиков. Однако ввиду большого разнообразия методов и средств ОС серьезной проблемой является выбор на этапе разработки и в процессе эксплуатации АССОД наиболее приемлемой структуры средств ОС, т.е. сочетания типов, характеристик и параметров известных аппаратных и программных средств, предназначенных для решения конкретных задач ОС. Адекватность выбора определяет информационную емкость контролируемых сигналов и, следовательно, с их характеристиками, достоверность определения контролируемых параметров объектов.

В настоящее время задача выбора оптимальной структуры аппаратно-программных средств заключается в комплексном подходе выбора сочетаний таких средств, так называемых профилей, которые с помощью специального программного обеспечения будут выполнять формирование и обработку с повышенной точностью информативных и неинформативных сигналов контролируемой среды объекта.

Таблица 1 – Основные элементы профиля средств обработки выходных сигналов датчиков АССОД

Функция	Средства реализации	Основные элементы профиля
Уровень II (сигнальный): селекция и нормализация полезных сигналов		
Нормализация сигналов	Масштабирующие усилители (МУ)	Коэффициент усиления
Антиэлайзинговая фильтрация	Аналоговые антиэлайзинговые фильтры (АЭФ)	Тип и порядок передаточной характеристики АЭФ Частота среза
Уровень III (знаков): аналого-цифровое преобразование		
Аналого-цифровое преобразование	АЦП	Тип АЦП Разрядность АЦП Частота дискретизации Тип и длительность весовой функции (ВФ) (для интегрирующего АЦП)
Уровень IV (первичных данных): числовая интерпретация и обработка первичных данных		
Подавление/ устранение неинформативных составляющих	Цифровые фильтры (ЦФ), реализуемые преимущественно в программной форме	Тип ЦФ Профиль соответствующего типа ЦФ (таблица 2)
Обработка информативных составляющих выходных сигналов датчиков	Средства (преимущественно программные) цифрового анализа сигналов	Метод анализа Профиль соответствующего метода анализа (таблица 3)

Представляется рациональным осуществлять указанный выбор автоматически, в зависимости от:

- требований к точности определения параметров объекта ОМ, задаваемых условиями на проектирование АССОД;
- задаваемых пользователем АССОД диапазонов информативных параметров выходных сигналов датчиков, ожидаемых в текущем цикле сбора и обработки данных (СОД);
- определяемых автоматически оценок параметров неинформативных компонент указанных сигналов в текущем цикле СОД.

Основные элементы структуры профилей средств ОС, потенциально применимых в АССОД, представлены в таблице 1 и дополняющих ее таблицах 2 и 3 [1, 2]. Данные средства, в соответствии с [3], относятся к следующим уровням иерархической модели процесса СОД: II (сигнальному), III (уровню знаков) и IV (уровню первичных данных).

Реализацию автоматически профилируемых аппаратно-программных средств обработки выходных сигналов датчиков АССОД, исходя из вышесказанного, представляется целесообразным осуществлять на основе операционной модели, представленной на рисунке 1. Указанные средства включают в себя:

- комплекс аппаратных средств обработки аналоговых выходных сигналов датчиков (МУ, АЭФ и АЦП) с цифровым управлением характеристиками и параметрами, перечисленными в таблице 1;

– ПО, включающее в себя модуль выбора профилей аппаратно-программных средств ОС, модуль профилирования и управления аппаратными средствами ОС, а также модуль программной ОС.

Таблица 2 – Основные элементы профилей типов ЦФ, потенциально применимых в АССОД

Тип ЦФ	Основные элементы профиля
Линейный ЦФ с конечной импульсной характеристикой (КИХ)	Частоты среза. Длительность импульсной характеристики Метод синтеза Тип ВФ
Медианный ЦФ	Длительность импульсной характеристики
ЦФ Савицкого-Голея	Тип и диапазоны параметров кривой Границы сегментов
Фурье-фильтр	Диапазоны частот информативных компонент Длительности и границы сегментов Тип ВФ. Алгоритм дискретного преобразования Фурье (ДПФ)
Вейвлет-фильтр	Тип вейвлета Диапазоны параметров информативных компонент Алгоритм вейвлет-преобразования

Таблица 3 – Основные элементы профилей методов анализа информативных выходных сигналов датчиков АССОД

Метод анализа	Основные элементы профиля
Частотная область представления информативных сигналов	
ДПФ	Диапазоны частот информативных компонент Длительности и границы сегментов Тип ВФ Алгоритм ДПФ
Дискретное вейвлет-преобразование (ДВП)	Тип вейвлета Диапазоны параметров информативных компонент Алгоритм ДВП
Временная область представления информативных сигналов	
Модельно-ориентированный анализ	Математическая модель информативного сигнала Диапазоны параметров модели Алгоритмы анализа
Вейвлет-анализ	Тип вейвлета Диапазоны параметров информативных компонент Алгоритм ДВП

Вышеназванные аппаратные средства ОС могут быть реализованы, например, на основе выпускаемых рядом фирм (Analog Devices, Maxim и др.) микроэлектронных усилителей, аналоговых фильтров, АЦП и/или микросистем сбора данных с цифровым управлением режимами, параметрами и характеристиками.

Модуль программной ОС реализует функции уровня первичных данных, перечисленные в таблице 1. Он представляет собой набор профилируемых в соответствии с таблицами 2 и 3 программ реализации указанных функций. Данные программы строятся на основе типовых алгоритмов цифровой ОС [2], рассмотрение которых выходит за рамки настоящей статьи.

Модуль профилирования и управления аппаратными средствами ОС представляет собой набор драйверов данных средств. Операционные модели и принципы разработки указанных драйверов достаточно очевидны.

Модуль выбора профилей средств ОС включает в себя следующие основные компоненты:

- базу данных, которая содержит служащие критериями выбора параметры средств ОС, применяемых в АССОД, при всех возможных профилях данных средств (например, относительные времена установления АЭФ при различных типах и порядках передаточной характеристики; относительную ширину переходной полосы КИХ-ЦФ при различных методах синтеза и типах ВФ [2] и т.п.);
- программы оценки параметров неинформативных компонент выходных сигналов датчиков по их отсчетам (например, методами ДПФ и/или ДВП, а также корреляционного анализа [2]);
- программы выбора профилей [4] на основании вышеназванной базы данных, требований к точности определения характеристик ОМ, ожидаемых диапазонов параметров информативных сигналов датчиков, а также оценок параметров их неинформативных компонент.

Основными преимуществами предлагаемого подхода по сравнению с существующими являются:

- выбор структуры профиля средств ОС, наиболее приемлемого при каждом конкретном сочетании параметров выходных сигналов датчиков, что, при прочих равных условиях, обеспечивает максимально возможную точность определения параметров ОМ и достоверность контроля;
- независимость от опыта и интуиции как разработчиков АССОД, так и лиц, осуществляющих ее эксплуатацию;
- снижение материальных и временных затрат на проектирование и эксплуатацию АССОД;
- повышение степени автоматизации процессов ОС.

Предлагаемый подход был успешно применен при разработке и эксплуатации АССОД. В частности, на его основе создавались средства ОС системы контроля и управления микроклимата в хранилищах сельхозпродукции [5], структурная схема которой представлена на рисунке 2. Данная система осуществляет функции распределенного автоматического непрерывного контроля температурно-влажностных параметров микроклимата в помещениях хранилища и управления регулирующими микроклимат исполнительными устройствами (ИУ) по результатам контроля.

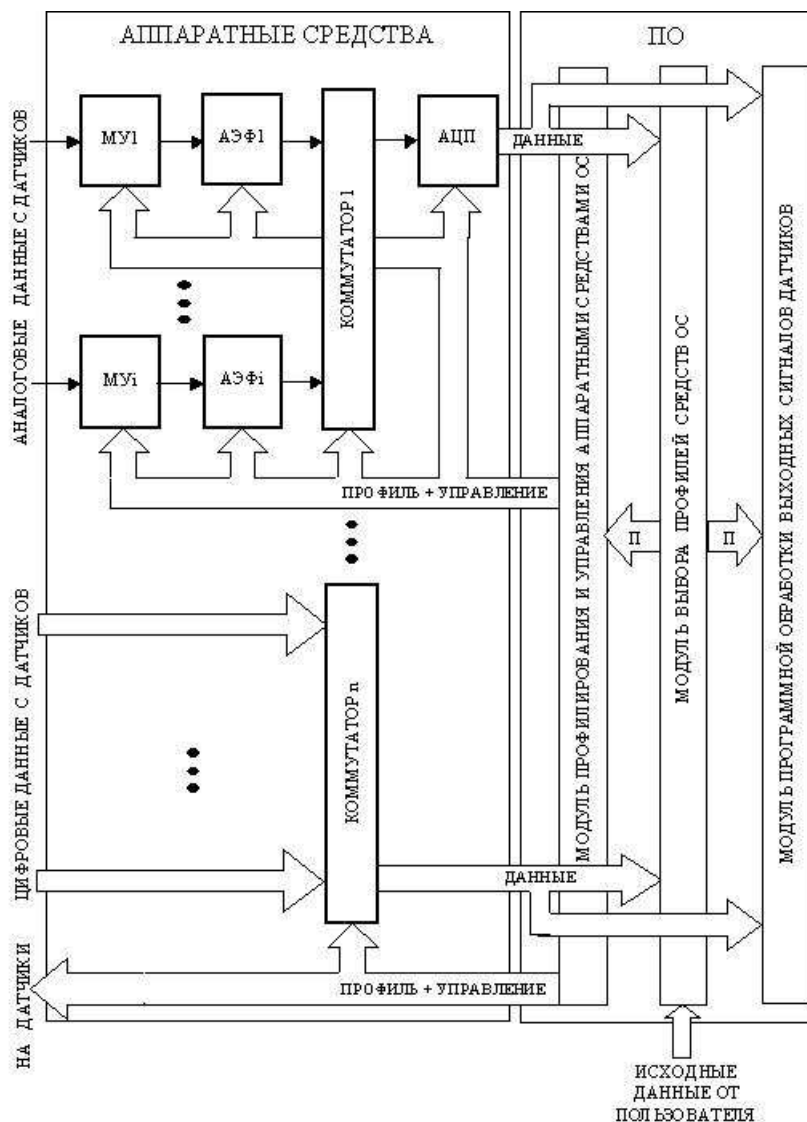


Рисунок 1 – Операционная модель автоматически профилируемых аппаратно-программных средств обработки выходных сигналов датчиков АССОД

Система включает в себя:

- комплект идентифицированных датчиков и датчиков с аналоговым выходом (ИД и АД соответственно) температурно-влажностных параметров микроклимата, а также ИУ, регулирующих данные параметры;
- персональный компьютер (ПК), реализующий функции общего управления процессами СОД (включая выбор профилей средств ОС), а также обработки информации и выработки команд управления ИУ по ее результатам;
- ряд контроллеров, расположенных непосредственно в помещениях хранилища и осуществляющих сбор и первичную обработку данных с АД и ИД, передачу указанных данных в ПК для дальнейшей обработки, а также управление ИУ по командам, поступающим с ПК.

В настоящее время в ОрелГТУ ведутся работы по развитию теоретических и практических аспектов проектирования и эксплуатации АССОД на основе профильного подхода, в том числе автоматизированных систем контроля и управления

микроклимата в рамках госбюджетной НИР 09-07-97505 (заказчик – Российский фонд фундаментальных исследований).

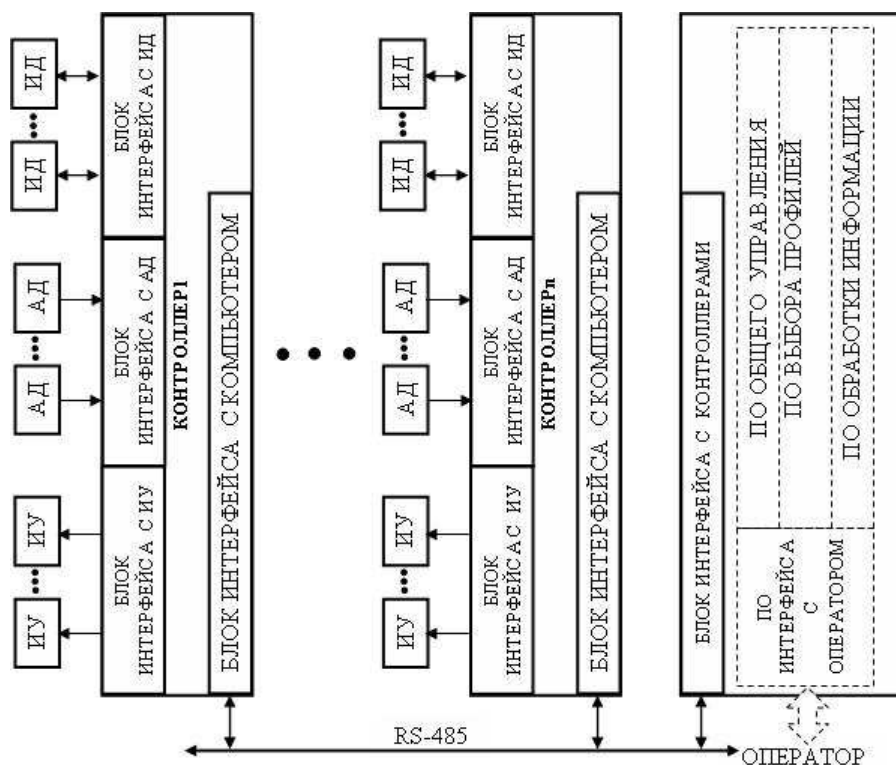


Рисунок 2 – Структурная схема автоматизированной системы контроля и управления микроклимата в хранилищах сельхозпродукции

ЛИТЕРАТУРА

1. Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook / Editor-in-Chief J. Webster. – CRC Press LLC, 1999.
2. Allen R., Mills D. Signal Analysis: Time, Frequency, Scale and Structure. – A John Wiley Sons Inc., Publication, 2004.
3. Кнорринг В.Г., Трофимова Н.Ю. Системные аспекты измерений // Датчики и системы. – 2006. – №10. – С. 52 –59.
4. Тютякин А.В. О фильтрации представляемых во временной области входных сигналов систем контроля физических величин // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 4. – С. 27 – 31.
5. Прасов М.Т., Анохин М.Н. Алгоритм дефаззификации при синтезе нечеткого регулятора автоматизированных систем контроля и управления // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – №6. – С. 41 – 43.

Прасов Михаил Тихонович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, профессор

Тютякин Александр Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент

Тел.: (4862)41-98-79

E-mail: avt@rbcmail.ru

УДК 004.3'144:621.314

В.Я. ХОРОЛЬСКИЙ, С.Г. КОВАЛЕВСКИЙ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Экспериментальным путём определены переходные характеристики химических источников тока различного типа, используемых в радиотехнических системах. Полученные характеристики идентифицированы типовым звеном автоматического регулирования, что позволяет использовать их при моделировании систем бесперебойного электроснабжения информационных систем.

Ключевые слова: химический источник тока; динамический режим; провал напряжения; переходная характеристика; литий-ионная аккумуляторная батарея; свинцово-кислотная аккумуляторная батарея; никель-кадмиевая аккумуляторная батарея; никель-металлгидридная аккумуляторная батарея; идентификация; типовое звено автоматического регулирования.

Crossing characteristics of chemical sources of current flow with different type were determined by experimental way. These characteristics were identified with typical link of automatic regulation that allows to use them for modeling system of information systems without difficulties of feeding.

Keywords: chemical source of the current; dynamic mode; collapse of the voltage; connecting feature; lithium-ion storage battery; leaden-acid storage battery; nickel-cadmium storage battery; nickel-storage battery; identification; standard section of the automatic regulation.

В настоящее время для обеспечения эффективной работы информационных систем используется аппаратура со сложными электронными устройствами на основе интегральных микросхем, процессоров, микроконтроллеров. Устройства на такой элементной базе предъявляют жесткие требования по качеству питающего напряжения и предусматривают использование системы бесперебойного электроснабжения (СБЭ).

Среди различных режимов работы недостаточно изученными являются динамические режимы, связанные с набросом нагрузок большой величины в миллисекундном диапазоне. Однако этого времени может хватить, чтобы вывести из строя аппаратуру, чувствительную к провалам питающего напряжения /1/.

В последние годы появляются новые источники питания – литиевые источники тока; герметизированные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (АБ), широко используемые на узлах связи, требующие дополнительных исследований по указанному направлению. Также нельзя оставлять без внимания при исследовании щелочные АБ (никель-кадмиевые и никель-металлогидридные), которые применяются в качестве автономных источников питания.

Поскольку динамические процессы в химических источниках тока (ХИТ), особенно для перспективных образцов источников, недостаточно освещены в технической литературе, нами были проведены экспериментальные исследования по снятию переходных характеристик для АБ щелочного, кислотного типа и литиевого источника тока (рисунок 1).

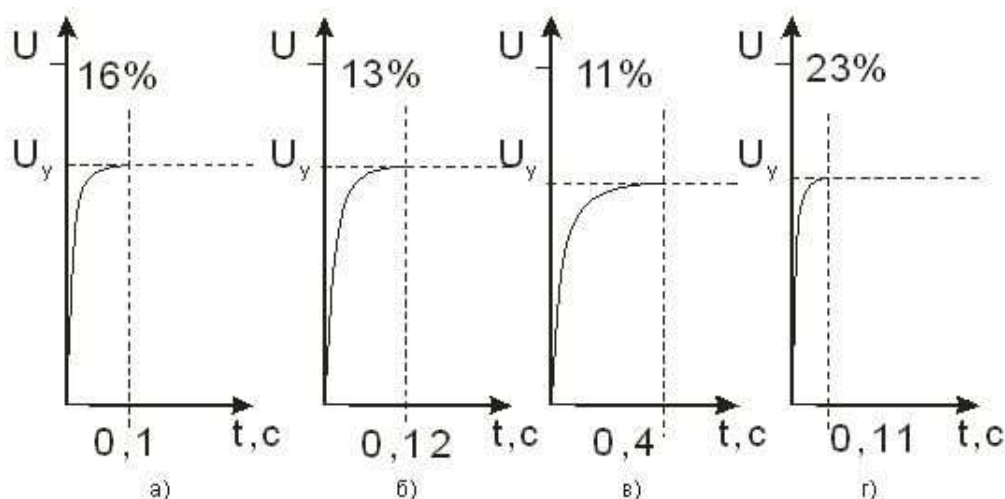


Рисунок 1 – Переходные характеристики ХИТ:

а) никель-кадмиевой аккумуляторной батареи; б) никель-металлгидридной аккумуляторной батареи; в) герметизированной свинцово-кислотной аккумуляторной батареи; г) литий-ионной аккумуляторной батареи

Экспериментальное исследование динамического режима внезапно приложенной нагрузки на различные АБ позволило установить следующее: наибольший провал напряжения наблюдается у литий-ионных аккумуляторов и составляет в среднем 20% при времени переходного процесса порядка 110 мс; наиболее стойким к возмущению в виде внезапно приложенной нагрузки оказались свинцово-кислотные аккумуляторы, провал напряжения у них не превысил 11%, но время переходного процесса у таких источников существенно выше, чем у других химических источников тока и составляет 0,4 с; у никель-кадмиевых и никель-металлгидридных аккумуляторов провал напряжения составляет в среднем 16% и 13% соответственно при времени переходного процесса порядка 100 мс и 120 мс.

Помимо оценки влияния нагрузки на выходные параметры аккумуляторов, экспериментально проверялось влияние степени заряженности аккумуляторов на изменение напряжения источника в динамических режимах (рисунок 2). Установлено, что наибольший провал напряжения наблюдается у полностью заряженной аккумуляторной батареи и разряженной на 70...90%.

В диапазоне ёмкости аккумуляторов 20...70% от номинальной степени заряженности аккумуляторной батареи мало влияет на выходное напряжение.

С целью возможного дальнейшего использования полученных результатов экспериментальных исследований для моделирования систем бесперебойного питания аппаратуры связи предпринята попытка идентификации динамических характеристик типовыми звеньями автоматического регулирования.

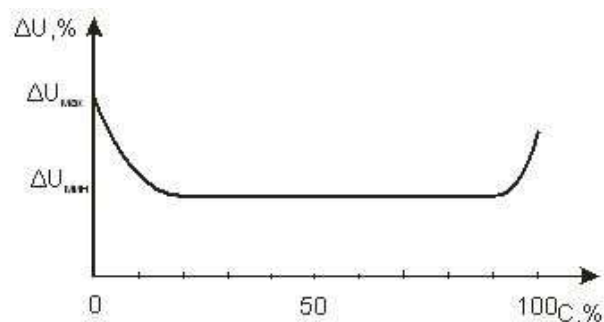


Рисунок 2 – Зависимость величины провала напряжения от израсходованной емкости

По виду снятых экспериментальных кривых можно сказать, что химические источники тока следует рассматривать как интегро-дифференцирующее звено, которое относится к типовым звеньям систем автоматического регулирования и описывается дифференциальным уравнением следующего вида /3/:

$$T_u \frac{dx_{вых}}{dt} + x_{вых} = k \left(T_n \frac{dx_{вх}}{dt} + x_{вх} \right), \quad (1)$$

где T_n – постоянная времени, которая характеризует степень влияния производной на закон регулирования;

T_u – постоянная времени, отображающая зависимость закона регулирования от интегральной составляющей;

k – коэффициент передачи звена.

В этом случае передаточная функция химического источника тока определяется следующим образом:

$$W_1(p) = k \frac{T_n p + 1}{T_u p + 1}. \quad (2)$$

Аналитическое выражение переходного процесса, то есть переходная функция химического источника тока, при набросе нагрузки имеет следующий вид:

$$h(t) = k \left[1 + \left(\frac{T_n}{T_u} - 1 \right) \exp \left(-\frac{t}{T_n} \right) \right]. \quad (3)$$

Для того чтобы быть уверенным в объективности характера зависимости переходной функции $h(t)$, описывающей динамический режим работы ХИТ, полученный путём идентификации его как интегро-дифференцирующего звена, применим метод последовательного логарифмирования.

Оценка экспериментальных данных методом последовательного логарифмирования показала, что переходная функция $h(t)$, полученная с позиции теории автоматического регулирования адекватно описывает динамический режим работы ХИТ, при этом качество аппроксимирующей переходной функции, следовательно, и передаточной функции $W(p)$, выраженное в процентах относительной ошибки, не превышает 2%, что является удовлетворительным критерием /4/.

Поскольку особенности построения системы электропитания таковы, что электроприёмники могут получать электроэнергию как непосредственно от источника питания, так и от источника питания через преобразовательные устройства, методика исследования динамических режимов с позиции теории автоматического регулирования должна позволить произвести оценку простых динамических систем типа «источник питания – электроприёмник», так и сложных «источник питания – преобразователь напряжения – стабилизатор напряжения – электроприёмник».

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьёв А. Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем; – М.: Эко-Трендз, 2002. – 280 с.: ил.
2. Калашников М. Г. Системы электроснабжения транспортных машин; / М. Г. Калашников, О. И. Милютин, В. Д. Константинов; – Л.: Машиностроение, 1981 – 143 с., ил.
3. Ключев А. С. Автоматическое регулирование; – М.: Энергия, 1967. – 344 с.: ил.
4. Балакирев В. С. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления; / В. С. Балакирев, Е. Г. Дудников, А. М. Цирлин; – М.: Энергия, 1967. – 232 с.: ил.

Хорольский Владимир Яковлевич

Ставропольский военный институт связи ракетных войск, г. Ставрополь

Доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ

Заместитель председателя диссертационного совета при Ставропольском военном институте связи ракетных войск

Тел.: 8-905-449-76-51

Ковалевский Сергей Георгиевич

Ставропольский военный институт связи ракетных войск, г. Ставрополь

Адъюнкт кафедры «Техническое обеспечение связи и АСУ»

Тел.: 8-928-339-02-13

E-mail: ksst83@mail.ru

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 623.62

А.В. ИГНАТЕНКО, О.В. ХАРЧЕНКО

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТИ
РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОТОКОЛОВ
ОБЩЕКАНАЛЬНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ №7

На основе таксономического анализа формируется подход, позволяющий развить методики оценки вероятности распознавания протоколов общеканальной сигнализации №7 в информационно-телекоммуникационных сетях ЕСЭ РФ по степени сходства.

Ключевые слова: таксономический анализ; протокол; мера сходства; индивидуальный признак; эталон; злоумышленник; информативность; корреляция; вероятность распознавания.

The approach, which allows to develop the recognition probability estimation methods of canal signaling № 7 in information telecommunication network of UECN RF on degree resemblance, is formed on the base of taxonomic analysis.

Keywords: taxonomic analysis; protocol; resemblance degree; individual sign; standart; violator; informativity; correlation; recognition probability.

В современных информационно-телекоммуникационных сетях ЕСЭ РФ наряду с оперативной информацией для установления и поддержания вызова по каналам управления и сигнализации между оконечными станциями передается служебная информация. Служебная информация передается в виде сигнальных единиц (протоколов сигнализации) [1] и обладает рядом ярко выраженных индивидуальных признаков, позволяющих злоумышленнику на фоне общего цифрового потока и протоколов сигнализаций различных видов распознать протоколы общеканальной сигнализации №7 с целью применения преднамеренных деструктивных воздействий на них.

Наличие и характер проявления индивидуальных признаков протоколов сигнализации в информационно-телекоммуникационных сетях ЕСЭ РФ зависит от степени сходства их элементов между собой. Следовательно, вероятность распознавания протоколов подсистемы сигнализации №7 информационно-телекоммуникационных сетей является функцией меры сходства между сравниваемыми элементами по совокупности индивидуальных признаков.

Для того чтобы определить меру сходства между объектами, рассмотрим операцию их попарного сравнения по некоторым признакам E_i . При попарном сравнении N_j -го и N_m -го элемента возможны следующие четыре варианта событий (таблица 1)[2].

Таблица 1 – Варианты событий при попарном сравнении элементов объектов

Номер элемента	Варианты событий			
	I	II	III	IV
N_j	1	0	1	0
N_m	1	1	0	0

Для получения аналитического описания этого процесса используем метод статистических испытаний [3] в связи с отсутствием статистических данных, полученных при натурном эксперименте.

Моделируем событие появления признака E_i , вероятность которого равна $P(E_i)$. Тогда частота появления этого события является случайной величиной, имеющей математическое ожидание:

$$M \left[\frac{x_{E_i}}{N} \right] = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N M(x_{ij}); P(E_i) \quad (1)$$

и дисперсию:

$$D \left[\frac{x_{E_i}}{N} \right] = \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N M \{ [x_{ij} - P(E_i)] \}^2 = \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N M \{ dx_{ij} \}^2 = \frac{x_1 \cdot x_0}{N^2}, \quad (2)$$

где $x_0 = n - \sum_{j=1}^N x_{ij}^0$ – количество элементов, у которых признак E_i отсутствует.

С вероятностной точки зрения вероятность совместного события для каждого варианта (таблица 1) равна [2, 3]:

$$P_{1,1}^I = \left(\frac{x_1}{N} \right)^2; P_{0,1}^{II} = \frac{x_0 \cdot x_1}{N^2}; P_{1,0}^{III} = \frac{x_1 \cdot x_0}{N^2}; P_{0,0}^{IV} = \left(\frac{x_0}{N} \right)^2. \quad (3)$$

Вероятности противоположных событий, соответственно, равны:

$$\bar{P}_{1,1}^I = \left(\frac{x_0}{N} \right)^2; \bar{P}_{0,1}^{II} = \frac{x_1 \cdot x_0}{N^2}; \bar{P}_{1,0}^{III} = \frac{x_0 \cdot x_1}{N^2}; \bar{P}_{0,0}^{IV} = \left(\frac{x_1}{N} \right)^2. \quad (4)$$

Если раскрыть квадраты отклонений в выражении (2), то получим:

$$d_{x_{ij}^1}^2 = \left(\frac{x_0}{N} \right)^2 \text{ и } d_{x_{ij}^0}^2 = \left(\frac{x_1}{N} \right)^2, \quad (5)$$

а произведение значений:

$$d_{x_{ij}^1}^2 \cdot d_{x_{ij}^0}^2 = - \frac{x_0 \cdot x_1}{N^2}. \quad (6)$$

Анализ выражений (4) и (5) показывает, что они равны между собой, а вероятностям событий $\bar{P}_{1,0(0,1)}$ соответствует оценка $\left(d_{x_{ij}^1}^2 \cdot d_{x_{ij}^0}^2 \right)$ со знаком «минус». Отрицательное значение событий II-го и III-го вариантов логически отражает событие, прямо противоположное событиям совпадения. Следовательно, можно признать, что полученные статистические оценки вероятностей событий (таблица 1) являются полными.

Для обеспечения сравнимости возможных событий по всем другим признакам осуществляют операцию взвешивания (нормирования) полученных оценок (6) путем их деления на (2) [2, 3]. На основании этого можно получить весовые коэффициенты событий (таблица 1):

$$K_{1,1} = \frac{N - x_1}{x_1}; K_{0,0} = \frac{N - x_0}{x_0}; K_{0,1} = K_{1,0} = -1. \quad (7)$$

Таким образом, каждому варианту событий «совпадения» (I и IV варианты) при проведении операции сравнения присваивается вес $K_{1,1}$ и $K_{0,0}$ соответственно, который пропорционален их редкости («таксономической значимости») [2, 4]. Если события противоположные (II и III варианты), то этот факт оценивается всегда «отрицательной единицей». Поскольку демаскирующий признак E_i был выбран произвольно, то полученные результаты справедливы для любого демаскирующего признака, независимо от способа его выделения.

При попарном сравнении элементов протокола сигнализации №7 по конечной совокупности признаков может быть получен ряд значений весовых коэффициентов. В качестве меры сходства сравниваемых элементов по конечной совокупности признаков ($n_{\text{рпр}}$) согласно [8], можно принять некоторый средний вес:

$$K_{\text{сх}} = K_{i,m} = \frac{1}{n_{\text{рпр}}} \left[\sum_{i=1}^{l_1} K_{1,1(i)} + \sum_{z=1}^{l_2} K_{0,0(z)} + \sum_{e=1}^{l_3} K_{0,1;1,0(e)} \right], \quad (8)$$

где $l_1 + l_2 + l_3 = \Pi_{\text{рпр}}$ – общее число градаций индивидуальных признаков.

Так как $K_{0,1} = K_{1,0} = -1$, выражение (8) может быть приведено к виду [8]:

$$K_{\text{сх}} = \frac{1}{n_{\text{рпр}}} \left[\sum_{i=1}^{l_1} \frac{1}{x_{1(i)}} + \sum_{z=1}^{l_2} \frac{1}{x_{0(k)}} \right] - 1. \quad (9)$$

Значения ($K_{\text{сх}}$) образуют квадратную матрицу, $M_1 = ||K_{\text{сх}}||$ (таблица 2), которая имеет следующие свойства [2, 4]:

$$\begin{cases} \frac{N-2}{2} > K_{\text{сх}} \geq -1 \\ N-1 > K_{\text{сх}} \geq \frac{1}{N-1} \\ K_{i,j} > K_{i,m} \end{cases} \quad (10)$$

Таблица 2 – Матрица коэффициента сходства протоколов различных подсистем сигнализаций

Протоколы сигнализации	Протоколы сигнализации				
	1	...	j	...	m
...	$K_{\text{сх}1-1}$	...	$K_{\text{сх}1-j}$	...	$K_{\text{сх}1-m}$
...
j	$K_{\text{сх}1-j}$	...	$K_{\text{сх}j-j}$	...	$K_{\text{сх}j-n}$
...
m	$K_{\text{сх}m-1}$	...	$K_{\text{сх}m-j}$	...	$K_{\text{сх}m-m}$

Отрицательные значения $K_{i,m}$ указывают на то, что различий между сравниваемыми элементами больше, чем сходства. Поэтому при отрицательном значении ($K_{\text{сх}}$) можно однозначно сделать вывод о принадлежности элементов к различным классам объектов. Положительное значение ($K_{\text{сх}}$) свидетельствует о сходстве, причем сходство не полное, так как $K_{i,i} > K_{i,m}$.

Следовательно, диагональные значения матрицы M_1 могут характеризовать потенциальные возможности подсистемы распознавания при условии наличия полных эталонов («сравнение самого с собой»). Остальные значения характеризуют только степень сходства.

Значения коэффициентов сходства матрицы M_1 учитывают информативность отдельного индивидуального признака и как часто эти признаки встречаются у сравниваемых элементов. Следовательно, можно сделать вывод: чем более редкими (информативными) признаками обладает объект распознавания, тем вероятность распознавания будет больше, а ошибка в определении сходства с эталоном меньше. Этот

вывод полностью соответствует основному положению теории информации: чем реже встречается признак, тем информативность его выше [2].

Поскольку значения K_{cx} для каждой пары из $\{N_j\}$ протоколов является величиной случайной (в силу случайности появления события-признака E_i из множества E_i для подсистемы распознавания злоумышленника), то ошибка в оценке степени сходства между сравниваемыми элементами может быть определена с помощью неравенства Чебышева [3]:

$$P \{ |\bar{K}_{cx} - \alpha| < \varepsilon \} > \sqrt{P_{расп}}; N > N_0 = \frac{\sigma_k^2}{\varepsilon^2 P_{расп}}, \quad (11)$$

где \bar{K}_{cx} – среднее значение коэффициента сходства по всем элементам матрицы M_2 ;

α – математическое ожидание величины $K_{i,m}$;

σ_k – дисперсия случайной величины $K_{i,m}$;

ε – требуемая точность оценки;

$\sqrt{P_{расп}} = 1 - P_{расп}$ – требуемая достоверность оценки вероятности распознавания ($P_{расп}$).

Основная теорема количественной таксономии доказывает [2], что:

$$\begin{aligned} 1) \sum_m^{N-1} K_{i,m} + K_{i,i} &= 0 \\ 2) \sum_i^N K_{i,i} &= n \\ 3) \bar{K}_{cx} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Следовательно, значение σ можно определить из выражения:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^n \sum_{i=1}^n (K_{im} - \bar{K})^2}{n^2}}, \quad (13)$$

которое после подстановки выражений (6) и (7) приводится к виду [8]:

$$\sigma_k = \frac{1}{n_{рпр}} \sqrt{2 \sum_{i=1}^{l_1} r_{A_i B_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{l_2} r_{A_i B_k}^2 + n_{рпр}}, \quad (14)$$

где $l_1 + l_2 - 2 = n_{рпр}(n_{рпр} - 1)$;

$$r_{AB} = \frac{P(AB) - P(A) \cdot P(B)}{\sqrt{P(A) \cdot P(\bar{A}) \cdot P(B) \cdot P(\bar{B})}}, \quad (15)$$

$r_{A_i B_i}$ – коэффициент корреляции, характеризующий наличие связи между признаками A_i и B_i ;

$r_{A_i B_k}$ – коэффициент корреляции между i -ой и k -ой градацией признака A и B .

Для упрощения вычислений σ_k по результатам полученных значений коэффициентов корреляции индивидуальных признаков протокола общеканальной сигнализации №7 строится матрица M_2 , представленная в таблице 3.

Таким образом, можно получить основные характеристики некоторой функции распределения степени сходства между протоколами различных подсистем сигнализаций. Рассматривая значения (K_{cx}) как совокупность точек, расположенных относительно центра рассеивания ($K_{cx} = 0$), можно получить некоторую функцию распределения с параметрами усечения $K_{min} = -1$ и $K_{max} = n - 1$ [5]. На рисунке 1 представлено эмпирическое распределение ($K_{i,m}$) элементов протокола сигнализации

ИТКС военного назначения, где по оси ординат отложена относительная плотность P_k , а по оси абсцисс – границы разрядов значений $K_{i,m}$.

Таблица 3 – Матрица коэффициента корреляции индивидуальных признаков протокола общеканальной сигнализации №7

Номер признака	Номер признака				
	1	...	i	...	n
1	r_{1-1}	...	r_{1-i}	...	r_{1-n}
...
i	r_{i-1}	...	r_{i-i}	...	r_{i-n}
...
n	r_{n-1}	...	r_{n-i}	...	r_{n-n}

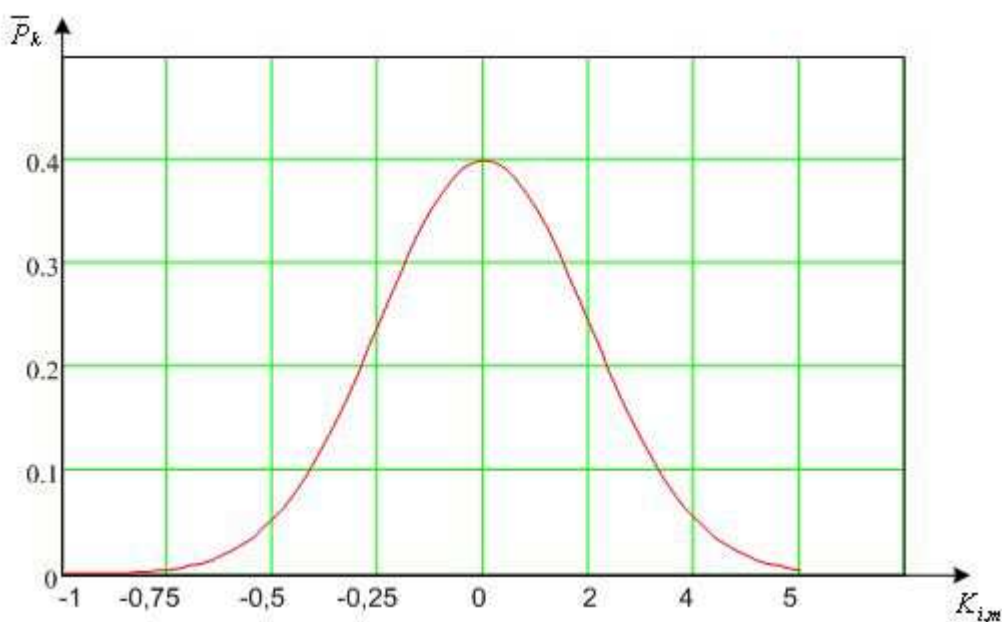


Рисунок 1 – Плотность эмпирического распределения коэффициента сходства протоколов различных подсистем сигнализаций

Следовательно, выражение для расчета вероятности распознавания $P_{расп}$ как функции $F(K_{сх}; \bar{K}_{сх}; \sigma_k; K_{min}; K_{max}) = P_{расп}$ можно записать в виде:

$$P_{расп} = \begin{cases} 1, & \text{при } K_{сх} \geq K_{сх max}; \\ A [\Phi_0(t) - \Phi_0(t_1)], & \text{при } K_{сх min} \leq K_{сх} \leq K_{сх max}; \\ 0, & \text{при } K_{сх} < K_{сх min}, \end{cases} \quad (16)$$

где $A = \frac{1}{\Phi_0(t) - \Phi_0(t_1)}$; $t = \frac{K_{сх}}{\sigma_k}$; $t_1 = \frac{K_{сх min}}{\sigma_k}$; $t_2 = \frac{K_{сх max}}{\sigma_k}$;

$$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \text{интеграл вероятности [6].}$$

По полученным результатам осуществляется построение матрицы вероятностей распознавания M_3 . Диагональные значения матрицы $P_{расп(jj)} = P_{расп(m)}$ характеризуют полностью обученную подсистему распознавания злоумышленника, т.к. сравнение «с самим собой» в этом случае равносильно операции сравнения с эталоном, хранящимся в памяти данной подсистемы. Симметричные недиагональные значения $\|P_{расп(jm)}\|$ показывают величину сходства при сравнении между собой, обнаруженных объектов по выделенной совокупности индивидуальных признаков.

Таблица 4 – Матрица вероятностей распознавания протоколов сигнализаций

Протоколы сигнализации	Протоколы сигнализации				
	1	...	j	...	m
...	$R_{расп1-1}$	...	$R_{расп1-j}$	...	$R_{расп1-m}$
...
j	$R_{распj-1}$	...	$R_{распj-j}$	...	$R_{распj-n}$
...
m	$R_{распm-1}$	...	$R_{распm-j}$	...	$R_{распm-m}$

Используя значения матрицы M_3 , можно рассчитать вероятность распознавания по выражению:

$$R_{расп ПС} = \frac{\sum_{m=1}^N R_{расп(m)}}{N_{ПС}}$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, метод таксономического анализа позволяет расширить рамки исследований индивидуальных признаков и учитывать наличие корреляционных связей между ними при оценке вероятности распознавания протоколов общеканальной сигнализации №7 по степени сходства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Росляков А.В. ОКС № 7: Архитектура, протоколы, применение. – М.: Эко - Трендз, 2008. – 320 с.
2. Смирнов Е.С. Таксономический анализ. – М.: Моск. ун-т, 1969. – 187 с.
3. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. – М.: Сов. радио, 1976. – 344 с.
4. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика. 1988. – 176 с.
5. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: Наука, 2001. – 295 с.
6. Абезгауз Г.Г. и др. Справочник по вероятностным расчетам. – М.: Воениздат, 1970. – 416 с.
7. Методические указания к выполнению домашних заданий по дисциплине «Многомерные статистические методы» / Сост.: В.Н. Калинина, В.И. Соловьев; ГУУ. – М., 2005. – 47 с.
8. К. Верхаген, Р. Дейн и др. Распознавание образов. Состояние и перспективы. – М: «Радио и связь», 1985.

9. Системный анализ и структуры управления (Книга восьмая). Под общ. ред. проф. В.Г. Шорина. – М.: Знание, 1975. – 303 с.
10. Тарловский Г.Р., Фомин Я.А. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь, 1986.

Харченко Олег Васильевич

Военная академия связи, г. Санкт-Петербург

Кандидат военных наук, старший научный сотрудник

Зам. начальника кафедры «Радиоэлектронной защиты, безопасности связи и информации»

Тел.: 556-94-15

E-mail: KhOIVAS@ Rambler.ru

Игнатенко Александр Витальевич

Военная академия связи, г. Санкт-Петербург

Адъюнкт кафедры «Радиоэлектронной защиты, безопасности связи и информации»

Тел.: 556-90-26

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.3

Д.Е. ГОРОХОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕАЛИЗАЦИИ УГРОЗ
ДЛЯ АПРИОРНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ОБЪЕКТА ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Рассмотрены особенности реализации различных типов угроз. Предложена модель реализации умышленных информационных угроз в предположении, что потенциальный злоумышленник является информационным субъектом, способным к обучению.

Ключевые слова: информационная угроза; модель; нарушитель.

The model of intentional information threats realization process is suggested. The deliberate criminal is considered to be an information subject with learning capability.

Keywords: information threats; model; deliberate criminal.

На сегодняшний день проектирование комплексной системы защиты информации заключается в выборе подходящего комплекса средств защиты из существующего многообразия отдельных средств.

Анализ методической базы процесса проектирования комплексных систем защиты информации показывает его недостаточную методическую обеспеченность, особенно в части априорной оценки эффективности проектных вариантов комплекса средств защиты.

Таким образом, актуальной является разработка моделей, позволяющих оценивать априорную эффективность функционирования проектных вариантов комплекса средств защиты информации, а также методики оптимизации КСЗ на основе полученной модели.

Множество угроз, которым подвергается защищаемая информация, можно условно разделить на различные классы. Вопросы классификации угроз рассмотрены в большом количестве работ. С точки зрения рассмотрения процесса реализации принципиальным представляется выделение умышленных и неумышленных угроз.

В настоящей работе предлагается выделить различия в процессе реализации данных классов угроз. Так, процесс реализации случайных искусственных угроз практически не отличается от процесса реализации естественных. Появление таких угроз приближенно описывается пуассоновским потоком событий:

$$P_{\text{возн}_k}(t) = 1 - e^{-\lambda_k t}. \quad (1)$$

Значение средней интенсивности возникновения угроз в данной формуле выражается переменной λ_k и может быть оценено, исходя из статистики возникновения инцидентов на подобных объектах. Возможность использования такого подхода объясняется отсутствием умысла или какого-либо управления процессом возникновения и реализации случайных угроз.

Вероятность причинения ущерба защищаемым информационным ресурсам определяется выражением:

$$P_{\text{Н}_k} = P_{\text{возн}_k} \cdot P_{\text{реал}_k}. \quad (2)$$

Реализация k -ой угрозы возможна в случае безуспешного противодействия всех средств защиты, и её вероятность может быть вычислена по формуле:

$$P_{\text{реал}_k}(\vec{x}) = \prod_i (1 - (1 - P_{ik}) x_i) . \quad (3)$$

Преднамеренные угрозы характеризуются наличием управления процессом реализации со стороны потенциального злоумышленника. Случаи появления таких угроз уже не являются независимыми. Злоумышленник, реализуя некоторое деструктивное воздействие, стремится достичь определенной цели. Пусть цель злоумышленника состоит в максимизации некоторой функции дохода $d(y)$. Т.е. он будет реализовывать ту угрозу и в отношении того актива, который принесет ему больший доход:

$$y_{ij} : d(y_{ij}) \rightarrow \max_{ij} . \quad (4)$$

Поскольку потенциальный злоумышленник изначально не обладает сведениями относительно системы защиты информации и информационных активов объекта информатизации, ему необходимо на этапе сбора сведений определить функцию $d(y_{ij})$. Таким образом, модель реализации злоумышленником деструктивных воздействий предлагается представить в виде трехэтапной процедуры, изображенной на рисунке 1.

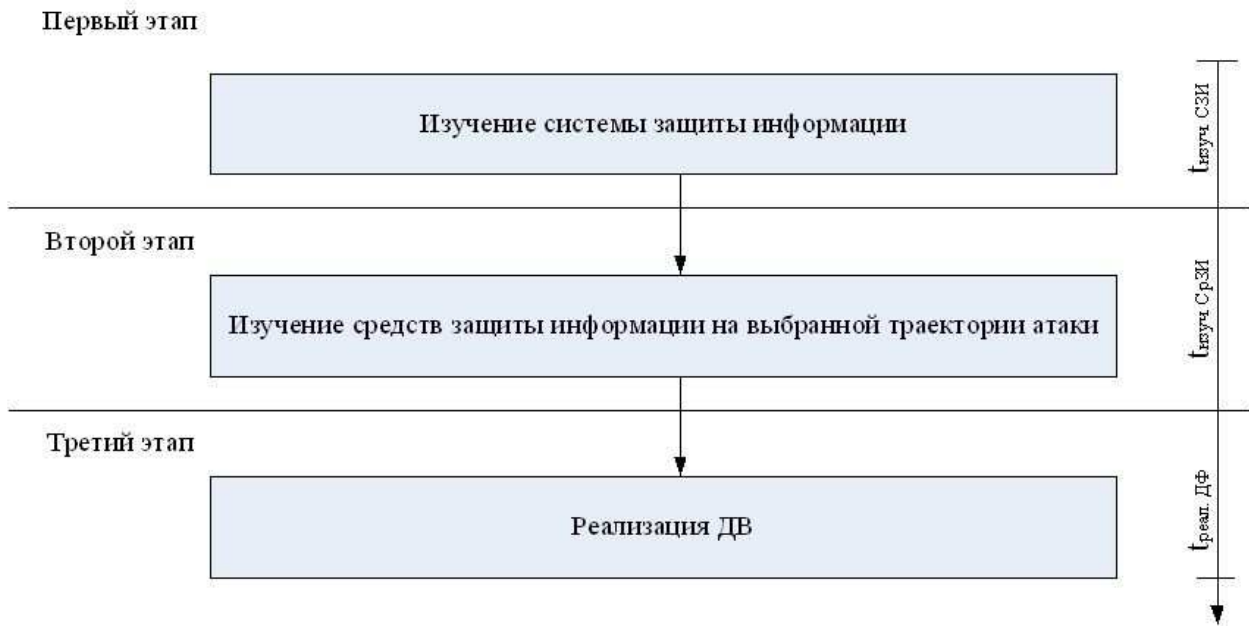


Рисунок 1 – Модель деятельности злоумышленника по реализации информационной угрозы

В общем случае комплексную систему защиты информации предлагается рассматривать как сложную социотехническую систему, одной из особенностей которой является постоянный переход по определенным законам на множестве состояний.

Полагая, что злоумышленник действует по описанной выше схеме, можно выделить следующие состояния:

S_1 – система функционирует в штатном режиме, злоумышленник осуществляет анализ системы защиты информации объекта информатизации с целью определения наиболее уязвимых её элементов. Время, затрачиваемое злоумышленником на данном этапе, является случайной величиной и зависит от

начальных знаний злоумышленника об изучаемой системе и его возможностей по её изучению (наличие необходимого уровня экспертов, технических возможностей и т.д.);

S_2 – состояние, соответствующее ситуации, когда злоумышленник изучил систему защиты объекта от реализации угрозы, определил траекторию атаки и теперь исследует находящиеся на этой траектории средства защиты информации на предмет возможности их обхода или нейтрализации. Время, затрачиваемое на это, также является случайной величиной и зависит от параметров изучаемых средств защиты информации и возможностей злоумышленника;

S_3 – состояние, заключающееся в том, что злоумышленник проанализировал средства защиты информации, выявил слабые места и приступил к реализации атаки;

S_4 – соответствует ситуации, когда деструктивное воздействие реализовано.

Очевидно, в начальный момент времени рассматриваемый процесс находится в состоянии S_1 .

Известно, что процесс в момент времени $t + \Delta t$ может принять состояние S_i если:

– в момент t он будет находиться в некотором состоянии $S_j (j \neq i)$ и на интервале Δt перейдет из S_j в S_i ;

– в момент t он будет в состоянии S_i и за Δt ни в какое другое состояние не перейдет.

Тогда вероятность нахождения процесса в состоянии S_i в момент $t + \Delta t$ определяется выражением:

$$P \{S(t + \Delta t) = S_i\} = P_i(t + \Delta t) = \sum_{j \neq i} P_j(t) P_{ji}(t + \Delta t) + P_i(t) (1 - \sum_{i \neq j} P_{ij}(t + \Delta t)). \quad (5)$$

Основываясь на положениях теории информационной войны [1] и учитывая, что защитные механизмы способны не только препятствовать непосредственной реализации ДВ, но и затруднять изучение злоумышленником СЗИ (препятствовать сбору сведений о СЗИ), модель процесса изучения ОИ нарушителем можно представить выражением:

$$P_{изуч\ СЗИ} = f(N_0, k, \alpha, t), \quad (6)$$

где N_0 – относительный уровень начальных знаний злоумышленника об атакуемом ОИ (и его СЗИ), значение которого находится в полуинтервале $(0; 1]$; k – коэффициент, отражающий способность злоумышленника по добыванию информации (наличие соответствующих технических и организационных средств, знаний, экспертов и т.д.); α – коэффициент, отражающий усложнение анализа СЗИ злоумышленником.

Очевидно, высоких значений результативности защиты можно добиться не только препятствуя реализации информационных угроз, но и путем усложнения процесса сбора сведений потенциальным злоумышленником.

Основываясь на положениях работ [2 – 4] можно предположить, что задача изучения (расшифровки) программы длины N , написанной на некотором алгоритмическом языке, по сложности соизмерима с написанием программы длиной N бит на том же языке. В этих же работах получены зависимости, позволяющие связать среднее время изучения средств защиты с параметрами этих средств.

Вероятность изучения злоумышленником средства защиты информации за время t определяется выражением:

$$P_{и}(t) = 1 - e^{-\frac{(t + t_0) \bmod T_{мод}}{g(\xi)}}, \quad (7)$$

где t_0 – время существования средства защиты, $g(\vec{\xi})$ – функция, отражающая связь времени изучения средства защиты злоумышленником с вектором его параметров $\vec{\xi} = \{\xi_1, \dots, \xi_n\}$. При рассмотрении процесса изучения средства защиты необходимо учитывать процедуру управления, которая заключается в изменении его структуры, алгоритма функционирования и т.д.. Предлагается учесть данный тип управления в выражении для вероятности изучения средства защиты, введя дополнительный параметр – время модификации параметров средства защиты $T_{\text{мод}}$.

Изучение средств защиты может осуществляться одновременно и независимо. Значит, вероятность изучения всех средств защиты потенциальным злоумышленником описывается выражением:

$$P_{\text{изуч СРЗИ}} = \prod_j P_j. \quad (8)$$

Обладая такими знаниями, злоумышленнику остается лишь реализовать деструктивное воздействие, однако в силу своей инерционности злоумышленник не способен реализовать его мгновенно. Таким образом, для преодоления каждого рубежа злоумышленнику потребуется некоторое случайное время t , зависящее от качества противодействия средств защиты.

Известно, что вероятность преодоления злоумышленником защитного механизма при условии, что он обладает полной информацией об атакуемой системе и средствах защиты информации, определяется выражением:

$$P_{\text{преод}}(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{преод}}}}, \quad (9)$$

где $T_{\text{преод}}$ – среднее время преодоления средства защиты идеальным злоумышленником.

Любая система защиты строится по рубежной архитектуре [9]. На каждом рубеже может находиться k средств защиты, препятствующих реализации некоторой угрозы y_j . При этом случайные события, заключающиеся в преодолении злоумышленником отдельных средств независимы. Тогда вероятность реализации угрозы определяется выражением:

$$P_i^{Y_j} = \prod_k p_k^{y_j}. \quad (10)$$

Преодоление рубежей защиты происходит последовательно. Таким образом, этот процесс представляет собой последовательную смену состояний и по истечении некоторого конечного времени T окажется в некотором невозвратном состоянии, которое описывает преодоление злоумышленником всех рубежей защиты. В этом случае вероятность нахождения процесса в состоянии S_i в каждый момент времени описывается выражением:

$$\begin{cases} P_1(t + \Delta t) = P_1(t) - P_1(t)P_1^{y_j}(t + \Delta t) \\ P_2(t + \Delta t) = P_1(t)P_1^{y_j}(t + \Delta t) + P_2(t)(1 - P_2^{y_j}(t + \Delta t)) \\ P_l(t + \Delta t) = P_{l-1}(t)P_{l-1}^{y_j}(t + \Delta t) + P_l(t)(1 - P_l^{y_j}(t + \Delta t)) \\ P_{N+1}(t + \Delta t) = P_N(t)P_N^{y_j}(t + \Delta t) \end{cases}. \quad (11)$$

Тогда выражение (5) можно конкретизировать для решаемой задачи и преобразовать к виду (12).

Решая представленную выражением (12) систему, получим $P_4(t)$ – вероятность реализации умышленной информационной угрозы за время t для заданного набора средств защиты информации и потенциальных угроз (13).

$$\begin{cases} P_1(t + \Delta t) = P_1(t) - P_1(t)P_{\text{изуч СЗИ}}(t + \Delta t) \\ P_2(t + \Delta t) = P_1(t)P_{\text{изуч СЗИ}}(t + \Delta t) + P_2(t)(1 - P_{\text{изуч СРЗИ}}(t + \Delta t)) \\ P_3(t + \Delta t) = P_2(t)P_{\text{изуч СРЗИ}}(t + \Delta t) + P_3(t)(1 - P_{\text{реал ДВ}}(t + \Delta t)) \\ P_4(t + \Delta t) = P_3(t)P_{\text{преод}}(t + \Delta t) \end{cases} \quad (12)$$

$$P_{\text{усп уМ}}(x, y, t) = P_4(t). \quad (13)$$

В настоящее время широко используется экспериментальный подход к оценке возможности системы защиты противостоять воздействиям информационных угроз, который хорошо зарекомендовал себя в банковской сфере. Однако использование такого подхода для создания системы, проверенной на практике, требует значительных временных и материальных затрат.

Предлагается применить экспериментальный подход для оценки возможности отдельных средств защиты информации противостоять конкретным информационным угрозам. Затем в аналитических расчетах использовать результаты экспериментов, содержащие значения среднего времени преодоления этих средств защиты злоумышленником, знающим всё о соответствующем средстве и обладающим максимальным ресурсом для реализации соответствующей угрозы.

Тогда, можно оценить величину риска от реализации любой случайной угрозы в отношении любого защищаемого актива в соответствии с выражением:

$$R_{ik} = P_{ik} \cdot M[l_{ik}] \quad (14)$$

где $M[l_{ik}]$ – математическое ожидание величины ущерба, нанесенного организации в случае успешной реализации k -ой угрозы в отношении i -ого информационного актива,

P_k – вероятность успешной реализации k -ой угрозы в отношении i -ого информационного актива. Риск характеризует результативность защитных механизмов с учетом ценности защищаемых активов. Анализ матрицы рисков позволяет выявить наименее защищенный актив и наиболее опасную угрозу. А задавшись уровнем допустимого риска проектировщик имеет возможность определить эффективность защитных мер в отношении каждой пары "актив-угроза" по критерию допустимости:

$$R_{ij} \leq R^*,$$

где R^* – уровень допустимого риска.

Учитывая целенаправленный характер деятельности злоумышленника по максимизации дохода (4), предлагается эффект от использования варианта комплекса средств защиты оценивать значением максимального риска либо в случае задания порогового уровня риска периодом приемлемого риска.

Применение описанной выше модели позволит повысить обоснованность оценки качества реализации защитных функций СЗИ по сравнению с экспертными методами, а также оперативность и экономичность её проведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расторгуев С.П. Информационная война. Проблемы и модели. Экзистенциальная математика: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям в области информационной безопасности / С.П. Расторгуев – М.: Гелиос АРВ, 2006. – 240 с. ISBN 5-85438-145-1.
2. Иванов В.П., Иванов А.В. К вопросу о выборе технических средств защиты информации от НСД. / И.П. Иванов, А.В. Иванов // Защита информации. INSIDE №1-2, 2006.
3. Холстед М.Х. Начала науки о программах. – М.: Финансы и статистика, 1981.
4. Липаев В.В. Качество программного обеспечения. – М.: Финансы и статистика, 1983.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
6. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. – М.: АСТ, 2006 – 504 с.
7. Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты / В.В. Домарев. – К.: ООО «ТИД «ДС», 2001. – 688 с.
8. ГОСТ Р 51275-99 Защита информации. Объект информатизации. Факторы воздействующие на информацию. Общие положения.
9. Герасименко В.А. Защита информации в автоматизированных системах обработки данных. – М.: Энергоатомиздат, 1994.

Горохов Денис Евгеньевич
Академия ФСО России, г. Орел
Адъютнт
Тел.: (4862) 41-99-51
E-mail: gde@inbox.ru