

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Камчатский государственный технический университет»

# НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ, ИННОВАЦИИ: ПУТИ РАЗВИТИЯ

*Материалы  
Пятой всероссийской научно-практической конференции  
(18–20 марта 2014 г.)*

*Часть I*



Петропавловск-Камчатский  
2014

УДК [001+37+001.895](063)  
ББК 72+74  
Н34

Ответственный за выпуск

*Я.В. Ганич,*  
кандидат экономических наук, доцент

Редакционная коллегия

*Е.В. Клиппенштейн, к.с.н.; К.В. Алтухов, к.т.н.; В.А. Агеев;  
И.В. Ильина; О.В. Мандрикова, д.т.н.; С.В. Чебанюк; В.А. Швецов, д.х.н.*

Н34

**Наука, образование, инновации: пути развития** : материалы Пятой всероссийской научно-практической конференции (18–20 марта 2014 г.) / отв. за вып. Я.В. Ганич. – Ч. I. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2014. – 130 с.

ISBN 978-5-328-00289-9  
ISBN (ч. I) 978-5-328-00290-5

В сборнике рассматриваются вопросы социально-экономического развития общества и государства, модернизации системы образования и проблемы техники и технологий. Авторами представленных докладов являются ведущие сотрудники научно-исследовательских институтов, преподаватели, аспиранты высших учебных заведений, в том числе КамчатГТУ, сотрудники организаций, которые занимаются изучением современного состояния науки, образования и инноваций в этой сфере.

УДК [001+37+001.895](063)  
ББК 72+74

ISBN (ч. I) 978-5-328-00290-5  
ISBN 978-5-328-00289-9

© КамчатГТУ, 2014  
© Авторы, 2014

## Содержание

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<b>Клиппенштейн Е.В.</b> Проблемы развития высшего профессионального образования в России .....	5
<b>Мандрикова О.В., Фетисова (Глушкова) Н.В.</b> Моделирование и анализ временного хода параметров ионосферы на основе многокомпонентной модели .....	7
<b>Токарева Г.А.</b> Управление в информационном обществе: моделиобразующие факторы .....	12

### Секция 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

<b>Барабанова Е.А., Мальцева Н.С., Барабанов И.О.</b> Маршрутизирующий коммутатор с параллельной обработкой для магистральных сетей передачи данных .....	17
<b>Бейльханов Д.К., Квятковская И.Ю.</b> Применение модели компетенций в системе поддержки принятия решений.....	23
<b>Вотинов М.В.</b> Информационная безопасность систем автоматического управления .....	26
<b>Германов К.С., Жидоусова Т.С., Мальцев Д.Б.</b> Параллельная обработка информации в инфокоммуникационных сетях .....	28
<b>Голубкин И.А.</b> Модификация модели нечеткого ситуационного управления для решения задачи перемещения мобильного робота в газопроводе .....	31
<b>Дмитриев В.Л.</b> Проверка уровня усвоения учебного материала на основе дистанционного тестирования .....	37
<b>Елисеев И.Ю., Папшева С.Ю.</b> Анализ быстродействия алгоритма поиска простых чисел при различной организации параллельных вычислений .....	41
<b>Кочкин Г.А., Кочкина В.Р.</b> Оценка близости прецедентов .....	47
<b>Мандрикова О.В., Жижикина Е.А.</b> Анализ геомагнитных данных на основе совмещения вейвлет-преобразования с радиальными нейронными сетями .....	51
<b>Мандрикова О.В., Соловьев И.С.</b> Технология выделения возмущений и оценки состояния магнитного поля Земли на основе вейвлет-пакетов .....	58
<b>Нгуен З.Т., Щербатов И.А.</b> Использование видеокамеры «Microsoft Kinect» и алгоритма «Surf» для обнаружения неподвижных препятствий мобильным роботом в зданиях и сооружениях .....	63
<b>Пангина А.И., Козырькова А.О.</b> Автоматическая система управления дорожным движением на пересечении улицы Лукашевского и проспекта 50 лет Октября .....	67
<b>Полозов Ю.А., Мандрикова О.В.</b> Аппроксимация и анализ временных рядов критической частоты ионосферы Fof2 на основе вейвлет-преобразования и коллективов нейронных сетей .....	71

<b>Пустохайлова Е.А., Семейкин В.Д.</b>	
Беспроводные самоорганизующиеся сенсорные сети .....	76
<b>Селяков И.Ю., Кайченев А.В., Власов А.В.</b>	
Учебно-лабораторный стенд «Автоматическая система регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока» .....	80
<b>Шангитбаев Н.К., Шангытбаева Г.А.</b>	
Безопасность в информационных системах .....	82
<b>Шангытбаева Г.А.</b>	
Современные автоматизированные системы управления предприятием .....	84
<b>Шаталович М.Ю., Мандрикова О.В., Бычков В.В.</b>	
Классы ионограмм в задачах автоматической обработки и определения параметров ионосферы .....	89

## Секция 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Батуев Э.Н.</b>	
О спектре некоторых дифференциальных операторов .....	93
<b>Буй Л.В.</b>	
Применение метода анализа иерархии для рационального выбора сканирующих приемников и трансиверов .....	95
<b>Горюшкин А.П.</b>	
О свободной дополняемости подгрупп гиперболических групп .....	99
<b>Жирнова А.В.</b>	
Моделирование системы управления телекоммуникационной компанией на основе методологии системного подхода .....	102
<b>Ильин И.А., Ильина И.В., Пережогин А.С., Нощенко Д.С.</b>	
Солитонные решения дифференциальных уравнений девятого порядка .....	106
<b>Недвигина Н.Л.</b>	
Достоинства, недостатки, принципы подготовки и применение электронных учебников в образовательном процессе в высшем учебном заведении .....	111
<b>Ригель А.А.</b>	
Моделирование плоских векторных полей средствами комплексного анализа .....	118
<b>Фам К.Х., Квятковская И.Ю.</b>	
Применение метода Бофа для решения задачи оптимизации при выборе поставщика телекоммуникационных услуг .....	122
<b>Чермошнцева А.А., Карноушенко М.О.</b>	
Исследование разностных схем для численного решения задач теплопроводности .....	126

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 378(470)

### ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ

**Е.В. Клиппенштейн**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

В настоящей статье обобщены ключевые проблемы развития системы высшего профессионального образования и определены основные направления изменений в образовательном процессе, обеспечивающие качество подготовки специалистов.

Очевидно, что развитие высшего профессионального образования должно быть направлено на удовлетворение требований рынка труда, а со вступлением в Болонский процесс, и на создание качественно новой профессиональной школы.

Успешность содержания и технологий обучения во многом связана с тем, насколько эффективно будет сокращаться нарастающее несоответствие качества образования предъявляемым к нему требованиям работодателей. По оценке экспертов более четверти выпускников учреждений высшего профессионального образования не трудоустраиваются по полученной в учебном заведении специальности. А в случае поступления на работу по специальности они не владеют современными и эффективными способами деятельности на производстве [1].

Проблема обеспечения качества услуг высшего профессионального образования является одной из наиболее сложных и важных социальных проблем отечественной высшей школы. Качество образовательной деятельности характеризуется различными составляющими:

- государственным стандартом высшего профессионального образования и качеством его реализации;
- качеством профессорско-преподавательского состава вуза;
- качеством материально-технической базы высшего учебного заведения;
- качеством методического, библиотечного и информационного обеспечения учебного процесса;
- качеством организации учебного процесса в учебном заведении;
- качеством субъектов обучения.

Ослабление роли государства в сфере высшего профессионального образования и неконтролируемый рост количества филиалов вузов в малых и средних городах России привели к возникновению серьезных социальных проблем. Во-первых, государство утратило возможность активно влиять на характер и структуру подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием, вследствие чего возникли перепроизводство кадров по ряду гуманитарных и социально-экономических направлений подготовки и дефицит специалистов технического профиля. Во-вторых, возникла разветвленная сеть филиалов государственных и негосударственных высших учебных заведений, среди которых многие не располагают квалифицированными педагогическими кадрами и достаточной учебно-лабораторной базой для обеспечения надлежащего качества подготовки специалистов.

При сохранении существующей структуры и институтов будет продолжаться расхождение между формальной системой образования и практическим поведением ее участников и потребителей. Феномен «общего высшего образования» – обучение для диплома – будет в возрастающем числе случаев вести к поиску абитуриентами таких вузов, которые требуют от них минимальных усилий. В результате за счет государства будет обеспечиваться набор базовых социальных компетенций, а профессиональное обучение станет исключительно платным. Это

приведет к окончательной остановке социальных лифтов, обеспечиваемых образованием. Растущий дефицит квалифицированных рабочих и других работников «исполнительского типа» будет вести к дальнейшему расширению спроса на мигрантов и серьезно осложнит перспективы развития «новой» экономики (в т.ч. из-за низкого культурно-технического уровня работников). По прогнозам Минобрнауки России группа «людей с дипломом, но без квалификации» может составить в 2020 г. 10–12 млн чел. (20% трудоспособного населения) [2].

Одной из серьезных проблем является интеграция российской системы образования в Болонский процесс. Существуют противоречивые точки зрения на этот процесс: есть мнение, что переход России на двухуровневую систему может привести к окончательной деградации и развалу всей отечественной системы высшего образования, но с другой стороны, присоединение России к Болонскому процессу дает высшему образованию новый импульс развития, способствует его модернизации и появлению дополнительных возможностей для участия вузов России в проектах, которые финансируются Европейской комиссией, а также позволяет студентам и преподавателям принимать участие в обменах с университетами европейских стран. А пока присоединение России к Болонскому процессу вызывает путаницу с учебными программами и присваиваемыми квалификациями: многие работодатели не вполне ясно представляют себе сопоставление западных степеней и российских квалификаций [3].

Проблему качества высшего образования часто связывают с новыми формами обучения, особенно с появлением в образовательном процессе дистанционного обучения. Вузы в условиях необеспеченного спроса вынуждены искать новые формы реализации профессионально-образовательных услуг. Дистанционное обучение как новая форма обучения представляет собой использование в учебном процессе компьютерных технологий. Достаточно большая часть образовательной деятельности развивается посредством использования современных телекоммуникационных и информационных технологий в условиях территориальной разобщенности преподавателя и студента. Однако мобильность дистанционного обучения часто достигается за счет снижения качества обучения. Не все обучающиеся приобрели навыки самоорганизации, необходимые для успешного прохождения обучающего курса [4].

Таким образом, можно выделить шесть групп проблем, связанных с обеспечением качества подготовки специалистов в высших учебных заведениях.

Первую группу образуют проблемы состояния законодательной и нормативной базы, ее ориентации на решение проблем качества образовательных услуг в вузах РФ.

Вторая группа включает в себя проблемы источников формирования и обновления содержания высшего образования как важнейших факторов обеспечения качества подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием.

В состав третьей группы входят проблемы соответствия профессорско-преподавательского состава вузов современным требованиям к качеству подготовки специалистов, а также к их педагогической деятельности.

Четвертая группа содержит проблемы соответствия уровня подготовки абитуриентов вузов требованиям к исходной подготовке студентов – будущих специалистов.

Пятую группу составляют проблемы организации образовательного процесса и внедрение в него новых (в том числе информационных) технологий, обеспечивающих достижение установленных требований к качеству подготовки специалистов.

Шестая группа представлена проблемами взаимодействия вузов со своими выпускниками и сферой их трудовой деятельности, их участием в разработке и реализации программ совершенствования качества подготовки специалистов.

Все это приводит к формированию диспропорции между требованиями рынка труда и рынка образовательных услуг, образовательными потребностями личности. Преподаватели и студенты должны изучать и понимать суть конфликтов, порожденных современным кризисом и глобализацией, т.е. тех условий, в которых им придется реализовывать полученные знания.

Если исходить из этого принципа, то образовательный процесс должен быть не «пакетным», а проблемно-ориентированным. Если же образовательный процесс построен по принципу слоевого пирога (одно знание накладывается на другое, третье и т.д.), то мы ставим студента в трудное положение: для решения конкретной задачи он должен извлекать и трансформировать книжное знание в проблемное сам. Как показывает мой опыт, он сам этого сделать не может, потому что у него учебное знание в одном «ящичке» мозга, а «знание-для-дела» в другом. Пер-

вый, как правило, переполнен, а второй – почти пуст. Как отмечали студенты, получаемые ими знания часто наслаиваются, но не расширяют кругозор, так как во многих курсах повторяется одна и та же информация, она не углубляется, а именно наслаивается [5].

Студенты должны владеть основными правилами игры в разных обществах и культурах. Отсюда вытекает ряд требований к институту российского высшего образования:

- 1) он должен «смотреть» не только на Запад, но и на Юг и Восток;
- 2) необходимо преодоление разрыва книжного и практического образования, что, в частности, обеспечивается соучастием студента в образовательном и исследовательском процессах;
- 3) необходимо личное общение преподавателя и студента как неременное условие развития функциональной грамотности и межкультурного диалога;
- 4) обязательное использование в этих целях огромного образовательного ресурса, накопленного организациями гражданского общества (НКО, общественными советами, консалтинговыми и экспертными фирмами и т.д.);
- 5) надо как можно скорее переходить от раздачи финансовой помощи студентам и вузам к модернизации всей системы высшего образования.

### Литература

1. Данилова И.Ю. Проблемы модернизации высшего профессионального образования в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.superinf.ru/view\\_helpstud.php?id=1041](http://www.superinf.ru/view_helpstud.php?id=1041).

2. Дискуссионный клуб Минобрнауки России, Развитие системы профессионального образования в России: анализ ситуации, проблемы, вызовы, решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mononline.ru/articles/2012/11/17/razvitie-sistemy-professionalnogo-obrazovaniya-v-rossii-analiz-situacii-problemy-vyzovy-resheniya.html>

3. Сокольник И.В. Современные тенденции и проблемы развития рынка услуг высшего профессионального образования // Регионоведение. – 2012. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://regionsar.ru/node/1011>.

4. URL: [ЕВ%ЕЕ%ЕД%F1%ЕА%Е8%Е9\\_%ЕF%F0%ЕЕ%F6%Е5%F1%F1](http://www.mononline.ru/articles/2012/11/17/razvitie-sistemy-professionalnogo-obrazovaniya-v-rossii-analiz-situacii-problemy-vyzovy-resheniya.html)

5. Проблемы качества образования / Общие проблемы качества образования: Материалы XIV Всерос. совещ. – М.; Уфа: Исслед. центр проблем качества подготовки специалистов, 2004. – Кн. 6. – С. 68.

6. Яницкий О.Н. Высшее образование: проблемы, перспективы (размышление после дискуссии) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.isras.ru/blog\\_yan\\_2.html](http://www.isras.ru/blog_yan_2.html).

УДК 519.6:551.510.413.5

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВРЕМЕННОГО ХОДА ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ МОДЕЛИ

**О.В. Мандрикова, Н.В. Фетисова (Глушкова)**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский;*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
Паратунка*

Предложен алгоритм оценки параметров многокомпонентной модели ионосферных данных, основанный на совмещении вейвлет-преобразования с моделями авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего. Многокомпонентная модель позволяет описать спокойный ход параметров ионосферы и выявлять аномалии в периоды возмущений. В процессе экспериментов использовались данные критической частоты ионосферы  $f_oF2$  над Камчаткой (данные регистрирует ИКИР ДВО РАН). На основе моделирования и анализа данных выявлены аномалии, возникающие в ионосфере в периоды повышенной солнечной и сейсмической активности на Камчатке.

## Введение

Структура ионосферы изменчива и неоднородна, ее изучение основано на анализе вариаций регистрируемых параметров среды. Ионосферные параметры заметно меняются с высотой, зависят от геомагнитных условий и географических координат, а также содержат регулярные изменения, зависящие от суточного и сезонного хода [1, 2]. Одновременно с регулярными изменениями в параметрах ионосферы могут наблюдаться разномасштабные аномальные особенности, обусловленные повышением солнечной и сейсмической активностью [1–6]. Сложная структура ионосферных данных не позволяет использовать для их обработки (особенно в переходные периоды) и анализа, а также выделения аномальных особенностей традиционные методы анализа временных рядов [3].

С использованием разработанного авторами подхода к построению модели вариаций параметров ионосферы [4–6], основанного на совмещении конструкции кратномасштабного анализа с моделями АРПСС, предлагается алгоритм оценки параметров модели. Применение конструкции кратномасштабного анализа позволяет подавить шум и представить регистрируемые данные в виде разномасштабных компонент более простой структуры, для аппроксимации которых далее используются методы АРПСС. Получаемая в процессе идентификации модель имеет многокомпонентную структуру, позволяет описать временной ход данных и построить их прогноз. На основе оценки остаточных ошибок получаемого прогноза выполняется выделение аномалий в ионосфере.

Выполнена обработка и анализ часовых данных критической частоты F2-слоя ионосферы ( $f_oF2$ ), построены многокомпонентные модели временного хода параметров ионосферы для Камчатки. Путем анализа остаточных ошибок моделей выявлены аномалии, возникающие в ионосферной плазме в периоды повышенной солнечной активности, а также в периоды сильных землетрясений на Камчатке.

## Этапы построения многокомпонентной модели

### Построение и оценка параметров многокомпонентной модели

Используя кратномасштабные разложения до уровня  $m$ , исходный временной ряд  $f_0(t)$  отображается в вейвлет-пространство и представляется в виде разномасштабных компонент [4–7]:

$$f_0(t) = \sum_{j=-1}^{-m} (g[2^j t] + e[2^{-j} t]) + f[2^{-m} t], \quad (1)$$

где  $f[2^{-m} t] \in V_{-m}$ ,  $f[2^{-m} t] = \sum_k c_{-m,k} \phi_{-m,k}(t)$  – аппроксимирующая компонента с разрешением  $(-m)$  описывает тренд ряда, где  $c_{-m,k} = \langle f, \phi_{-m,k} \rangle$  – коэффициенты разложения;  $g[2^j t] = \sum_k d_{j,k} \Psi_{j,k}(t)$  – детализирующие компоненты с разрешениями  $j = \overline{-2, -m}$  описывают разномасштабные детали, где  $d_{j,k} = \langle f, \Psi_{j,k} \rangle$  – коэффициенты разложения;  $g[2^j t] \in W_j$ ,  $W_j$  – пространство с разрешением  $j$ , порожденное вейвлет-базисом  $\Psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \Psi(2^j t - k)$ ;  $e[2^{-1} t] = \sum_k d_{-1,k} \Psi_{-1,k}(t)$  – детализирующая компонента с разрешением  $(-m) = -1$ , которая, следуя результатам работы [5], принята за шумовую составляющую.

Для выделения характерных компонент и оценки параметров многокомпонентной модели применим следующий алгоритм.

**Шаг 1.** Используя соотношение (1), выполним кратномасштабное вейвлет-разложение данных до уровня  $m = 1$ , получим представление данных в виде

$$f_0(t) = \sum_k c_{-1,k} \phi_{-1,k}(t) + \sum_k d_{-1,k} \Psi_{-1,k}(t). \quad (2)$$



**Шаг 2.** Используя традиционные подходы [8], для аппроксимирующей компоненты  $f[2^{-m}t] = \sum_k c_{-m,k} \phi_{-m,k}(t)$  с разрешением  $(-m)$  выберем модель из класса АРПСС и оценим ее параметры. Получим представление аппроксимирующей компоненты в виде:

$$f_{-m}(t) = \sum_k s_{-m,k} \phi_{-m,k}(t), \quad (3)$$

где  $s_{-m,k}(t) = \sum_{l=1}^p \gamma_{-m,l} \omega_{-m,k-l}(t) - \sum_{n=1}^h \theta_{-m,n} a_{-m,k-n}(t)$  – оценочное значение компоненты,  $\omega_{-m,k} = \nabla^v c_{-m,k}$ ,  $\nabla^v$  – оператор взятия разности порядка  $v$ ,  $p, \gamma_{-m,l}$  – порядок и параметры авторегрессии,  $h, \theta_{-m,n}$  – порядок и параметры скользящего среднего,  $a_{-m,k}$  – остаточные ошибки модели.

**Шаг 3.** Выполним оценку погрешности модели

$$E^m = \sqrt{\sum_{k=1}^K e_k^m}, \quad (4)$$

где  $e_m^k(t) = (s_{-m,k}(t) - \omega_{-m,k}(t))^2$  – ошибки модели в момент времени  $t = k + z$ , где  $z$  – порядок модели аппроксимирующей компоненты,  $K$  – длина ряда вейвлет-коэффициентов,  $s_{-m,k}(t)$  – модельные значения вейвлет-коэффициентов аппроксимирующей компоненты,  $\omega_{-m,k}(t)$  – фактические значения вейвлет-коэффициентов аппроксимирующей компоненты.

**Шаг 4.** Если  $m \leq M$  (максимальный допустимый уровень разложения  $M$  определяется длиной массива данных  $N : M \leq \log_2 N$ ), увеличиваем на 1 уровень разложения ( $m = m + 1$ ) и выполняем шаги 2, 3. Если  $m > \log_2 N$ , искомым уровнем разложения  $m^* = m$  и переходим на шаг 6.

**Шаг 5.** Оценим разницу:  $\Delta = E^m - E^{m-1}$ . Если  $\Delta \leq 0$ , то переходим к шагу 4. Если  $\Delta > 0$ , то считаем, что искомым уровнем разложения  $m^* = m - 1$ , и переходим на шаг 6.

**Шаг 6.** Используя традиционный подход [8], для детализирующих компонент  $g[2^j t] = \sum_k d_{j,k} \Psi_{j,k}(t)$ ,  $j = -2, -m$  выберем модели из класса АРПСС и оценим их параметры.

**Шаг 7.** Выполним диагностические проверки полученных моделей компонент [8]. Если диагностические проверки модели компоненты подтверждают ее адекватность данным, то будем считать, что модель компоненты готова к использованию, а данная компонента является характерной и описывает устойчивые характеристики структуры данных.

**Шаг 8.** Объединим полученные модели компонент в общую конструкцию. Получим многокомпонентную модель, описывающую временной ход данных:

$$f_0(t) = \sum_{\mu=1, M} \sum_{k=1, N_j^\mu} s_{j,k}^\mu(t) b_{j,k}^\mu(t), \quad (5)$$

где  $s_{j,k}^\mu(t) = \sum_{l=1}^{p_j^\mu} \gamma_{j,l}^\mu \omega_{j,k-l}^\mu(t) - \sum_{n=1}^{h_j^\mu} \theta_{j,n}^\mu a_{j,k-n}^\mu(t)$  – оценочное значение  $\mu$ -й компоненты,  $p_j^\mu$  – порядок авторегрессионной модели  $\mu$ -й компоненты,  $\gamma_{j,l}^\mu$  – параметры авторегрессионной модели  $\mu$ -й компоненты,  $\omega_{j,k}^\mu(t) = \nabla^{v^\mu} \beta_{j,k}^\mu(t)$ ,  $\beta_{j,k}^1 = c_{j,k}^1$ ,  $\beta_{j,k}^\mu = d_{j,k}^\mu, \mu = \overline{2, M}, v^\mu$  – порядок разности  $\mu$ -й компоненты,  $h_j^\mu$  – порядок модели скользящего среднего  $\mu$ -й компоненты,  $\theta_{j,k}^\mu$  – параметры скользящего среднего модели  $\mu$ -й компоненты,  $a_{j,k}^\mu$  – остаточные ошибки модели  $\mu$ -й компоненты,  $M$  – количество моделируемых компонент,  $N_j^\mu$  – длина  $\mu$ -й компоненты,  $b_{j,k}^1 = \phi_{j,k}$  – скэйлинг-функция,  $b_{j,k}^\mu = \Psi_{j,k}, \mu = \overline{2, M}$  – вейвлет-базис  $\mu$ -й компоненты,  $j$  – разрешение (масштаб).

**Результаты экспериментов**

В экспериментах использовались часовые данные критической частоты  $f_oF2$  Камчатского региона за период 1969–2011 г. (станция регистрации «Паратунка», ИКИР ДВО РАН). Учитывая сезонный характер ионосферного процесса, моделирование данных  $f_oF2$  проводилось отдельно для каждого сезона. В данной работе представлены этапы моделирования данных критической частоты для летнего и зимнего сезонов.

В процессе идентификации модели для кратномасштабных разложений использовались базисные функции семейства Добеши [9]. Путем минимизации погрешности для аппроксимации данных были определены вейвлеты Добеши порядка 3. На основе описанного выше алгоритма был определен уровень разложения данных ( $m = 3$ ). Полученная многокомпонентная модель временного хода  $f_oF2$  включает три компоненты и имеет следующий вид:

$$f_0(t) = f[2^{-3}t] + \sum_{j=-2}^{-3} g[2^j t] + e[2^{-1}t], \tag{6}$$

где компонента  $f[2^{-3}t] = \sum_k c_{-3,k} \phi_{-3,k}(t)$  – описывает тренд ряда, компоненты  $g[2^j t] = \sum_k d_{j,k} \Psi_{j,k}(t)$ ,  $j = -2, -3$  – описывают разномасштабные детали,  $e[2^{-1}t]$  – шумовая составляющая.

Идентификация параметров многокомпонентной модели (6) была выполнена для следующих компонент с разрешением  $j = -3$ :  $f[2^{-3}t] = \sum_k c_{-3,k} \phi_{-3,k}(t)$ ,  $g[2^{-3}t] = \sum_k d_{-3,k} \Psi_{-3,k}(t)$ . В таблице представлены оценочные параметры моделей этих компонент, полученные для данных  $f_oF2$  летнего и зимнего периодов времени.

**Параметры моделей компонент**

Анализируемый период	Аппроксимирующая компонента		Детализирующая компонента	
	первый параметр	второй параметр	первый параметр	второй параметр
22.07-06.08.1972	-0.7494	-0.8323	-1.016	-0.7324
05.02.73-28.02.73	-0.9615	-0.9858	-1.049	-0.9868
05.08-31.08.1987	-0.7972	-0.7506	-0.9942	-0.997
12.01.92-05.02.92	-0.9493	-0.9472	-0.9542	-0.8731
30.07.-17.08.2002	-0.6286	-0.6778	-0.9814	-0.9323

На рис. 1, 2 представлены результаты моделирования данных ионосферы на основе полученных моделей компонент. Выделение аномалий в ионосферных данных выполнялось на основе численных решений, предложенных в работе [5].

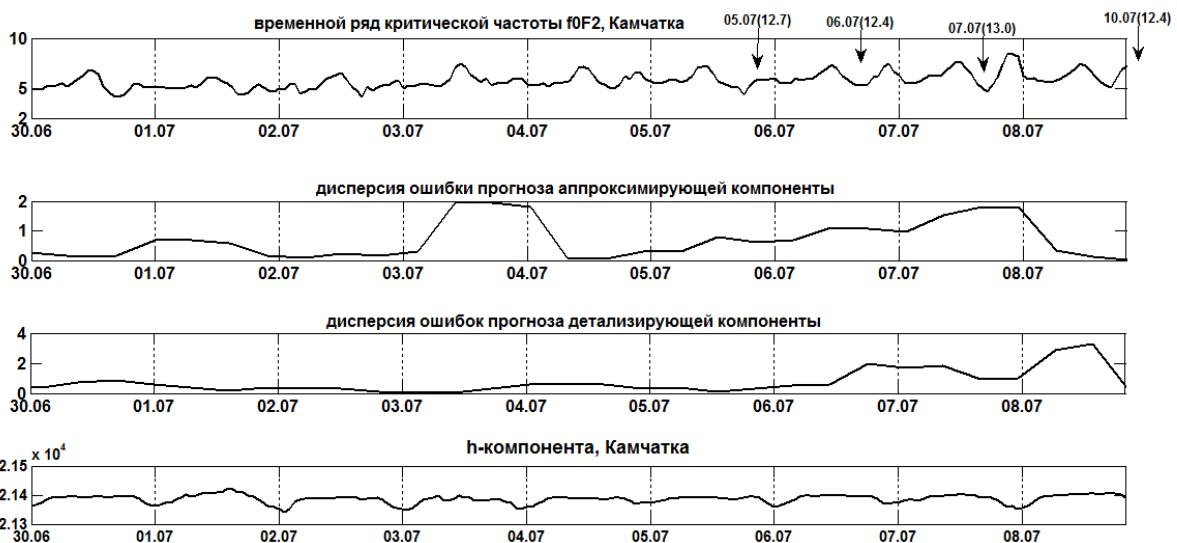


Рис.1. Результаты моделирования данных  $f_oF2$  за период 30.06.2005–08.07.2005 г.

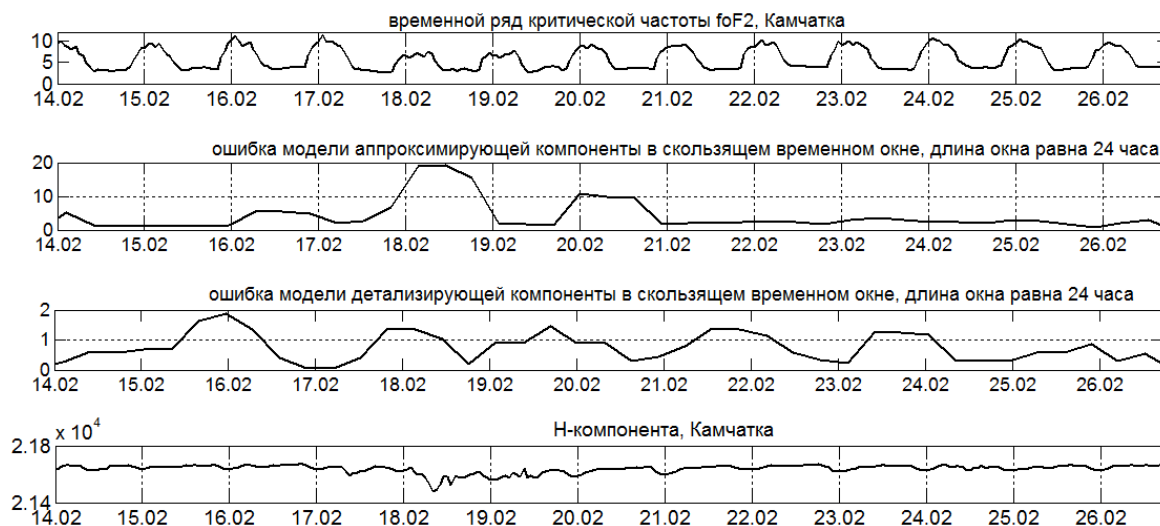


Рис. 2. Результаты обработки данных  $f_oF2$  за период 14.02.1999–28.02.1999 г.

Анализ результатов обработки данных показывает, что в периоды с высокой солнечной активностью (рис. 2) размах ошибки аппроксимирующей компоненты увеличивается в 10 раз по сравнению с периодами с низкой солнечной активностью (рис. 1), что говорит о зависимости частоты и интенсивности появления аномалий от уровня солнечной активности. Анализ рис. 1 показывает, что накануне и в период повышения сейсмической активности на Камчатке в данных критической частоты  $f_oF2$  наблюдается увеличение ошибок моделей, характеризующих возникновение аномалий в ионосфере. В аппроксимирующей компоненте аномалия возникает за 2 суток до первого землетрясения, произошедшего 05.07.2005 г. Совпадение данной аномалии с периодом повышения геомагнитной активности затрудняет ее интерпретацию. В период землетрясений аномалии наблюдаются в аппроксимирующей и в детализирующей компонентах, что говорит о многомасштабном характере возмущений в ионосфере. Результаты обработки данных, представленные на рис. 2, показывают, что 18.02.1999 г. наблюдается увеличение остаточных ошибок модели аппроксимирующей компоненты, что свидетельствует о возникновении аномалии в ионосфере, обусловленной повышением геомагнитной активности (18.02.1999 г. и 19.02.1999 г.).

### Выводы

На основе предложенного метода многокомпонентного моделирования параметров ионосферы выполнен анализ данных критической частоты ионосферы слоя F2 и выделены аномалии, возникающие в ионосферной плазме в периоды повышенной солнечной и геомагнитной активности, а также накануне и в моменты сильных землетрясений на Камчатке. Выделенные аномалии имеют различную интенсивность и сложную многомасштабную структуру.

Работа поддержана грантом «У.М.Н.И.К.» – № 11754р/17262 от 05.04.2013.

Данные сейсмического каталога любезно предоставлены Камчатским филиалом геофизической службы РАН (г. Петропавловск-Камчатский).

### Литература

1. Афраймович Э.Л., Первалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. – Иркутск: ГУ НУ СО РАН, 2006. – 480 с.
2. Липеровская Е.В., Липеровский В.А., Похотелов О.А. О возмущениях в F-области ионосферы перед землетрясениями // Геофизические исследования. – 2006. – № 6. – С. 51–58.
3. Мандрикова О.В. Моделирование геохимических сигналов на основе вейвлет-преобразования. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 123 с.
4. Мандрикова О.В., Глушкова Н.В. Метод моделирования данных критической частоты на основе совмещения вейвлет-преобразования и моделей авторегрессии-проинтегрированного скользящего среднего // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – Серия История. Политология. Экономика. Информатика. – Белгород: НИУ БелГУ. – 2011. – № 19(114). – Вып. 20/1. – С. 106–112.

5. Мандрикова О.В., Глушкова Н.В., Полозов Ю.А. Алгоритмы выделения и анализа аномалий в параметрах критической частоты ионосферы  $f_oF_2$  на основе совмещения вейвлет-преобразования и авторегрессионных моделей // Цифровая обработка сигналов. – 2013. – № 1. – С. 47–53.

6. Мандрикова О.В., Глушкова Н.В. Многокомпонентное моделирование и анализ данных ионосферного слоя F2 на основе совмещения вейвлет-преобразования и авторегрессионных моделей // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Четвертой всерос. науч.-практ. конф. (2013 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. – 2013. – Ч. I. – С. 69–74.

7. Mallat S. A Wavelet tour of signal processing [Пер. с англ.]. – М.: Мир, 2005. – 671 с.

8. Бокс Д., Дженкинс Г. Анализ временных рядов прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 604 с.

Мандрикова О.В., Полозов Ю.А. Критерии выбора вейвлет-функции в задачах аппроксимации природных временных рядов сложной структуры // Информационные технологии. – 2012. – № 1. – С. 31–36.

УДК 005:[316.3:004]

## УПРАВЛЕНИЕ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ: МОДЕЛЕОБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ

Г.А. Токарева

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

В статье рассматриваются принципы формирования новой системы государственного и муниципального управления в условиях информационного общества. Интерпретируются факторы социального развития, оказывающие существенное влияние на формирование нового типа управленческого мышления.

Новый тип общества, определяемого как информационное общество, вызывает необходимость формирования нового типа государственного управления. Создание новой управленческой модели в условиях информационного общества потребовало научно-обоснованного, детального анализа факторов новой реальности, способных повлиять на создание модифицированной модели государственного и муниципального управления.

Позволим себе очень коротко напомнить основные черты информационного общества:

1. Первоосновой всех направлений деятельности человека (экономической, производственной, политической, образовательной, научной, творческой, культурной и т.п.) является информация.

2. Информация является основным продуктом деятельности современного человека.

3. Информация в чистом виде (сама по себе) является предметом купли – продажи.

В информационном обществе, как утверждают специалисты [1, 2], важен только один капитал – интеллектуальный. Технологии информационного общества формируют новую экономику. В обиход входят понятия «электронный бизнес», «виртуальное правительство», «государство цифровых технологий». В приоритетной позиции оказывается тот, кто выдвигает новые идеи, кто подготовлен к обработке огромных потоков информации, кто готов к постоянным изменениям. Основным капиталом любого предприятия становится интеллектуальная собственность: «ноу-хау», изобретения, инновации.

Наиважнейшим фактором, определяющим принципы государственного и муниципального управления в информационном обществе, является дисперсия знаний, а вместе с тем дисперсия экономической и политической власти. Децентрация системы управления в постиндустриальном обществе, которую отмечают практически все ученые, в значительной степени связана с изменением субъектно-объектных отношений в системе государственного и муниципального управления. Названные субъектно-объектные отношения в системе управления превращаются, по сути, в субъектно-субъектные, так как управляемые сознательно и целенаправленно вовлекаются в

процесс управления. «Управление и власть, – пишет г. Патракова, – начинают рассматриваться как часть процессов общественного самоуправления, что ... тесно связано с ... его [общества] способностью не только подвергаться управленческому воздействию, но и отвечать на него посредством механизмов обратной связи» [3].

Этот процесс в современной науке получил название «гуманизация управления». Наиболее ярко этот процесс проявляется в системе муниципального управления, где наблюдается два встречных управленческих потока: сверху вниз и снизу вверх. Большое значение в этой связи приобретает категория «добровольного подчинения», что предполагает формирование в каждом человеке, вовлеченном в процесс управления, личной заинтересованности в результатах управленческих преобразований.

Именно социальный динамизм приводит к востребованности коллегиального стиля управления. Постоянно изменяющаяся реальность, быстрые темпы развития общества не позволяют сосредотачивать властные инициативы в одних руках. Демократизации управленческих процессов способствует принцип доступности информации, транспарентности деятельности органов власти всех уровней. Принцип коллегиальности может быть реализован также в отношениях различных уровней управления: федерального и регионального; в этом случае активизируются, например, законодательские инициативы, исходящие от регионального уровня власти. Проектный принцип планирования деятельности также инспирирует низовую, региональную управленческую инициативу, поскольку позволяет видеть управленческие недостатки «изнутри».

«Ценность информационного общества – время», – утверждал один из родоначальников теории постиндустриального общества И. Масуда [4]. Коллегиальный принцип управления позволяет не только целенаправленно осуществлять реализацию сложных, многоуровневых задач, но и экономит время, которое при таком принципе организации деятельности становится не противником, а союзником.

Следующий фактор, влияющий на формирование модели государственного управления в современном обществе, – изменение принципов взаимодействия государства и бизнеса в системе управления. Известно, что возрастание роли бизнеса в управлении еще в середине XX в. привело к признанию необходимости нового типа управления, условно названного менеджрингом. Структура менеджринга в сфере производства в высокотехнологичной информационной среде достаточно быстро изменяется, что неизбежно влечет за собой и адаптацию государственного управления, поскольку тандем «государство – бизнес» стал столь прочным, что любые изменения в структуре одного компонента системы влекут за собой изменения в структуре и другого компонента. Возможности власти стали трактоваться как управленческий ресурс, воздействие органов управления на объекты управления как механизм. Деятельность органов управления превратилась в «услугу», а гражданин стал клиентом.

Первейшая проблема госсектора в информационную эпоху – минимизировать административное воздействие на бизнес, учитывать сложность системы взаимодействия бизнес-структур и не сводить эту комплексную систему к административно-командному, линейному управлению. Система государственного управления в новых условиях должна помогать бизнесу в реализации новых принципов менеджмента, а не затруднять управленческие инициативы. Рациональное совмещение традиционных методов управления с новыми, выстраивание отношений с бизнесом на взаимовыгодной основе – вот первостепенная задача государственной службы в новых условиях, когда обе стороны заинтересованы во внедрении новых технологий, информатизации производственных и организационных процессов, в скорейшем переведении интеллектуального потенциала в производственный. Иначе говоря, государство призвано грамотно руководить процессом соединения тех, кто владеет знаниями с теми, кто их ищет.

Для информационного общества, как мы уже отмечали, характерно восприятие теоретического знания как главной ценности и основного товара. Таким образом, из перечня функций управленческой системы наиболее актуальными оказываются функция прогнозирования и функция планирования, а наиболее важным качеством руководителя на государственном уровне становится наличие стратегического мышления. В информационном обществе, как отмечает Д. Белл, «знания и информация становятся стратегическим ресурсом» [5]. Умение видеть перспективу развития общества и отдельных его сфер предполагает знание законов функционирования общества нового типа и учет темпов развития новых информационных технологий, которые из категории прикладной, инструментальной превращаются в категорию системообразующую, содержательную.

Реформирование системы стратегического управления развитием регионов, повышение его целевой ориентированности – одна из основных позиций административной реформы сегодня. Неизбежность выстраивания новых отношений с регионами (система грантов, долгосрочных инвестиций, ориентация на программно-целевой метод в управлении) детерминирована темпами развития новых технологий, скоростью обновления информации, ростом интеллектуального капитала нации. «Научно-техническая революция, – пишет социолог Ю. Михеев, – это переход от последовательных методов организации управления к параллельным – программно-целевым методам управления, во всех сферах управленческой деятельности, включая прежде всего процессы социально-экономического развития» [6].

Стратегические условия в постиндустриальном обществе, как известно, отличаются высокой степенью динамичности, что осложняет прогнозирование и подразумевает возможность корректировки управленческих намерений. Корректирующие же действия возможны только на основе постоянного мониторинга процессов. Вот почему актуализируется на уровне государственной политики в сфере управления система менеджмента качества с ее трехчастным циклом: измерение – анализ – улучшение. В этой связи новой характеристикой системы управления в информационном обществе оказывается так называемое рефлексивное управление, в котором велика доля аналитической составляющей. В рамках административной реформы этот принцип может быть определен как принцип перехода к так называемому результативному управлению.

Доиндустриальное общество определяется взаимодействием человека с природой, индустриальное – взаимодействием человека с преобразованной им природой, постиндустриальное – взаимодействием между людьми. Эти изменения остро ставят проблему специфики коммуникации в процессе управления. В информационном обществе реализуется новый тип межличностных отношений, так называемый модульный (нефиксированный) тип отношений. Динамичность развития системы социальных отношений в информационном обществе превращает традиционные коммуникативные отношения в системе государственного управления в неустойчивую, мобильную систему, что нарушает привычный режим социальной коммуникации. Иначе говоря, люди элементарно не успевают установить коммуникативный контакт: слишком стремительны процессы, протекающие в социуме. Современная государственная политика в кадровой сфере принимает во внимание убыстрение темпа социальной жизни, однако не воспринимает разрушение предшествующей модели коммуникации как негативную тенденцию. Система государственного управления гораздо более действенна, если ее решения обезличены и не зависят от воли отдельных госслужащих. Это подтверждает и опыт ротации кадров в системе государственной службы. Обезличенность деловых контактов в сфере управления, прежде всего, через систему электронного правительства (в рамках административной реформы разработана подпрограмма «электронное государство и эффективность государственного управления»), призвана свести к минимуму и коррупционные риски, устранить необъективно предоставляемые преференции.

В целом новые способы коммуникации позволяют достичь:

- полной прозрачности решений органов власти;
- доступности населению всех государственных нормативных актов;
- реформирования высокочрезвычайных структур государственной службы и соответственно сокращения числа чиновников;
- увеличения количества свободного времени граждан;
- сведения к минимуму коррупционных рисков.

Изменения коммуникативных принципов в организации управления, перераспределение нагрузки между традиционными методами управления позволяет максимально учитывать те существенные изменения в модели управления обществом, которые обусловлены новым типом социальных отношений, характерных для общества постиндустриальной эпохи.

Однако человеческий фактор остается ключевым в системе управления, ибо государственное управление есть управление, прежде всего, людьми. Новое общество, в большей степени, чем доинформационные общества, детерминировано личностными качествами людей.

Основной объект управления в современном социуме – социализированная личность – существенно изменился: повысился уровень его образования в силу большей доступности информации, возрос уровень правовой грамотности населения. Необходимость управлять интеллектуализированным объектом влечет за собой и высокую степень манипулятивности в его управлении. В прак-

тику управления входит так называемое мягкое управление, гибкое управление, интерпретационные технологии в управлении вместо командно-административного стиля.

Кодификация теоретического знания в информационном обществе требует от государственных служащих все более и более высокого уровня профессионального образования, постоянного повышения квалификации работников управленческой сферы, ибо «информационное общество нельзя рассматривать иначе, как признавая смысловое равенство двух его начал – «системы» и «ситуации человека». У.Потер, английский социолог, предлагает новую модель управления в информационном обществе, которая основывается как раз на идее интенсификации развития человеческого капитала. Этот путь предполагает усложнение процесса рекрутирования бюрократии, разработку ведомственных программ обучения и переподготовки кадров государственной службы. Особым объектом внимания в этой связи становится система профессионального образования в государстве, а именно система переподготовки кадров и повышения их квалификации.

Менеджмент знания становится необходимым условием для успешного хода административных реформ, целью которых является приведение системы органов государственного управления к необходимому уровню сложности.

Развитие информационно-коммуникационных технологий изменяет баланс методов управления в социуме в целом: уменьшается роль административных методов. Менее действенными оказываются даже всегда, казалось бы, беспроблемные экономические методы управления, и на первую позицию выходят методы идеологические. Резко возрастает роль СМИ (особенно онлайновых) как канала мобильной информации, в том числе и управленческого характера. Изменяется и структура метода политического управления. Во-первых, появляется возможность оперативного доступа максимального числа людей к текстам законопроектов еще на стадии их предварительной разработки, а также к большому объему аналитической информации по этому поводу. Во-вторых, принципиальное нововведение заключается в возможности каждого гражданина с относительно минимальными затратами обратиться к неограниченной по своему составу аудитории и высказать по тому или иному вопросу свое мнение (социальные сети, блоги, персональные сайты). Сложность реализации классических управленческих методов, таких, как политический и идеологический, заключается в обозначенной выше проблеме дисперсии власти и увеличении количества структур, выполняющих функцию субъекта власти. Жизнь современного человека управляется не только официальной политической властью, но и рекламой, кинематографом, литературой, прессой, – всем тем, что он «потребляет». Это многосубъектное воздействие усложняет процесс управления в информационном обществе, делает его зависимым от обратной, порой непредсказуемой реакции управляемой массы. Французский философ Ги-Эрнст Дебор определяет в этой связи современное общество как «общество спектакля», и это очень верное определение, потому что в системе управления искусно сформированный имидж политика оказывается порой важнее его профессиональных качеств. Степень импровизации в этом «социальном спектакле» усложняет проблему управления, делает порой систему в принципе неуправляемой и провоцирует применение синергетической методологии к исследованию функционирования этой по сути открытой и во многом спонтанно формирующейся системы.

Задача системы государственного управления в данном случае – установить продуктивный контакт со средствами массовой коммуникации, выработать стратегию влияния на СМИ, которая позволяет корректно купировать нежелательную информацию и эксплицировать через СМИ информацию необходимую, а также позволяет обеспечить грамотное влияние на интерпретацию предъявляемой информации.

Мы попытались выявить и систематизировать те факторы современной реальности, которые в условиях перехода к информационному обществу могут повлиять на создание новых моделей государственного и муниципального управления. Термин «модель» в нашей работе мы сознательно употребляем как весьма условный. Конвенциональность этого термина заключается в том, что общество в условиях свободного перемещения информации становится все более открытым и противится моделированию как таковому. Все это позволяет говорить о вышперечисленных факторах лишь как о факторах, влияющих на принципы управления, формы управленческой деятельности, механизмы управления. Представленный материал во многом выполняет функцию суммирования известных положений, однако подобная систематизация позволила выявить наиболее перспективные, с нашей точки зрения, направления дальнейших исследований: это, прежде всего, проблема многосубъектного воздействия на объект управления в

информационном обществе и потенциал манипулятивных технологий в организации управленческих процессов. Продуктивным видится и исследование системы социальной коммуникации в информационном обществе в управленческом аспекте.

### Литература

1. *Каишев Ю.Б.* Информационный взрыв. Международный аспект. – М.: Международные отношения, 1988. – 208 с.
2. *Мелюхин И.С.* Информационное общество: истоки, проблемы, тенденции развития. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 208 с.
3. *Патракова Г.В.* Управление в информационном обществе как технология взаимодействия субъекта и объекта. – Автореф. дис. .... канд. наук. – Тюмень, 2010. – 25 с.
4. *Жилкин В.В.* К вопросу понимания сущности термина «информационное пространство». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [beta.frip.ru/index.php](http://beta.frip.ru/index.php)....
5. *Белл Д.* Социальные рамки информационного общества // Новая технократическая волна на западе. – М.: Прогресс, 1986. – С. 330–342.
6. *Михеев Ю.* Система государственного управления в информационном обществе и информационно-коммуникационные технологии. – М., 2011. – 255 с.



**Секция 1. ИНФОРМАЦИОННЫЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ  
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ**

УДК 004.713

**МАРШРУТИЗИРУЮЩИЙ КОММУТАТОР С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ  
ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

**Е.А. Барабанова, Н.С. Мальцева, И.О. Барабанов**

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань*

Цель работы – разработать архитектуру коммутатора для магистральных сетей передачи данных, выполняющего функции маршрутизации, провести имитационное моделирование устройства. Предметом исследования является маршрутизирующий коммутатор, в основе которого лежит коммутационная система с параллельным поиском каналов связи. Разработана имитационная модель маршрутизирующего коммутатора в виде программы, на базе которой проведены эксперименты, позволяющие выделить оптимальный режим работы маршрутизирующего коммутатора.

**Введение**

Традиционный маршрутизатор представляет собой сложное специализированное устройство, предназначенное для выполнения операций построения таблиц маршрутизации и продвижения пакетов на их основе. Наиболее трудоемкие операции обработки пакетов выполняются программно специализированными процессорами или аппаратно большими интегральными схемами. Более высокоуровневые действия выполняют программно универсальные процессоры.

Востребованность доступа к сети Internet и специализированных широкополосных услуг привела к значительному росту уровня сетевого трафика. За счет доступа пользователей к удаленным ресурсам и серверам потоки трафика становятся все менее локальными. Увеличение потока данных и делокализация трафика ведут к перегрузке маршрутизаторов. Для решения возникших задач большинство производителей сетевого оборудования пытаются решить задачу коммутации на третьем сетевом уровне модели взаимодействия открытых систем OSI. Коммутация на сетевом уровне обеспечивает сочетание интеллекта маршрутизаторов и скорости коммутаторов.

Главной задачей при разработке современных коммутаторов является увеличение пропускной способности оборудования. Коммутационная техника сегодня использует высокоскоростные интерфейсы, а производительность внутренней коммутационной матрицы может достигать десятков гигабит в секунду. В магистральных сетях передачи данных к производительности коммутационных устройств предъявляются еще более жесткие требования.

Коммутационные системы с параллельной настройкой предназначены для использования в высокопроизводительных вычислительных системах и высокоскоростных сетях передачи данных, где требуются системы как с небольшим числом входов, так и многопортовые коммутаторы. В связи с этим исследование принципов построения маршрутизирующих коммутаторов с параллельной настройкой является актуальным и своевременным [1].

**Сравнение архитектур коммутаторов сетевого уровня**

На уровне 3 маршрутизаторы выполняют свои функции на основе информации об адресах, используемой сетевыми протоколами типа IP и IPX. Традиционные коммутаторы работают на канальном уровне модели OSI или уровне 2, рассылая пакеты на основе физических адресов сетевых устройств (MAC-адресов). Добавляя в коммутаторы средства работы с адресами сетевого уровня, производители сетевого оборудования создают устройства, часто называемые коммутаторами третьего уровня (рис. 1).

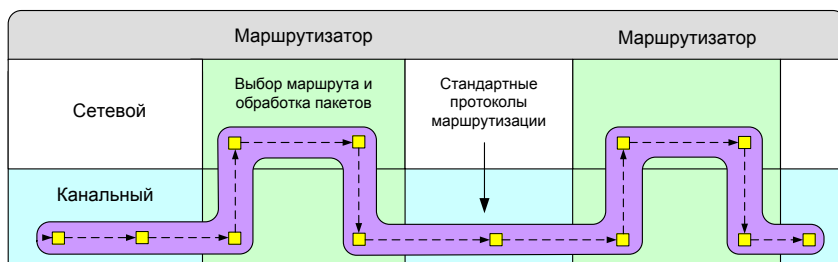


Рис. 1. Схема передачи пакетов при традиционной маршрутизации

За время разработки таких устройств сложились три основных подхода к коммутации на уровне 3, поддерживаемые разными производителями и практически несовместимые между собой: маршрутизирующие коммутаторы, коммутаторы потоков и коммутирующие маршрутизаторы.

Расчет маршрута и обработка пакетов полностью осуществляются программами сетевого уровня. После принятия решения о маршрутизации пакеты передаются аппаратным интерфейсам канального уровня 2. Для обмена информацией о маршрутизации используются стандартные протоколы маршрутизации.

**Маршрутизирующие коммутаторы.** Маршрутизирующие коммутаторы похожи на традиционные маршрутизаторы и определяют путь передачи на основе информации, хранящейся в заголовке сетевого уровня для каждого пакета. Выбор пути в маршрутизирующих коммутаторах происходит на уровне 3 и выполняется программными или аппаратными средствами, а обработка пакетов осуществляется с помощью коммутационной матрицы на канальном уровне 2. Для обмена данными о маршрутизации маршрутизирующие коммутаторы используют стандартные протоколы маршрутизации (рис. 2).

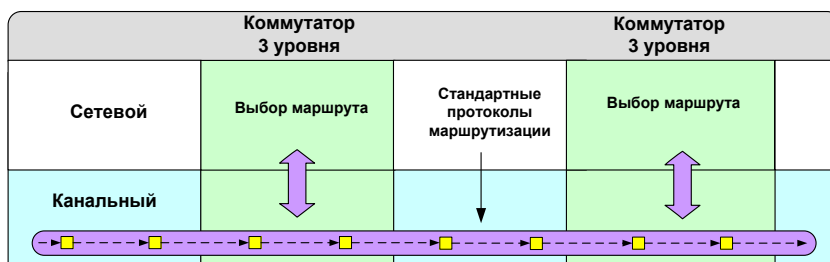


Рис. 2. Схема передачи пакетов в маршрутизирующих коммутаторах

Для маршрутизирующих коммутаторов характерны высокая производительность при небольшой цене, достигаемые за счет снижения числа функций и переноса большинства операций на уровень специализированных микросхем. В маршрутизирующих коммутаторах функции маршрутизации полностью интегрированы в коммутатор и пакеты в процессе обработки не покидают узел коммутации.

Маршрутизирующие коммутаторы широко используются в сетях передачи данных в связи с их простой схемой, аналогичной традиционным коммутаторам. Маршрутизирующие коммутаторы должны обеспечивать поддержку большинства протоколов маршрутизации, но дополнительные функции, такие как поддержка добавочных протоколов (таких, как AppleTalk и IPX), сложных протоколов маршрутизации (IP Multicast и OSPF) и средств обеспечения безопасности (шифрование и брандмауэры), достаточно сильно снижают их производительность.

**Коммутаторы потоков.** В основе процесса коммутации потоков лежит процесс обнаружения продолжительных потоков данных между двумя IP-узлами. Когда поток определяется программами третьего уровня, между конечными точками организуется коммутируемое соединение и в дальнейшем поток управляется работающим на втором уровне традиционным коммутатором. Яркими примерами возникновения потоков являются процессы копирования файлов или Web-страниц с графикой. Трафик, не удовлетворяющий требованиям потока, маршрутизируется традиционными способами. Основной сферой применения коммутации потоков являются магистральные каналы связи провайдеров или корпоративных сетей (рис. 3).

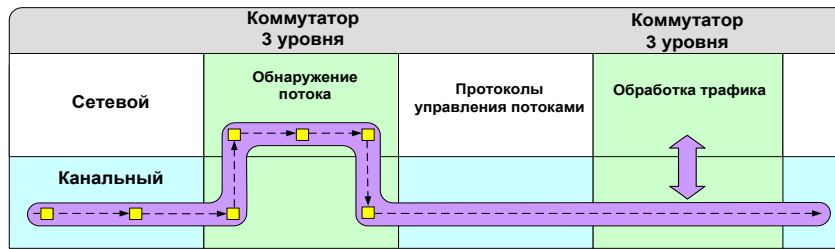


Рис. 3. Схема передачи пакетов в коммутаторах потоков

Расчет маршрутов и обработка пакетов в коммутаторах потоков осуществляются на сетевом уровне, как в традиционных маршрутизаторах, до тех пор, пока не будет идентифицирован поток. После обнаружения потока обработка трафика переносится на канальный уровень (коммутационную матрицу). Коммутаторы потоков используют протоколы управления потоками для обмена информацией о потоках в сети.

**Коммутирующие маршрутизаторы.** Наиболее сложным устройством, сочетающим в себе функции коммутации и маршрутизации, является коммутирующий маршрутизатор. Данные устройства снижают нагрузку на маршрутизаторы и позволяют коммутаторам выполнять операции по рассылке пакетов без проведения сложных расчетов маршрута.

Архитектура коммутации тегов является хорошим примером коммутирующих маршрутизаторов. Различают два режима коммутации тегов в зависимости от назначения маршрутизатора. Если маршрутизатор расположен на границе сети, то режим коммутации тегов предусматривает добавление адресной информации в форме идентификаторов фиксированной длины, называемых тегами, в пакеты, передаваемые в сеть. Если же маршрутизатор используется внутри сети, то он использует теги для определения маршрута для передачи каждого пакета через сеть. Использование тегов снижает сложность декодирования адресной информации и просмотр таблиц при рассылке пакетов.

Расчет маршрута и обработка пакетов в коммутирующих маршрутизаторах осуществляется на сетевом уровне, как в традиционных маршрутизаторах, за исключением тех случаев, когда теги содержат информацию о рассылке пакетов (рис. 4).

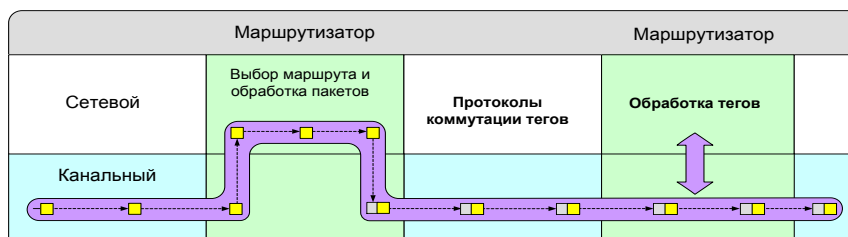


Рис. 4. Схема коммутирующих маршрутизаторов

Маршрутизирующие коммутаторы обеспечивают простоту установки и использования наряду с возможностью совместимости с существующим оборудованием. Поскольку устройства этого класса не используют новых протоколов или стандартов, их легко установить в существующие сети. Коммутаторы потоков и коммутирующие маршрутизаторы используют патентованные технологии и протоколы, поэтому их разработка и использование могут быть ограничены [2]. Результаты сравнения архитектур коммутаторов сетевого уровня представлены в таблице.

Сравнение архитектур коммутации на уровне 3

Архитектура	Маршрутизирующие коммутаторы	Коммутация потоков	Коммутирующие маршрутизаторы
Описание	Функции традиционных маршрутизаторов интегрируются в коммутаторы	Поток определяется на сетевом уровне и коммутируется на канальном уровне	Различные схемы для снижения сложности определения маршрута на сетевом уровне

Архитектура	Маршрутизирующие коммутаторы	Коммутация потоков	Коммутирующие маршрутизаторы
Преимущества	Простота использования и настройки, совместимость с используемыми сетевыми устройствами	Устраняет сложность расчета пути после идентификации потока	Масштабируется для больших сетей. Упрощает маршрутизацию
Недостатки	Может терять некоторые функции маршрутизации. Могут возникать сложности при модернизации реализованных «в железе» функций	Архитектура запатентована несколькими производителями. При отсутствии потоков требуется использовать традиционные схемы маршрутизации	Архитектура запатентована несколькими производителями. Несовместимость с используемыми сетевыми устройствами
Применение	Магистралы корпоративных сетей и ISP	Магистралы ISP и WAN	Корпоративные сети, магистралы ISP, WAN

Таким образом, анализируя представленные выше типы коммутаторов сетевого уровня, следует выделить маршрутизирующие коммутаторы, которые обладают следующими преимуществами:

- простота использования и настройки;
- совместимость с используемыми сетевыми устройствами;
- применяются на магистральных сетях передачи данных.

Поэтому архитектура и принцип работы данного вида коммутаторов взят за основу разработки высокопроизводительного коммутатора для магистральных сетей передачи данных.

### Схема маршрутизирующего коммутатора с параллельной настройкой

Разрабатываемый маршрутизирующий коммутатор предназначен для магистральных сетей передачи данных и использует принципы коммутации пакетов.

Согласно этой технологии последовательность бит от передатчика заключаются в контейнер, который называется пакетом. Пакет снабжен заголовком, где указана служебная информация – адрес отправителя, адрес получателя, указан способ проверки целостности содержимого пакета и т.д. Пакет поступает на коммутатор сети, где, используя информацию заголовка, последний обрабатывает пакеты и рассылает их по адресам через другие коммутаторы по линиям связи.

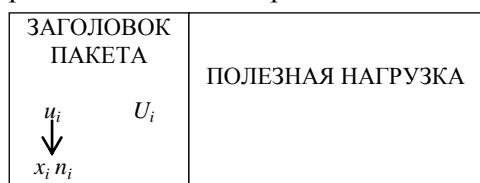


Рис. 5. Формат пакета, обрабатываемого в коммутационном поле

В данной работе интерес представляет только часть служебной информации, хранимой в заголовке пакета, а именно адресная информация ( $u_i, v_i$ ), необходимая для доставки пакета от входа порта  $u_i$  к выходу  $v_i$  (рис. 5).

Основное назначение маршрутизирующего коммутатора – коммутация пакетов из одного сетевого сегмента в другой. Операция обработки данных сама по себе довольно проста и состоит из следующих этапов:

Этап 1. Пакет приходит в интерфейс.

Этап 2. Определяется адрес получателя пакета и сравнивается со списком известных получателей.

Этап 3. Если найдено совпадение, пакет пересылается в соответствующий интерфейс.

Этап 4. Если совпадение с соответствующим списком не найдено, то пакет игнорируется.

Коммутация пакетов – это процесс, который требует обработки большого количества данных. В отличие от ресурсоемких процессов, для его ускорения недостаточно просто использовать более быстрый процессор. Скорость коммутации пакетов зависит от времени настройки коммутационной системы.

На рис. 6 приведена обобщенная функциональная схема маршрутизирующего коммутатора для магистральных сетей передачи данных. Для передачи пакетов между портами коммутатора применяется коммутационное поле. Основной особенностью пакетных коммутаторов является наличие внутренней буферной памяти для временного хранения пакетов. Поэтому каждый пакет последовательно бит за битом помещается во входной буфер. Учитывая такую особенность пакетных коммутаторов, считают, что сети с коммутацией пакетов используют технику сохранения с продвижением (store-and-forward).

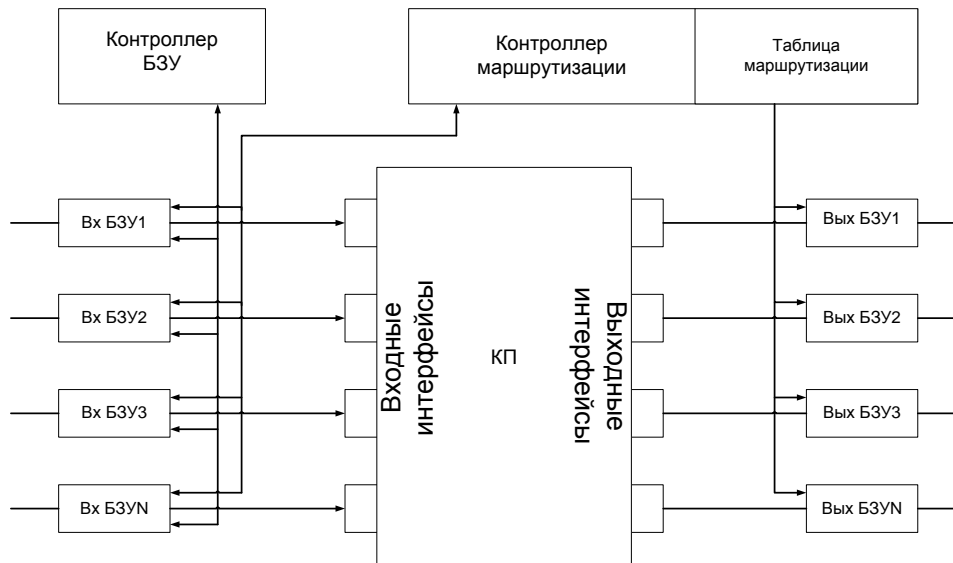


Рис. 6. Функциональная схема маршрутизирующего коммутатора с параллельной обработкой информации

В случае применения в качестве коммутационного поля структуры с параллельной обработкой информации коммутатор будет содержать входной буфер для потоков данных и выходной буфер для команд коммутации [3].

Процесс маршрутизации происходит внутри устройства управления, содержащего внутреннюю память, где хранится таблица маршрутизации.

Маршрутизирующий коммутатор работает в два этапа. Первый этап заключается в определении маршрута пакета. Прежде чем пакет будет передан на коммутационное поле, устанавливается маршрут. Протокол сетевого уровня по номеру сети, извлеченному из заголовка пакета, находит в таблице маршрутизации строку, содержащую сетевой адрес следующего маршрутизатора, и номер порта, на который нужно передать данный пакет, чтобы он двигался в правильном направлении.

После определения маршрута передача пакетов команда коммутации, содержащая номер входного коммутационного блока и номер входа в коммутационный блок, передается на выходной интерфейс коммутационного поля, выбранный на основании обращения к таблице маршрутизации контроллером. Таким образом, после установления соединений через сеть маршрутизирующий коммутатор больше не использует для пакетов этого соединения таблицу маршрутизации, а продвигает пакет на основании алгоритма параллельной настройки. Процесс поиска свободного соединительного пути и передачи пакетов внутри коммутатора происходит параллельно, что позволяет сократить время ожидания пакетов в очереди и повысить пропускную способность маршрутизирующего коммутатора [4, 5].

### Имитационное моделирование алгоритма работы маршрутизирующего коммутатора

Имитационная модель представляет собой компьютерную программу, написанную на языке Visual Basic for Application, которая шаг за шагом воспроизводит алгоритм работы КС.

При помощи имитационного моделирования на основе вычисленных параметров можно провести сравнение следующих характеристик КС: пропускной способности и задержек во входных буферах устройств [6].

Так как трехкаскадную коммутационную систему с параллельным поиском предлагается использовать в качестве коммутационного поля маршрутизирующего коммутатора для магистральных сетей передачи данных, где передается большой объем информации и предъявляются жесткие требования к задержкам сигнала, то необходимо определить, при каком размере пакета вероятность задержки информации в буферном устройстве коммутатора будет минимальной. Для этого построим графики зависимости интервалов времени между поступлениями пакетов (интенсивность поступления пакетов) и времени обработки пакетов для различных моментов времени. При этом время обработки пакета в коммутаторе учитывает время на-

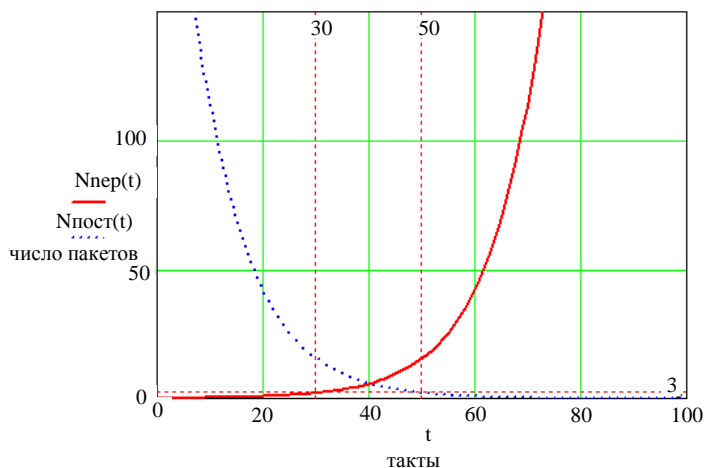


Рис. 7. Зависимость размера буфера коммутатора от времени поступления и передачи пакетов

ной памяти от времени поступления пакета. Анализируя данные значения, можно сделать следующий вывод, что при соотношении времени поступления к времени передачи пакета  $5/3 = 1,7$  размер буферной памяти становится минимальным и равен трем пакетам. Следовательно, анализируя интенсивность входящего трафика, можно подбирать размер пакета таким образом, чтобы задержки при передаче информации были минимальные.

### Заключение

В данной статье рассмотрены различные варианты построения коммутаторов для магистральных сетей передачи данных: маршрутизирующие коммутаторы, коммутаторы потоков, коммутирующие маршрутизаторы. Сделан вывод о преимуществах маршрутизирующих коммутаторов.

На основе архитектур коммутационных систем с параллельной настройкой предлагается новый алгоритм работы маршрутизирующего коммутатора для магистральных сетей передачи данных, который предусматривает работу устройства на двух уровнях модели OSI: сетевом, где происходит поиск маршрута передачи пакетов, и канальном, где происходит параллельный поиск свободных каналов связи.

Проведено имитационное моделирование работы устройства. На основе данных, полученных в ходе эксперимента, сделан вывод о том, что, анализируя интенсивность входящего трафика, можно подбирать размер пакета таким образом, чтобы задержки при передаче информации были минимальными.

### Литература

1. Барабанова Е.А., Мальцева Н.С. Алгоритмы работы коммутационных систем с параллельной настройкой // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – Астрахань: Изд-во АГТУ. – 2011. – № 1. – С. 150–156.
2. Пролетарский А.В. Технологии коммутации и маршрутизации в локальных компьютерных сетях: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 389 с.
3. Барабанова Е.А., Мальцева Н.С., Полина О.Н. Алгоритм параллельного поиска для пятикаскадной коммутационной системы // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – Астрахань: Изд-во АГТУ. – 2011. – № 2. – С. 107–113.
4. Пат. на изобретение 2359313 Российская Федерация, МПК G06F 7/00. Трехкаскадная коммутационная система / Жила В.В., Барабанова Е.А., Мальцева Н.С. (RU). – №2007107780/09; заявл.01.03.2007; опубл. 20.06.2009. Бюл. № 17.
5. Barabanova E.A., Maltseva N.S., Barabanov I.O. The algorithms for parallel information processing in many-stage commutation systems for high performance computing systems and communication systems / Third International Conference "High Performance Computing" HPC-UA, 2013. – P. 39–44.
6. Барабанова Е.А., Н.С. Мальцева Н.С. Барабанов И.О. Моделирование коммутационных систем с параллельной обработкой // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Четвертой всерос. науч.-практ. конф. (23–25 апреля 2013 г.) / Отв. за вып. Я.В. Ганич. – Ч. I. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2013. – С. 43–51.

УДК 004.8

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ КОМПЕТЕНЦИЙ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

**Д.К. Бейльханов, И.Ю. Квятковская**

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань*

В данной статье описывается применение модели компетенций в процессе командообразования посредством методов и алгоритмов, которые применимы для оценки кандидатов и создания проектных команд.

Сформированные команды являются многоуровневыми группами, состоящие из участников, представляющих множество инженерных дисциплин. Специалисты различных направлений (например, программирование, менеджмент, маркетинг, юриспруденция) объединяются вместе, чтобы разработать новый продукт.

Структура процесса формирования команды участников включает в себя три этапа:

- построение матрицы совместимости в виде соотношения «задача – кандидат». Данный этап характеризуется вычислением показателей совместимости между задачами и кандидатами;
- кластеризация матрицы компетенций в виде связи «задача – кандидат»;
- постановка задач на основе компетентности кандидатов, где стоимость принятия решения и динамика компетенций рассматриваются одновременно при постановке задач на основе компетентности кандидатов.

Далее приводится описание многоуровневого подхода формирования команды, раскрывается принцип работы и рассматривается математическая формулировка модели назначения задач [1].

В области разработки программного обеспечения наиболее оптимальным является использование алгоритма, где состав команды определяется для конкретной задачи на основе анализа знаний и навыков сотрудников, благодаря чему возможно подобрать правильный состав команды для проекта по разработке ПО. В связи с этим была разработана модель подбора персонала для разных проектов.

### **Модель определения компетенций**

Метод нечеткой совместимости используется для выбора потенциальных членов команды для каждого проекта. Множество задач, решаемых в процессе командообразования, связаны с психологической и социологической компетенциями (умение работать в команде, личностные характеристики, лидерство, коммуникабельность, способность принимать решения и т.д.). Тем не менее техническая компетентность является наиболее распространенным критерием в командообразовании для того, чтобы определить задачи и состав участников команды.

Участники должны описывать квалификационные навыки, необходимые для выполнения задачи, или владеть отдельными умениями так, чтобы все участники могли быть организованы в команды. Три основные составляющие данной схемы должны быть определены как задача, участник команды и навык.

Список задач должен быть представлен в схеме проекта. Проектирование задачи может характеризоваться набором навыков (компетенций). Навыки можно рассматривать как компетенцию по программированию или техническую компетенцию. Члены команды из разных отделов, и каждый отдел характеризуется набором компетенций, которые соответствуют внутриорганизационным требованиям. Таким же образом, команда пользователя может быть охарактеризована набором компетенций, необходимых для исполнения задач [2].

На рис. 1 изображена подобная схема определения компетенций в классическом подходе командообразования.

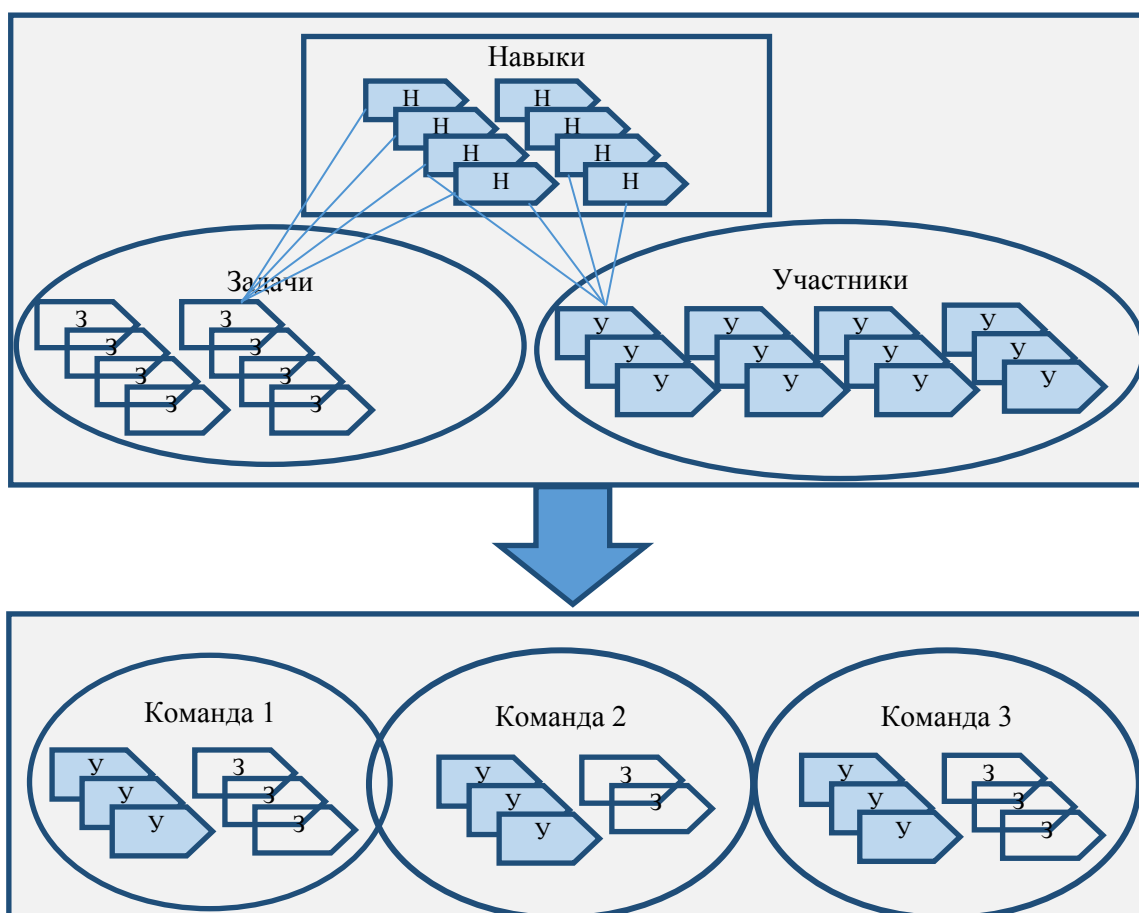


Рис. 1. Моделирование компетенций

### Кластеризация задач и участников команды

Алгоритмы на основе кластеризации массива являются одними из наиболее широко изученных алгоритмов в научной литературе. Этот подход применяется при формировании производственных модулей для того, чтобы сгруппировать по категории похожие модули на выделенных кластерах машин.

Примеры алгоритмов на основе кластеризации массива: ROC (англ. «Rank Order Clustering» – упорядочивание на основе кластеризации), ROC2, DCA (англ. «Direct Cluster Algorithm» – алгоритм прямой кластеризации), BEA (англ. «Bond-Energy Analysis» – анализ химической связи). Chu, Tsai рассматривает у себя только три алгоритма на основе кластеризации массивов – ROC, DCA, BEA – для производства модулей с использованием различных критериев оценки [3]. P. Joglekar и его соавторы провели сравнительную оценку девяти известных алгоритмов для решения задачи по производству модулей в группе технологий. Характеристикой этих алгоритмов является то, что они последовательно перестраивают строки и столбцы матрицы в соответствии с индексом до тех пор, пока диагональные блоки не будут сформированы [4].

Рассмотрим общий принцип алгоритма на основе кластеризации массива, в котором имеется матрица  $A$ , представляющая собой машины, которая состоит из значений 0 и 1, где 1 означает, что машина  $i$  используется для обработки модуля  $j$ , 0 – в противном случае. Эти алгоритмы переставляют строки и столбцы для получения конечной матрицы, чтобы отобрать машины, которые обрабатывают ту же самую группу модулей, расположенных близко друг к другу, и модули, которые обрабатываются одной и той же группой машин близких друг к другу.

Диагональное расположение облегчает идентификацию производства модулей. После того как матрица  $A$  была перестроена, эти алгоритмы будут уже зависеть от ручной обработки с целью определения составных модулей.

Такой подход может быть применен для того, чтобы решить проблему построения команды, используя аналогию между модулями одной машины и такого же взаимодействия между задачами и прикрепленными к ним участниками команды.



Поскольку для руководителя проекта очень важно прояснить взаимоотношения между требованиями заказчиков и поставленными задачами, необходимо адаптировать алгоритм ROC для того, чтобы кластеризовать задачи по группам. Таким образом, отбор участников в команды осуществляется в соответствии с формированием в группы и учетом ограничения в ресурсах.

Вес каждой  $i$ -строки и  $j$ -столбца вычисляется следующим образом.

Вес для  $i$ -строки:

$$W_i = \sum a_{ik} 2^{n-k}, \quad (1)$$

где  $W_i$  – вес каждой  $i$ -строки;  $a_{ik}$  – элемент матрицы.

Вес каждого  $j$ -столбца:

$$W_j = \sum a_{kj} 2^{m-k}. \quad (2)$$

Алгоритм ROC предусматривает следующие шаги:

- вычислить десятичный вес для каждой строки матрицы в виде соотношения «задача-кандидат»;
- отсортировать строки матрицы в порядке убывания соответствующих десятичных весов.
- повторить предыдущие два шага для каждого столбца;
- повторять предыдущие три шага, пока положение каждого элемента каждой строки и столбца не будет константным.

### Многоуровневый подход формирования команды

Предлагаемый подход командообразования предусматривает процесс моделирования компетенций, кластеризацию в виде «задача – кандидат» и компетенции на основе динамического назначения задач. Во-первых, моделирование компетенций основано на расчете матрицы компетенций, представляющей уровень компетентности участников команды для конкретного списка задач. Во-вторых, кластеризация вида «задача – кандидат» является важным шагом в связи с растущей сложностью при создании проектов. В-третьих, модель назначения задач на основе динамики компетенций минимизирует стоимость проекта [2].

В соответствии с рис. 2 данный подход был разделен на три этапа.

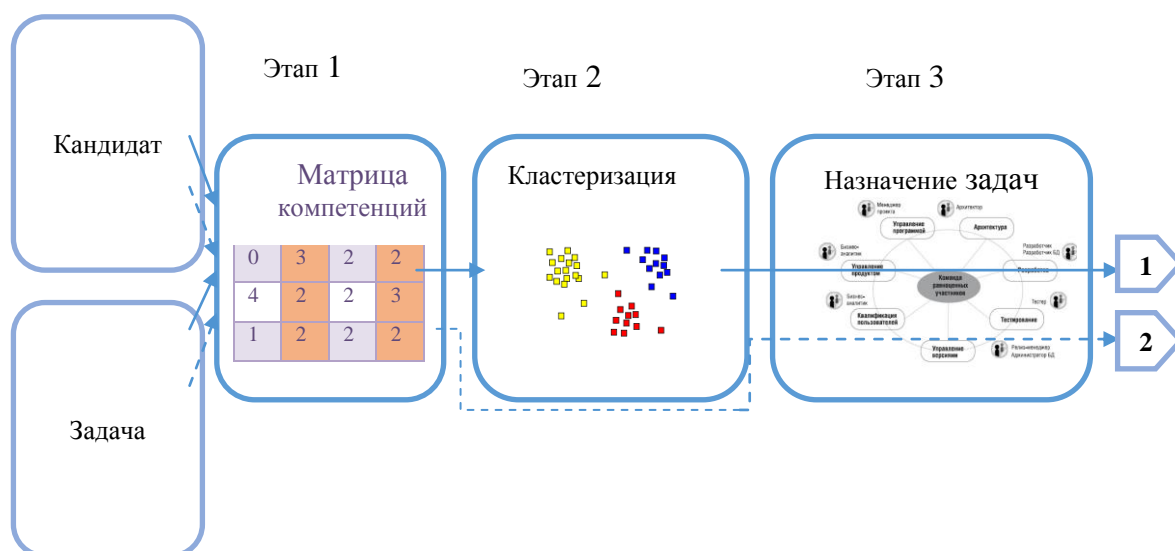


Рис. 2. Многоуровневый подход при командообразовании

На первом этапе осуществляется создание матрицы компетенций. На втором этапе приводим алгоритм к тому, чтобы сгруппировать участников на основе связи «задача – кандидат» в так называемые целевые группы с использованием алгоритма кластеризации массива ROC [5]. Третий этап решает проблему назначения на основе результатов, полученных путем кластеризации.

### Литература

1. Бейльханов Д.К., Квятковская И.Ю. Система поддержки принятия решений по формированию команд проектов на основе компетентностного подхода // Проблемы развития науки и образования: теория и практика: Сб. науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф. – М., 2013. – Ч. II. – С. 125–129.
2. Бейльханов Д.К. Система поддержки принятия решений при формировании команды проекта с использованием компетентностного подхода // Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России «У.М.Н.И.К»: Сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. – Астрахань, 2013. – С. 9–11.
3. Tsai H., Moskowitz H., Lee L. Human resource selection for software development projects using taguchi's parameter design // European Journal of Operational Research. – 2003. –V. 151. – P. 167–180.
4. Joglekar P., Chung Q., Tavana M. Note on a comparative evaluation of nine well-known algorithms for solving the cell formation problem in-group technology // Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences. – 2001. – V. 5(4). – P. 253–268.
5. Tseng T., Huang C. [etc.] Novel approach to multi-functional project team formation // International Journal of Project Management. – 2004. – V. 22. – P. 147–159.

УДК 004.056:681.51

## ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**М.В. Вотинов**

*Мурманский государственный технический университет,  
Мурманск*

Статья посвящена вопросам обеспечения информационной безопасности при построении систем автоматического управления технологическими процессами на примере малогабаритной сушильной установки.

В Мурманском государственном техническом университете разработана и внедрена в производство в учебно-экспериментальном цеху малогабаритная сушильная установка (МСУ) конструкции инженеров М.А. Ершова, М.В. Вотинова и др. Установка предназначена для разработки малоотходных технологических процессов получения солено-сушеных и копченых изделий. В качестве системы управления МСУ используется программно-аппаратный комплекс, реализующий систему гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья.

Программное обеспечение «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой» является самодостаточным, однако для него разработано большое количество телекоммуникационных функций, использующих как LAN, так и WAN сети.

Таким образом, можно говорить об образовании информационно-телекоммуникационной сети с использованием как вычислительных средств, так и средств системы автоматизации.

Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» определяет *информационно-телекоммуникационную сеть* [1] как технологическую систему, предназначенную для передачи по линиям связи информации, доступ к которой осуществляется с использованием средств вычислительной техники.

При использовании средств телематики в автоматических системах необходимо особое внимание уделить обеспечению информационной безопасности. Вопрос безопасности вычислительных информационных систем в XXI в. актуален.

В соответствии с руководящими документами Федеральной службой по техническому и экспортному контролю [2] угроза информационной безопасности – это фактор или совокупность

факторов, создающих опасность функционированию и развитию информационной среды общества. Важнейшими аспектами информационной безопасности являются целостность, конфиденциальность, доступность.

Источниками угроз с использованием штатного или специально разработанного программного обеспечения являются субъекты, действия которых нарушают регламентируемые правила разграничения доступа к информации. Этими субъектами могут быть:

- нарушитель;
- носитель вредоносной программы;
- аппаратная закладка.

Учитывая, что в локальной сети под управлением программного обеспечения «Автоматизированное рабочее место удаленного доступа к САУ МСУ» будут находиться всего две рабочие станции, безопасность такой сети не требует повышенного внимания и контроля. Однако при использовании иных телекоммуникационных функций особое значение следует уделять внешним атакам со стороны сети «Интернет».

Структурная схема информационной сети программно-аппаратного комплекса представлена на рисунке.



Структурная схема информационной сети программно-аппаратного комплекса

Первым шагом построения системы безопасности является обследование сети. По его итогам разрабатывается комплект документов (модель угроз, модель нарушителя), на основе которых будут проводиться все работы по защите информации.

Для защиты от внешних атак со стороны открытых информационных систем, например Интернета, в программно-аппаратном комплексе применяется защищенное подключение к подобным сетям на основе настроенного брандмауэра Windows.

Безопасный информационный обмен данными через открытую информационную среду «Интернет» web-приложения системы обеспечивается по защищенному каналу передачи данных на основе протокола SSL—Secure Socket Layer с использованием ключей электронной подписи.

На крупных предприятиях, где программная часть интегрирована в локальную сеть предприятия, насчитывающую большое количество персональных компьютеров, информационная безопасность должна обеспечиваться также и в самой локальной сети. Для защиты от вредоносных программ следует использовать сетевые распределенные антивирусные системы, способные предоставить высокий уровень антивирусной безопасности на всех уровнях и узлах вычислительной системы.

Таким образом, при построении интегрированных в локальные сети организаций систем автоматизации технологических процессов и производств вопросы информационной безопасности не должны быть забыты. Использование даже стандартных возможностей операционных систем серверов и рабочих станций позволит в разы снизить влияние информационных угроз и повысить защищенность информационно-телекоммуникационных сетей в целом. Не менее важным являются постоянное обучение администраторов безопасности работе с приобретенными средствами защиты, а также повышение уровня грамотности в данных вопросах.

## Литература

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
2. Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных, утверждена заместителем директора ФСТЭК России 14 февраля 2008 г.

УДК 621.391

## ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

К.С. Германов, Т.С. Жидоусова, Д.Б. Мальцев

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань*

В процессе развития современной техники идею повышения производительности вычислительной системы за счет увеличения числа процессоров использовали неоднократно. Сейчас развитие суперкомпьютерных технологий идет по четырем основным направлениям: векторно-конвейерные суперкомпьютеры, SMP (симметрично мультипроцессорные) системы, MPP (системы с массовым параллелизмом) системы и NUMA (неоднородный доступ к памяти) системы.

Недостатками SMP и MPP систем является снижение скорости межпроцессорного обмена из-за отсутствия общей памяти, поскольку нет общей среды для хранения данных, предназначенных для обмена между процессорами. Требуется использование специализированных коммутаторов для повышения скорости обмена данными между процессорами. Недостатком является также и то, что каждый процессор может использовать только ограниченный объем локального банка памяти. С организацией вычислительного процесса в NUMA системах связана и разработка систем межпроцессорного обмена. Обмен информацией может происходить посредством общей памяти. Но при использовании большого числа процессоров возможны конфликты при доступе к памяти, и это является основным недостатком гибридных систем. Также возможна организация межпроцессорного обмена по принципу близкодействия, но в этом случае необходимо ввести операции транзитного обмена, что снижает производительность системы.

Данные методы межпроцессорного обмена не требуют больших затрат на оборудование, однако либо ограничивают пропускную способность, либо не обеспечивают полноту межпроцессорных соединений. Поэтому в качестве коммутационной среды можно использовать различные коммутационные структуры.

Еще одной задачей является выбор организации памяти. Наиболее быстродействующими являются системы с распределенной памятью (MPP или NUMA системы). Таким образом, для исследования выбираются МВС (многoproцессорные вычислительные системы) с распределенным или неоднородным доступом к памяти и универсальной коммутацией.

Для повышения производительности МВС предлагается использовать методы параллельной обработки каналов данных на фоне передачи информации в многозвенных КС (коммутационных системах).

К методам параллельной обработки относятся:

- параллельная идентификация;
- параллельный поиск.

Метод параллельной идентификации свободных каналов данных позволяет производить настройку КС на фоне передачи информации, за счет многозвенности – уменьшить число ячеек коммутации в КС с большим количеством входов и выходов [1].

При использовании методов параллельной коммутации ячейка, поступившая на вход коммутационной системы, характеризуется номером входа внутри коммутационной системы и номером выхода, на который она должна быть направлена. Параллельная коммутация состоит в выполнении следующих действий:

- системы принятие входящей ячейки;
- чтение заголовка ячейки;
- изменение номеров входа и выхода в заголовке за счет обращения к таблице коммутации, информация в которую записана на этапе определения маршрута;
- добавление к ячейке информации о маршрутировании в коммутационной системе, которая называется заголовком быстрого пакета; таким образом, получают пакет быстрой коммутации, который поступает на один из входов коммутационной;

– заголовок быстрого пакета самомаршрутизирует пакет быстрой коммутации через коммутационную систему, и, следовательно, быстрый пакет поступает на требуемый исходящий виртуальный тракт и исходящий виртуальный канал (согласно таблице коммутации);

– в выходном контроллере заголовок быстрого пакета изымается, и, таким образом, быстрый пакет обратно преобразуется в ячейку.

Все действия происходят на фоне передачи информации.

Коммутаторы имеют буферное запоминающее устройство для временного хранения пакетов. Это связано с необходимостью разнесения во времени быстрых пакетов, одновременно поступивших на различные входы и требующих передачу на один и тот же выход.

Таким образом, при использовании параллельной коммутации время, затраченное на установление виртуального канала, компенсируется параллельной обработкой всего потока пакетов. Пакеты беспрепятственно проходят друг за другом по виртуальному каналу (в каждом узле их ждет алгоритм, который обрабатывается управляющим устройством) и в том же порядке попадают абоненту-получателю.

Для осуществления метода параллельной идентификации свободных каналов связи разработана ячейка коммутации для многозвенной коммутационной системы, позволяющая производить настройку КС на фоне передачи информации. Для этого в структуру ячейки введен элемент, позволяющий блокировать поступление параллельных идентификаторов на вход ячейки в промежутки времени, когда ячейка участвует в передаче информации. Это сделано для того, чтобы исключить возможность произвольного разрыва канала связи. Существующие ячейки коммутации позволяют проводить параллельную настройку, но только последовательным методом, так как существует вероятность разрыва установленного соединения, если в момент передачи информации на входы ячейки вновь поступят многозарядные коды. Структурная схема ячейки коммутации представлена на рис. 1.

Ячейка состоит из четырех основных блоков: элемента сравнения, коммутационного узла, коммутационного элемента и элемента запрета. Элемент сравнения служит для поразрядного сравнения имени линии, к которой подключена коммутационная ячейка (ПЗ), и поступающего на вход параллельного идентификатора (П4).

Коммутационный узел регистрирует положительные результаты сравнения, а если результат в одном из разрядов отрицателен, элемент сравнения переходит в обратное состояние и больше не регистрирует положительные результаты сравнения до конца цикла настройки. При получении внешних сигналов и в случае равенства поступающих кодов коммутационный узел включает коммутационный элемент.

Коммутационный элемент позволяет образовать канал связи через данную ячейку, соединив через себя вход с выходом ячейки коммутации. Управляющие входы необходимы для начальной подготовки ячейки коммутации, а также для установления и разрыва канала связи [2].

При дальнейшей разработке функциональной схемы ячейки коммутации необходимо учесть следующие требования:

- число элементов в коммутационной ячейке должно быть минимальным;
- ячейка коммутации должна быть универсальной в использовании, т.е. подходить для применения в коммутационных блоках входного, выходного и промежуточного каскадов;
- во время передачи информации ячейка должна быть недоступна для параллельных идентификаторов, поступающих на ее входы.

Функциональная схема данной ячейки представлена на рис. 2. В качестве элемента сравнения может быть использован элемент «Сложение по модулю 2» или «исключающее ИЛИ». Коммутационный узел включает элементы ИЗ, Триггер 1, ИЛИ 5. В качестве коммутирующих элементов выступают логические элементы И6, И7. Элемент запрета состоит из триггера 2 и логического элемента ИЛИ 8.

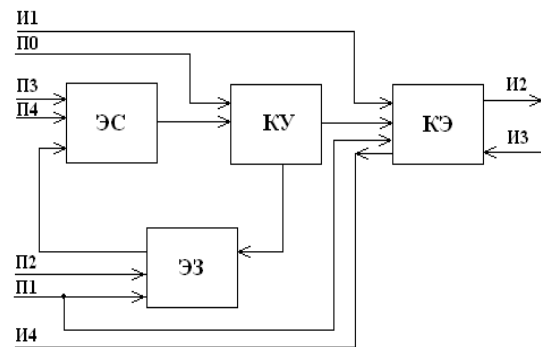


Рис. 1. Структурная схема ячейки коммутации: ЭС – элемент сравнения; КУ – коммутационный узел; КЭ – коммутационный элемент; ЭЗ – элемент запрета; П0 – начало работы ячейки; П1 – начало передачи информации; П2 – потенциал разборки каналов связи; П3, П4 – подача настроечных кодов; И1, И2, И3, И4 – шины передачи информации

Ячейка работает следующим образом: режим идентификации каналов связи начинается подачей на шину П0 потенциала, устанавливающего триггеры 1 и 2 в начальное состояние. Алгоритм установки блока коммутации в начальное состояние представлен на рис. 3.

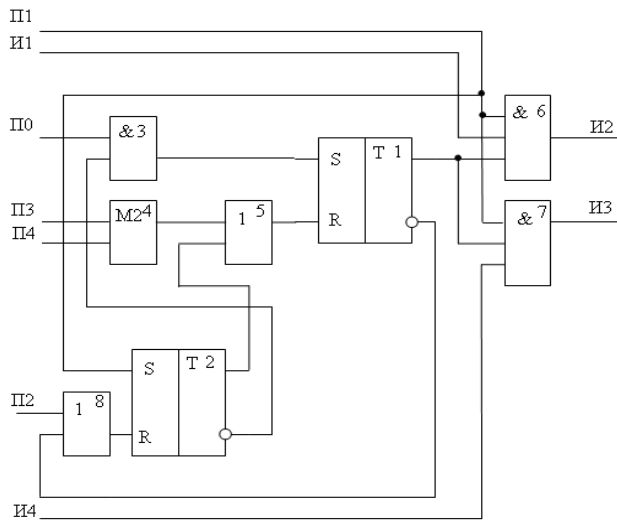


Рис. 2. Функциональная схема ячейки коммутации

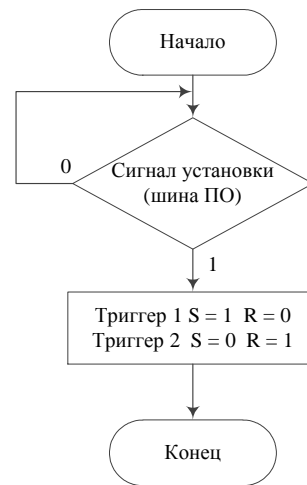


Рис. 3. Алгоритм установки блока коммутации в начальное состояние

Настроечные коды по шинам П3 и П4 поступают поразрядно на элемент «Сравнение по модулю 2» 4. Элемент «Сравнение по модулю 2» выделяет различие в соответствующих разрядах настроечных кодов, если такое различие обнаружено, то сигнал с выхода элемента 4 сбрасывает триггер 1 и тем самым фиксирует отсутствие канала связи через данный коммутирующий узел. Если в результате анализа настроечных кодов на выходе элемента 4 ни разу не выработывался сигнал неравенства разрядов, то триггер 1 остается в прямом состоянии и тем самым фиксирует наличие канала связи. Режим передачи информации начинается подачей потенциала на вход П1 [1].

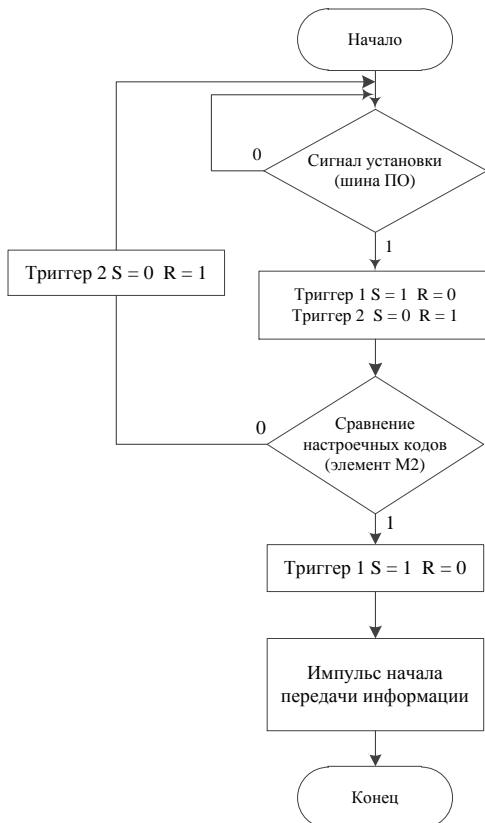


Рис. 4. Алгоритм настройки блока коммутации для передачи информации

Если в результате анализа настроечных кодов на выходе элемента 4 ни разу не выработывался сигнал неравенства разрядов, то триггер 1 остается в прямом состоянии и тем самым фиксирует наличие канала связи. Режим передачи информации начинается подачей потенциала на вход П1 [1].

Алгоритм настройки блока коммутации для передачи информации показан на рис. 4.

Информационное сообщение в прямом направлении проходит с входа И1 через 6 на выход И2, а в обратном – с выхода И3 через элемент 7 на вход И4. Импульс с входа П1 поступает также на вход установки триггера 2. На его вход сброса через элемент 8 подается потенциал с инверсного выхода триггера 1. Потенциал с прямого выхода триггера 2 поступает на вход элемента 5, тем самым запрещая дальнейшее сравнение поступающих разрядов кодов, а с инверсного – на вход двухвходового элемента 3, блокируя импульс с шины П0 и переводя триггер 1 в инверсное состояние. Ячейка в дальнейшем в переборе свободных каналов связи не участвует.

Разборка каналов связи начинается подачей потенциала на шину П2. Этот потенциал поступает на вход двухвходового элемента 8, затем с выхода элемента 8 на инверсный вход триггера 2 и переводит триггер в инверсное состояние, тем самым разрешая прохождение потенциала с шины П0 на прямой вход триггера 1 и поступление результатов сравнения разрядов кода на инверсный вход триггера 1.

В дальнейшем с целью упрощения структуры коммутационного поля элемент И7 и шины И3, И4 рассматривать не будем. Информация в коммутационном поле будет передаваться в одном направлении – с входа на выход, а с выходов системы на входы будут поступать параллельные идентификаторы линий связи и настроечная информация.

### Литература

1. Мальцева Н.С. Многокаскадные КС с параллельной настройкой / Н.С. Мальцева, Е.А. Барабанова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2007. – № 4–1 (52).
2. Мальцева Н.С. Использование метода параллельной идентификации свободных каналов данных в коммутационных системах / Н.С. Мальцева // Вестник АГТУ. – 2007. – №1 (36). – С. 78–80.

УДК 004.896

## МОДИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ НЕЧЕТКОГО СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ГАЗОПРОВОДЕ

**И.А. Голубкин**

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань*

В статье рассмотрена разработанная методика управления движением мобильного диагностического робота в газопроводной сети. Произведена адаптация и модификация моделей ситуационного управления роботизированным комплексом с трехопорной лучеобразной кинематикой. В качестве модели управления предлагается использовать нечеткую модель «ситуация – стратегия управления – действие», которая была модифицирована для решения представленной задачи. Данная модель содержит набор эталонных нечетких ситуаций, описывающих возможные состояния мобильного робота.

### Введение

Задачи управления роботами, когда работа должна осуществляться в заранее известной среде функционирования, успешно решаются применением методов теории конечных автоматов, сетей Петри и другие представлений дискретной математики. В случаях, когда возможно составить решаемые дифференциальные уравнения, в использовании данных методов и методик, основанных на искусственном интеллекте, нет необходимости.

Значительно сложнее обстоит дело с роботами, работающими в экстремальных условиях, в заранее неизвестной обстановке. Например, при спасательных операциях, при обезвреживании взрывоопасных предметов, при спасательных работах и во время дистанционно выполняемых хирургических операций. Здесь все движения робота задаются непосредственно человеком-оператором. К перечисленным сферам применения можно отнести и движение робота в газотранспортной сети, когда заранее неизвестны точные параметры трубы.

Целью данной работы является применение модели нечеткого ситуационного управления для решения задач движения мобильного диагностического робота в газопроводной сети. Работа оператора дистанционно-управляемой робототехнической системы требует высокой квалификации. Такая работа, как правило, выполняется в условиях дефицита информации и связана с существенным риском из-за возможных ошибок человека. Задача современной робототехники состоит в том, чтобы сделать возможной автономную работу дистанционно управляемых робототехнических систем в неизвестной обстановке. Робот, оснащенный сенсорной подсистемой, должен самостоятельно действовать в заранее неопределенных условиях, оценивать окружающую обстановку и самостоятельно решать задачи, поставленные человеком, прибегая при необходимости к диалогу с оператором на проблемно-ориентированном языке [1].

С созданием интеллектуальных робототехнических систем получен технический объект, который в виду своей сложности не может быть достаточно хорошо описан в математической форме, или же это описание настолько сложно, что его практически невозможно использовать. С учетом возможности приобретения собственного, индивидуального опыта, интеллектуальная система – уникальный объект. При этом возможно применение ситуационного управления, которое было предложено Д.А. Пospelовым именно для управления подобными объектами [2]. Термин «управление», который подразумевает наличие как объекта, так и субъекта управления, в данном случае интеллектуального управления, справедлив не в полной мере. Робот, способный к автономной работе и самостоятельно принимающий управленческие решения, по крайней мере, на тактическом уровне, объединяет в себе и объект, и субъект управления. Управление же со стороны человека переходит с уровня управления отдельными движениями на более высокий уровень – на уровень постановки задач и указания целей.

В большинстве случаев цели, которые должны быть достигнуты с помощью интеллектуальной системы, трудно формализуемы, но допускается достаточно простая формулировка на естественном языке. Можно говорить об отсутствии определенного критерия оптимальности (относится также и к ситуационному управлению). Поскольку цель деятельности робота задается человеком, то и качество оценки ее результатов субъективно. Оно может быть оценено только с использованием лингвистических переменных и естественных пространственно-временных отношений, свойственных мировосприятию человека.

Если рассматривать понятие ситуации, которое при ситуационном управлении представляет собой текущее состояние объекта управления, в робототехнике ситуация представляет собой текущее состояние внешнего мира, в котором функционирует робот, включая и самого робота.

Задачей данной работы является адаптация и модификация моделей ситуационного управления для перемещения мобильного колесного диагностического робота в трубопроводе. Применение мобильных роботов в данном процессе позволит осуществлять диагностику без вскрытия трубопроводов, что существенно облегчит работу специалистов [3]. Конструкция рассматриваемого робота для перемещения диагностических устройств включает в себя использование роботизированного комплекса с трехопорной лучеобразной кинематикой [4]. Основным преимуществом данной конструкции перед традиционной для мобильных роботов мобильной конструкцией является преодоление наклонных и вертикальных участков трубопроводов.

### Формирование нечеткой ситуации

Основная функция любой ситуации управления состоит в выработке в соответствии с некоторым набором правил и выдаче в требуемой форме управляющих воздействий на исполнительные механизмы. Нечеткая модель управления состоит из трех основных блоков: блок оценки состояний, блок принятия решений, блок выдачи управляющих воздействий.

В блоке оценки состояний на основе данных, поступающих от сенсорной подсистемы мобильного робота [5], производится формирование нечетких ситуаций, которые представляют собой набор значений признаков, описывающих состояние объекта управления в некоторый момент времени.

Состояние объекта управления можно оценивать по значениям признаков, представляющих собой как набор внутренних характеристик самого диагностического робота, так и характеристик трубопровода. Для верного определения важных признаков необходимо учесть трудности (прецеденты), которые предстоит преодолеть мобильному роботу в процессе его функционирования внутри трубопровода. Данные прецеденты выявлены и рассмотрены в работе [6].

Проведем словесное описание признаков, представляющих собой значения соответствующих лингвистических переменных.  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$  – множество признаков, значениями которых описываются состояния, в которых находится объект управления или рабочая среда. Каждый признак  $y_i = (i \in J = \{1, 2, \dots, p\})$  описывается соответствующей лингвистической переменной  $\langle y_i, T_i, D_i \rangle$ , где  $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_m^i\}$  – терм-множество лингвистической переменной  $y_i$  (набор лингвистических значений признака,  $m_i$  – число значений признака);  $D$  – базовое множество признака  $y_i$  [7].



Для составления нечетких ситуаций процесса проведения внутритрубной диагностики мобильным колесным роботом будут использоваться следующие признаки:

1.  $y_1$  – угол наклона трубопровода относительно горизонтали. <”Наклон трубопровода”,  $T_1, D_1$  >;  
 $T_1 = \{ \text{”сильно вверх”, ”вверх”, ”горизонт”, ”вниз”, ”сильно вниз”} \};$   
 $D_1 = \{ -90^\circ, -80^\circ, -70^\circ \dots 80^\circ, 90^\circ \}.$

Учитывая то, что при значениях «Вниз» и «Вверх», также как и «Сильно вниз» и «Сильно вверх», роботу необходимо прикладывать аналогичные усилия упора в стенку трубопровода, то число термов возможно сократить до трех: ”горизонт” ( $T_1^1$ ), ”вниз” ( $T_2^1$ ), ”сильно вниз” ( $T_3^1$ ).

2.  $y_2$  – внутренний диаметр трубопровода. <”Диаметр трубопровода”,  $T_2, D_2$  >;  
 $T_2 = \{ \text{”малый”, ”средний”, ”большой”} \};$   
 $D_2 = \{ d_{роб.мин} \dots d_{роб.мах} \};$

$d_{роб.мин}$  – робот в максимально сжатом положении,  $d_{роб.мах}$  – робот в максимально разжатом положении.

3.  $y_3$  – направление движения робота в трубопроводе. <”Целеуказание”,  $T_3$  >;  
 где  $T_3 = \{ \text{”влево”, ”вправо”, ”прямо”, ”вверх”, ”вниз”} \}.$

4.  $y_4$  – радиус поворота трубопровода. <”Радиус поворота”,  $T_4, D_4$  >;  
 где  $T_4 = \{ \text{”малый”, ”большой”, ”очень большой”} \}, D_4 = \{ r_{роб.мин} \dots \infty \}.$

$r_{роб.мин}$  – минимально возможный радиус поворота, который робот способен преодолеть, радиус поворота равен  $\infty$  на прямолинейном участке трубопровода.

5.  $y_5$  – скорость вращения 1-го колесного модуля робота.  
 <”Скорость 1-го колесного модуля”,  $T_5, D_5$  >;  
 $T_5 = \{ \text{”малая”, ”средняя”, ”большая”} \};$   
 $D_5 = \{ v_{мин} \dots v_{мах} \};$

$v_{мин}$  – минимальная скорость вращения;

$v_{мах}$  – максимальная скорость вращения.

6.  $y_6$  – скорость вращения 2-го колесного модуля робота.  
 <”Скорость 2-го колесного модуля”,  $T_6, D_6$  >;  
 $T_6 = \{ \text{”малая”, ”средняя”, ”большая”} \}, D_6 = \{ v_{мин} \dots v_{мах} \}.$

7.  $y_7$  – скорость вращения 3-го колесного модуля робота.  
 <”Скорость 3-го колесного модуля”,  $T_7, D_7$  >;  
 $T_7 = \{ \text{”малая”, ”средняя”, ”большая”} \}, D_7 = \{ v_{мин} \dots v_{мах} \}.$

8.  $y_8$  – ориентация колесных роботов относительно вертикали. <”Ориентация”,  $T_8, D_8$  >;  
 $T_8 = \{ \text{”малый”, ”средний”, ”большой”} \}, D_8 = \{ 0^\circ \dots 360^\circ \}.$

В случае значения  $T_8 = \{ \text{”малый”} \}$  принимается, что колесный модуль 1 находится сверху, при  $T_8 = \{ \text{”средний”} \}$  – колесный модуль 3 сверху, а при  $T_8 = \{ \text{”большой”} \}$  – колесный модуль 2.

Приведем принцип формирования нечетких ситуаций. Нечеткой ситуацией называется нечеткое множество второго уровня:

$$\tilde{s} = \{ \langle \mu_s(y_i) / y_i \rangle \}, y_i \in Y, \quad (1)$$

где  $\mu_s(y_i) = \{ \mu_{\mu_s}(T_j^i) / T_j^i \}, j \in L, i \in J.$

Таким образом, нечеткая ситуация – это совокупность нечетких значений признаков, характеризующих состояния объекта управления или рабочей среды.

Описание нечеткой ситуации приводится в следующем виде:

$\tilde{s} = \{ \langle \mu_1^1 / \text{”горизонт”} \rangle, \langle \mu_1^2 / \text{”вниз”} \rangle, \langle \mu_1^3 / \text{”сильно вниз”} \rangle / \text{”Наклон трубопровода”} \rangle, \langle \mu_2^1 / \text{”малый”} \rangle, \langle \mu_2^2 / \text{”средний”} \rangle, \langle \mu_2^3 / \text{”большой”} \rangle / \text{”Диаметр трубопровода”} \rangle, \langle \mu_3^1 / \text{”влево”} \rangle, \langle \mu_3^2 / \text{”вправо”} \rangle, \langle \mu_3^3 / \text{”прямо”} \rangle, \langle \mu_3^4 / \text{”вверх”} \rangle, \langle \mu_3^5 / \text{”вниз”} \rangle / \text{”Целеуказание”} \rangle, \langle \mu_4^1 / \text{”малый”} \rangle, \langle \mu_4^2 / \text{”средний”} \rangle, \langle \mu_4^3 / \text{”очень большой”} \rangle / \text{”Радиус поворота”} \rangle, \langle \mu_5^1 / \text{”малая”} \rangle, \langle \mu_5^2 / \text{”средняя”} \rangle, \langle \mu_5^3 / \text{”большая”} \rangle / \text{”Скорость 1-го колесного модуля”} \rangle, \langle \mu_6^1 / \text{”малая”} \rangle, \langle \mu_6^2 / \text{”средняя”} \rangle,$

$\langle \mu_6^3 / \text{''большая''} \rangle / \text{''Скорость 2-го колесного модуля''}$ ,  $\langle \mu_7^1 / \text{''малая''} \rangle$ ,  $\langle \mu_7^2 / \text{''средняя''} \rangle$ ,  $\langle \mu_7^3 / \text{''большая''} \rangle / \text{''Скорость 3-го колесного модуля''}$ ,  $\langle \mu_8^1 / \text{''малый''} \rangle$ ,  $\langle \mu_8^2 / \text{''средний''} \rangle$ ,  $\langle \mu_8^3 / \text{''большой''} \rangle / \text{''Ориентация''}$ .

### Определение управляющих решений

В качестве модели управления предлагается использовать нечеткую модель «ситуация – стратегия управления – действие» [7], которую необходимо модифицировать для решения конкретной задачи. Данная модель содержит набор эталонных нечетких ситуаций, описывающих возможные состояния мобильного робота. Управляющие решения, соответствующие текущим нечетким ситуациям, формируются на основе анализа возможных переходов между текущей ситуацией и целевой, т.е. ситуацией, в которую желательно перевести объект управления.

Выработка воздействий, выдаваемых на исполнительные механизмы системы управления, возлагается на блок выдачи управляющих воздействий. Для мобильного диагностического робота предлагаются следующие управляющие решения:

1. Упор в стенку трубопровода –  $\langle R_I^1, R_D^1, R_Z^1 \rangle$ . Терм-множества:

$$R_I^1 = \{R_{I_1}^1, R_{I_2}^1\}, R_D^1 = \{R_{D_1}^1, R_{D_2}^1\}, R_Z^1 = \{R_Z^1\}.$$

В данном выражении, как и в последующих, вводятся следующие условные обозначения для составляющих компонентов управляющих решений:  $R_I$  – увеличить,  $R_D$  – уменьшить, – не изменять.

2. Изменение скорости 1-го колесного модуля –  $\langle R_I^2, R_D^2, R_Z^2 \rangle$ . Терм-множества:

$$R_I^2 = \{R_{I_1}^2\}, R_D^2 = \{R_{D_1}^2\}, R_Z^2 = \{R_Z^2\}.$$

3. Изменение скорости 2-го колесного модуля –  $\langle R_I^5, R_D^5, R_Z^5 \rangle$ . Терм-множества:

$$R_I^3 = \{R_{I_1}^3\}, R_D^3 = \{R_{D_1}^3\}, R_Z^3 = \{R_Z^3\}.$$

4. Изменение скорости 3-го колесного модуля –  $\langle R_I^4, R_D^4, R_Z^4 \rangle$ . Терм-множества:

$$R_I^4 = \{R_{I_1}^4\}, R_D^4 = \{R_{D_1}^4\}, R_Z^4 = \{R_Z^4\}.$$

Термы заданы следующим образом:  $R_{I_1}^1$  – немного увеличить,  $R_{I_2}^1$  – увеличить,  $R_{D_1}^1$  – немного уменьшить,  $R_{D_2}^1$  – уменьшить,  $R_Z^1$  – не изменять,  $R_{I_1}^2$  – немного увеличить,  $R_{D_1}^2$  – немного уменьшить,  $R_Z^2$  – не изменять,  $R_{I_1}^3$  – немного увеличить,  $R_{D_1}^3$  – немного уменьшить,  $R_Z^3$  – не изменять,  $R_{I_1}^4$  – немного увеличить,  $R_{D_1}^4$  – немного уменьшить,  $R_Z^4$  – не изменять.

### Разработка способа по выбору необходимой последовательности управляющих решений

Используя предлагаемые управляющие решения, разработаем способ, согласно которому должен производиться выбор необходимой последовательности решений в зависимости от текущего набора значений восьми признаков.

Максимальные совершенные подмножества, выделенные по отношению порождения управляющих решений, выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned}
 X_1 & \left\{ \begin{aligned} X_1^a &= \{R_{I_1}^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_1^b &= \{R_{I_1}^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_1^c &= \{R_{I_1}^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_1^d &= \{R_{I_1}^1\} \end{aligned} \right\} \\
 X_2 & \left\{ \begin{aligned} X_2^a &= \{R_{I_2}^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_2^b &= \{R_{I_2}^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_2^c &= \{R_{I_2}^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_2^d &= \{R_{I_2}^1\} \end{aligned} \right\} \\
 X_3 & \left\{ \begin{aligned} X_3^a &= \{R_{D_1}^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_3^b &= \{R_{D_1}^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_3^c &= \{R_{D_1}^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_3^d &= \{R_{D_1}^1\} \end{aligned} \right\} \\
 X_4 & \left\{ \begin{aligned} X_4^a &= \{R_{D_2}^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_4^b &= \{R_{D_2}^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_4^c &= \{R_{D_2}^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_4^d &= \{R_{D_2}^1\} \end{aligned} \right\} \\
 X_5 & \left\{ \begin{aligned} X_5^a &= \{R_Z^1, R_D^2, R_Z^3, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_5^b &= \{R_Z^1, R_D^3, R_Z^2, R_Z^4, R_I^2\} \\ X_5^c &= \{R_Z^1, R_D^4, R_Z^2, R_Z^3, R_I^2\} \\ X_5^d &= \{R_Z^1\} \end{aligned} \right\}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Данные управляющие решения можно сгруппировать на 5 уровней, и поиск необходимого решения будет осуществляться в два этапа: сначала необходимо найти подходящий уровень, а затем внутри уровня выбрать соответствующую входным признакам последовательность управляющих решений.

**Этап 1.** Предпочтение уровня управляющих решений  $X_1, X_2, \dots, X_5$  рассчитывается с использованием нечетких базовых правил, включающих связь признаков  $y_1$  и  $y_2$  (термы  $(T_1^1, T_2^1, T_3^1, T_1^2, T_2^2, T_3^2)$  и уровней управляющих решений  $X_1, X_2, \dots, X_5$ ). Нечеткие базовые правила и таблицы соответствия приведены в табл. 1, 2 и 3.

Таблица 1

Нечеткие базовые правила признака  $y_1$

	$T_1^1$	$T_2^1$	$T_3^1$
$T_1^1$	$X_Z^T$	$X_{I_1}^T$	$X_{I_2}^T$
$T_2^1$	$X_{D_1}^T$	$X_Z^T$	$X_{I_1}^T$
$T_3^1$	$X_{D_2}^T$	$X_{D_1}^T$	$X_Z^T$

Таблица 2

Нечеткие базовые правила признака  $u_2$

	$T_1^2$	$T_2^2$	$T_3^2$
$T_1^2$	$X_Z^R$	$X_{I_1}^R$	$X_{I_2}^R$
$T_2^2$	$X_{D_1}^R$	$X_Z^R$	$X_{I_1}^R$
$T_3^2$	$X_{D_2}^R$	$X_{D_1}^R$	$X_Z^R$

Здесь введены следующие обозначения:

$X_{I_1}^T, X_{I_1}^R$  – немного увеличить;

$X_{I_2}^T, X_{I_2}^R$  – увеличить;

$X_{D_1}^T, X_{D_1}^R$  – немного уменьшить;

$X_{D_2}^T, X_{D_2}^R$  – уменьшить;

$X_Z^T, X_Z^R$  – не изменять.

Таблица 3

Таблица соответствия для определения уровня управляющих воздействий

	$X_{I_1}^T$	$X_{I_2}^T$	$X_{D_1}^T$	$X_{D_2}^T$	$X_Z^T$
$X_{I_1}^R$	$X_2$	$X_2$	$X_5$	$X_3$	$X_1$
$X_{I_2}^R$	$X_2$	$X_2$	$X_1$	$X_5$	$X_2$
$X_{D_1}^R$	$X_5$	$X_1$	$X_4$	$X_4$	$X_3$
$X_{D_2}^R$	$X_3$	$X_5$	$X_4$	$X_4$	$X_4$
$X_Z^R$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$

**Этап 2.** После выбора уровня управляющих решений необходимо определить подходящее множество управляющих решений. Поиск осуществляется внутри уровня среди решений, которые условно обозначим как  $X_*^a \dots X_*^d$  (\* – номер уровня). Решение выбирается согласно базовым правилам, представленным в табл. 4, которые включают в себя зависимости признаков  $u_3$  («Целеуказание») и  $u_8$  («Ориентация колесных роботов относительно вертикали»).

Таблица 4

Соответствие признаков  $u_3$  и  $u_8$

	$T_1^3$	$T_2^3$	$T_3^3$	$T_4^3$	$T_5^3$
$T_1^8$	$X_*^b$	$X_*^c$	$X_*^d$	$X_*^a$	$X_*^c$
$T_2^8$	$X_*^a$	$X_*^b$	$X_*^d$	$X_*^c$	$X_*^b$
$T_3^8$	$X_*^c$	$X_*^a$	$X_*^d$	$X_*^b$	$X_*^a$

Значение управляющих воздействий  $R_D^2, R_D^3, R_D^4$  рассчитывается пропорционально радиусу угла поворота газопровода (признак  $u_4$ ).

### Заключение

Разработанная методика ситуационного управления на нечеткой логике предлагается к применению в системе управления мобильным колесным роботом с трехпорной лучеобразной кинема-

тикой. Чтобы построить ситуационную модель управления роботом для проведения дефектоскопии газопроводов, необходимо провести следующие последовательности действий (укрупненно):

1) формализация признаков и формирование ситуаций – определение базовых множеств признаков, зависящих от конкретных геометрических размеров робота и его технических характеристик, фазификация входных переменных, построение графиков функций;

2) построение функций принадлежности выходных переменных (управляющих воздействий), которые определяются исходя из силовых и скоростных характеристик исполнительных механизмов робота;

3) определение уровня последовательностей управляющих решений, которое производится согласно базовым правилам и таблицам соответствия, приведенным в табл. 1, 2 и 3;

4) определение подходящего множества управляющих решений, производится согласно базовым правилам, представленным в табл. 4;

5) расчет значений управляющих воздействий, дефазификация выходных переменных.

Данный способ подходит для решения сложной задачи управления объектом в условиях изменения физических параметров газопровода, учитывая все возможные прецеденты.

### Литература

1. Ющенко А.С. Ситуационное управление и робототехника. – [Электронный ресурс] / библиотека lib.znate.ru – Режим доступа: <http://lib.znate.ru/docs/index-198521.html> – (Загл. с экрана).

2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика [Текст] / Д.А. Поспелов. – М.: Наука – Физ.мат.лит., 1986.

3. Голубкин И.А. Повышение эффективности проведения внутритрубной диагностики газопроводов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Четвертой всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2013. – Ч. I. – С. 23–26.

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

5. Голубкин И.А., Щербатов И.А. Универсальная сенсорная подсистема мобильного колесного робота // Научно-технический и производственный журнал «Датчики и системы». – М., 2010. – № 8 (135), август. – С. 32–35.

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

7. Мелихов А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.Я. Коровин. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

УДК 378.146:004.9

## ПРОВЕРКА УРОВНЯ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

**В.Л. Дмитриев**

*Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,  
Стерлитамак*

В работе приводится разработанная автором компьютерная программа для проведения дистанционного тестирования. Отмечается, что дистанционное тестирование является логическим продолжением процесса обучения и приводит учащихся к более полному и глубокому усвоению материала изучаемой дисциплины. Положительные аспекты дистанционного тестирования обосновываются автором апробацией предложенного метода.

Процесс обучения носит нелинейный характер [1], но именно от того, насколько полно и качественно будет усвоена базовая часть, во многом зависит дальнейший процесс обучения. Так,

в работе [2] показано, что прежде, чем начинать изучение нового курса, необходимо с помощью хорошо составленных тестов выявить базовый фонд информации, имеющийся у учащихся для усвоения нового предмета. В случае если по результатам проверки выявляется недостаточный уровень имеющихся знаний, рекомендуется создать базу для дальнейшего усвоения материала новой дисциплины (например, посредством проведения дополнительных занятий).

Автоматизированное (компьютерное) тестирование является одной из широко распространенных форм проверки и оценки знаний [3]. Оно может применяться во всех видах контроля: предварительном, текущем, тематическом, итоговом. С одной стороны, тестирование позволяет оперативно, достаточно точно и непредвзято определить уровень знаний учащихся. В зависимости от используемых тестирующих программ оно позволяет также провести анализ проблемных вопросов, которые вызвали наибольшие трудности у учащихся и, тем самым, спланировать необходимую коррекционную работу. Такая работа может включать изменение содержания и наполнения материала, пересмотр подходов и форм педагогической деятельности (включая более глубокую индивидуализацию и дифференциацию в процессе обучения) и даже принципиальную перестройку всей системы преподавания. С другой стороны, тестирование позволяет самим учащимся проводить самоконтроль и выяснять, какие разделы дисциплины им необходимо повторить. Самоконтроль стимулирует познавательную активность учащегося, воспитывает сознательное отношение к проверке, способствует выработке умений планировать свою деятельность с целью устранения выявленных ошибок и недочетов. Умение учащегося планировать свои действия по результатам самоконтроля, разумеется, формируется не сразу, а постепенно, но зато дает в дальнейшем хорошие результаты.

Представленная в работе программа имеет целью автоматизировать проверку знаний и умений обучающихся по различным изучаемым дисциплинам дистанционно, а также показать, на какие разделы и темы дисциплины следует обратить внимание.

На первый взгляд может показаться, что проводить тестирование в дистанционной форме нет смысла, т.к. учащийся может воспользоваться при своих ответах любым доступным ему источником информации (например, сеть Internet). Однако автор и предлагает такую форму тестирования в предположении, что при ответах на вопросы теста учащиеся будут задействовать сторонние источники информации. Дело в том, что при таком подходе сам тест выступает как логическое продолжение процесса обучения: учащийся целенаправленно ищет ответы на вопросы, вызвавшие у него затруднения. При этом он, как правило, перед ответом на проблемный вопрос просматривает несколько источников информации, после чего проводит их анализ и выбирает ответ. Таким образом, прохождение теста в домашних условиях наталкивает обучающегося на изучение дополнительной, в том числе научно-популярной литературы по определенной дисциплине.

Как показала достаточно продолжительная практика автора (предложенный метод апробировался в течение 6 лет), такая форма проведения тестирования дает хорошие положительные результаты, особенно если тест состоит из достаточно большого количества вопросов (более 80). При этом тест следует давать на несколько дней, чтобы излишне не загружать учащегося. Интервал времени в несколько дней также играет существенную роль при проведении дистанционного тестирования: учащийся не спешит с ответом, у него есть возможность хорошо разобраться в тех вопросах, которые вызывают затруднения.

Программа предоставляет возможность создания тестов с любым количеством вопросов. При этом количество вариантов ответов ограничено – их должно быть четыре. Поддерживается два типа вопросов: вопросы с единственным верным вариантом ответа, или с несколькими верными вариантами ответа (при этом верными могут оказаться и все четыре варианта).

Наличие независимых тестирующего и проверочного модулей программы дает возможность проведения тестирования в домашних условиях и потому подходит также и при дистанционной форме обучения (обучающемуся при этом передается тестирующий модуль). Как уже было отмечено, прохождение теста в домашних условиях наталкивает обучающегося на изучение дополнительной, в том числе научно-популярной литературы по определенной дисциплине.

Для формирования теста используется текстовый редактор Microsoft Word, в котором набираются вопросы теста и варианты ответов к ним (каждый вопрос и вариант ответа набирается с пропуском одной строки). Пример фрагмента текста теста приведен ниже (он содержит 2 вопроса):

*Из какого вида симметрии следует закон сохранения электрического заряда?*

*Однородность времени*

*Однородность пространства*

*Изотропия пространства*

*Калибровочная инвариантность*

*Как изменяется энтропия и температура системы при обратимом адиабатном сжатии?*

*Энтропия не изменяется, температура падает*

*И энтропия, и температура растут*

*И энтропия, и температура падают*

*Энтропия не изменяется, температура растет*

Подготовленный таким образом текст теста необходимо сохранить в файл формата rtf (*rich text format*).

После формирования базы тестов необходимо создать ключевые файлы – для этого преподавателю необходимо запустить тестирующий модуль и пройти тест – результирующий файл сделать ключевым.

На рис. 1 приведен внешний вид тестирующего модуля программы в процессе прохождения теста. В данном случае тест содержит 101 вопрос.



Рис. 1. Окно программы в процессе прохождения теста

После завершения теста файл с вариантами ответов должен быть отправлен преподавателю (например, по электронной почте). При этом учащийся может проходить тест сколько угодно раз – программа всякий раз перезаписывает файл с результатами ответов и позволяет сохранять

только самый последний вариант прохождения теста. Преподавателю необходимо лишь запустить проверочный модуль и узнать результаты прохождения теста обучающимся.

Внешний вид проверочного модуля в процессе работы представлен на рис. 2. При этом можно просмотреть варианты ответов обучающегося и варианты ответов по ключевому файлу.

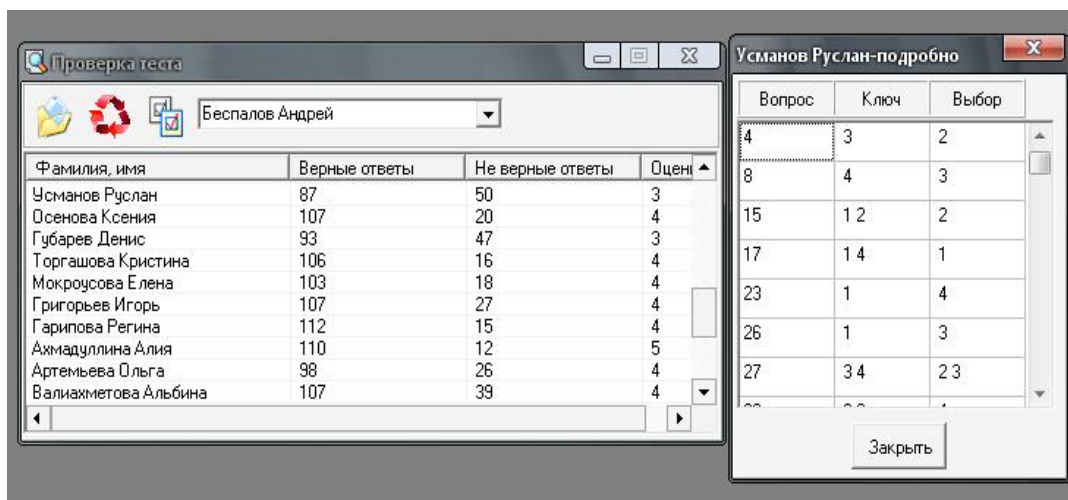


Рис. 2. Окно программы в процессе проверки тестов

Стоит отметить достаточно жесткую систему выставления оценки: если обучающийся в каком-либо вопросе выбрал не все варианты верных ответов или выбрал неверные варианты, то программа поставит отрицательный балл и за выбор неверных вариантов, и за то, что не был выбран верный вариант (или варианты). Именно поэтому в случае, представленном на рис. 2, когда вопросов в тесте всего 101, общее количество верных и неверных ответов для различных обучающихся превышают значение 101.

Отмечу, что при составлении тестов необходимо придерживаться некоторых принципов. Так, вопросы должны быть однозначными (не допускающими произвольного толкования тестового задания), правильными (исключающими возможность формулировки многозначных ответов, если, конечно, такое не предполагается в самом тесте) и краткосрочными (не содержать заданий, предполагающих громоздких и сложных вычислений). Нельзя также допускать, чтобы одни вопросы содержали в себе подсказки для ответов на другие.

Правильно составленные вопросы теста призваны играть не только контролирующую, но и, в значительной степени, обучающую роль, а грамотная и интересная форма их представления позволит достичь высоких результатов обучения.

### Литература

1. Майер Р.В. Моделирование процесса формирования системы эмпирических знаний // Проблемы учебного физического эксперимента. – Глазов: ГГПИ. – 1996. – Вып. 2. – С. 21–25.
2. Есенбаева Г.А., Юров В.М. О применении общих принципов неравновесной термодинамики к моделированию учебного процесса // Вестник КарГУ им. Е.А. Букетова. – 2005. – № 3 (39). – С. 23–28.
3. Дмитриев В.Л. Тестирование в игровой форме как способ проверки усвоения учебного материала // Информатика в школе. – 2012. – № 10 (83). – С. 41–43.



УДК 004.421.2

## АНАЛИЗ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ АЛГОРИТМА ПОИСКА ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

И.Ю. Елисеев, С.Ю. Папшева

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

Всеобщая доступность использования недорогих, но в то же время достаточно мощных многоядерных вычислительных машин привела к бурному развитию инструментов, позволяющих организовать высокопроизводительные вычисления. Это, в свою очередь, подтолкнуло многих специалистов в области компьютерных наук к разработке и анализу параллельных алгоритмов. В представленной работе показаны различные способы организации последовательных и параллельных вычислений с анализом временной эффективности задачи поиска простых чисел на базе алгоритма, получившего название «решето Эратосфена». Произведен сравнительный анализ времени выполнения всех реализованных вариантов вычислений, а также времени выполнения вычислений с использованием пула потоков на различных процессорах. Полученные результаты показывают, что вычисления, использующие автоматическое распределение потоков по ядрам процессора, являются самыми предпочтительными с точки зрения быстродействия, кроме того, мощность вычислительной системы также влияет на скорость вычислений.

В последние десятилетия специалистам в области компьютерных технологий все чаще приходится решать задачи, связанные с проблемами вычислительной физики, химии, генной инженерии и т.д. Как правило, это трудоемкие вычислительные задачи, требующие больших временных затрат. Сравнительно недавно, в конце 80-х гг. прошлого века, разработчики программного обеспечения получили инструмент, позволяющий при определенных условиях серьезно ускорить решение поставленных задач – параллельные вычисления. В это время стали появляться первые работы, связанные с разработкой параллельных алгоритмов (до этого времени основной упор делался на использование последовательных алгоритмов). Как правило, изучением и разработкой параллельных алгоритмов и распределенных вычислительных систем занимались в основном отдельно взятые специалисты в этой области. Однако примерно 10–15 лет назад во многих трудах, посвященных разработке и анализу алгоритмов, стали появляться разделы и целые главы, посвященные параллельным вычислениям. Это было связано и с тем, что результаты работы первых распределенных вычислительных систем в большинстве своем оправдали возложенные на них надежды, и с тем, что недорогие многопроцессорные машины появились на прилавках магазинов. На сегодняшний день уже не редкость встретить университетские курсы, посвященные введению в параллельные алгоритмы как естественному продолжению курса «Структуры и алгоритмы обработки данных». Но как и в начале развития концепции параллельных вычислений, так и сегодня главным остается вопрос: при каких условиях применение параллельных алгоритмов дает ожидаемое ускорение в вычислениях?

Задача, результаты решения которой изложены ниже, была подсказана К. Туральчуком [1] и заключается в анализе распараллеливания задачи поиска простых чисел. Существует немало количество последовательных алгоритмов решения данной задачи, подробный анализ которых приведен в [2]. Однако в нашем случае был выбран алгоритм, получивший название «решето Эратосфена» как самый наглядный.

Последовательный алгоритм «решето Эратосфена» работает со списком целых чисел от 2 до  $n$ , из которого и будут выбираться простые числа. На каждом проходе цикла убираются числа кратные 2-м (т.е. 4, 6, 8, ...), 3, 5, 7 и т.д. (числа 4 и 6 уйдут на первом проходе как кратные 2-м). Алгоритм работает до тех пор, пока в списке остаются числа, которые можно удалить. Естественно, что в математике давно определили наибольшее значение числа  $p$ , для которого еще остаются кратные ему числа –  $p = \lfloor \sqrt{n} \rfloor$ . Если не вводить признака того, что данное число является составным, то удаление некоторых чисел может происходить несколько раз, т.к. они могут иметь в своем составе несколько простых чисел (например, число 6 делится на простые числа 2 и 3, и т.д.).

При реализации последовательного алгоритма «решето Эратосфена» удобно использовать массив булевых переменных, который хранит в себе признак составного (true) и простого числа (false) (рис. 1). Массив сохраняет признаки чисел, начиная с двойки. Таким образом, размерность массива на единицу меньше  $n$ . Из этого массива можно получить непосредственно само простое число, добавляя к индексу элемента массива 2. Соответствие индекса массива и простого числа показано на рис. 1.

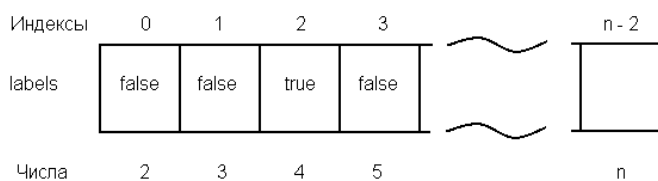


Рис. 1. Соответствие индекса массива и простого числа

На языке C# в среде Visual Studio 2010 алгоритм выглядит следующим образом:

```
static bool[] Eratosfen(int n)
{
    ...
    for (int i = 0; i < n - 2; i++)
    {
        if (!labels[i])
            for (int j = i + 1; j <= n - 2; j++)
            {
                if ((j + 2) % (i + 2) == 0)
                    labels[j] = true;
            }
    }
}
```

Временная эффективность данного алгоритма составляет  $\theta(n^2)$ . При небольших значениях  $n$  такая эффективность может удовлетворять, но при  $n \rightarrow \infty$  время исполнения данного алгоритма становится недопустимо большим.

Представленный выше алгоритм можно несколько модифицировать, найдя простые числа в диапазоне от 2 до  $\sqrt{n}$ , такой набор чисел назовем базовым. После чего достаточно будет проверять числа в диапазоне от  $\sqrt{n}$  до  $n$  на делимость на базовые простые числа.

```
static bool[] ModEratofen(int limit)
{
    ...
    bool[] baseLabels = Eratosfen(Math.Sqrt(limit));
    bool[] labels = new bool[limit - 1];
    baseLabels.CopyTo(labels, 0);
    for (int i = 2; i <= Math.Floor(Math.Sqrt(limit)); i++)
    {
        if (!labels[i - 2])
            for (int j = baseLabels.Length + 2; j <= limit; j++)
            {
                if (j % i == 0)
                    labels[j - 2] = true;
            }
    }
}
```

Временная эффективность модифицированного последовательного алгоритма несколько улучшается и в среднем случае составляет  $\theta(n)$ , т.е. при  $n = 10^6$  среднее время вычисления составляет 888,8112 мс.

Для ускорения процесса вычисления последовательности простых чисел в диапазоне от 2 до  $n$  (где  $n = 10^6$ ) было реализовано несколько вариантов распараллеливания процесса вычис-

ления и для каждого варианта определены фактические временные интервалы выполнения вычислений. Рассмотрим каждый вариант в отдельности.

В первом случае произведена декомпозиция по данным. Идея декомпозиции по данным заключается в разбиении диапазона чисел от  $\sqrt{n}$  до  $n$  на четыре равные части. Количество частей, на которые делится рассматриваемый диапазон, определяется количеством ядер процессора вычислительной машины, на которой производится вычисление. Это необходимо для корректного сравнения временной эффективности данной реализации с алгоритмом, использующим автоматическое распределение вычислений по ядрам процессора. Вычисления на каждом отрезке происходят по модифицированному последовательному алгоритму «решето Эратосфена», т.е. определяется делимость чисел на отрезке на каждое базовое простое число. Базовый набор чисел получается с помощью последовательного алгоритма «решето Эратосфена». Вычисления на каждом отрезке производятся параллельно – это дает улучшение временной эффективности.

Параллельные вычисления реализуются с помощью класса Thread. Данный класс предназначен для создания потоков, выполняемых параллельно. При создании объекта класса Thread, конструктору передается делегат, указывающий на метод, который будет выполняться в потоке, соответствующий этому объекту. В данной реализации параллельных вычислений использовались базовые методы класса Thread: Start() – позволяющий запустить поток на выполнение, и Join() – приостанавливающий выполнение текущего потока в случае необходимости.

Листинг реализации параллельных вычислений с декомпозицией по данным представлен ниже:

```
staticbool[] EratosfenDataDecompose(int limit)
{
    ...
    // Оберткидляпотоков
    EratosfenDataDecomposeParallPart[] part = new EratosfenDataDecomposeParallPart[4];
    // Пределыпроверкиишаг
    intlowLimit = baseLabels.Length + 2;
    intdt = (int)(Math.Ceiling((limit - baseLabels.Length + 2) / 4.0));
    inthighLimit = lowLimit + dt;
    inti = 0;
    while (lowLimit<= limit)
    {
        part[i] = new EratosfenDataDecomposeParallPart(labels, lowLimit, highLimit);
        i++;
        lowLimit = highLimit + 1;
        highLimit = lowLimit + dt;
        if (highLimit> limit)
            highLimit = limit;
    }
    // Ожидание выполнения всех потоков

    for (i = 0; i <part.Length; i++)
        part[i].thread.Join();
        // Выполняем логическое сложения для всех меток составных чисел,
        // полученных из 3х потоков
    for (i = 0; i<part.Length; i++)
        for (int j = 0; j <labels.Length; j++)
            labels[j] = labels[j] || part[i].Lables[j];
    }
    classEratosfenDataDecomposeParallPart
    {
        ...
        public void Run()
        {
            for (inti = 2; i<= Math.Floor(Math.Sqrt(labels.Length + 1)); i++)
            {
```

```

if (!labels[i - 2])
for (int j = lowLimit; j <= highLimit; j++)
    {
if (j % i == 0)
labels[j - 2] = true;
}
    }
}

```

Временная эффективность параллельного алгоритма с декомпозицией по данным улучшается более чем в два раза по сравнению с модифицированным последовательным алгоритмом. При  $n = 10^6$  среднее время вычисления составляет 365,66984 мс. Естественно, не стоит ожидать, что время вычислений уменьшится в четыре раза, т.к. операционная система занята и другими процессами и дает программе возможность выполнить поток параллельно только, когда очередь освободится.

Рассмотрим второй вариант распараллеливания данных. В этом случае применяется декомпозиция базового набора простых чисел. Базовый набор разделяется на четыре поднабора (по количеству ядер процессора). Вычисления по каждому поднабору происходят в отдельном потоке. Числа в диапазоне от  $\sqrt{n}$  до  $n$  проверяются на делимость на числа из поднабора. В данном варианте распараллеливания вычислений также используется класс Thread. Листинг реализации параллельных вычислений с декомпозицией базового набора простых чисел представлен ниже:

```

static bool[] EratosfenPrimeNumsDecompose(int limit)
{
    ...
    bool[] baseLabels = Eratosfen(Math.Sqrt(limit));
    // Получаем из массива с метками, массив с простыми числами
    int[] primeNums = LabelsToPrimeNumsArr(baseLabels);
    // Границы количества простых чисел для передачи их в потоки
    int[] limits = PrimeNumsArrayLimits(threadsAmount, primeNums.Length);
    // Разделяем массив простых чисел по границам
    int[][] splitedPrimeNums = SplitPrimeNums(limits, primeNums);
    bool[] labels = new bool[limit - 1];
    baseLabels.CopyTo(labels, 0);
    // Создаем массив из оберток методов.
    EratosfenPrimeNumsDecomposeParallPart[] parts = new
    EratosfenPrimeNumsDecomposeParallPart[4];
    for (inti = 0; i < parts.Length; i++)
    parts[i] = new EratosfenPrimeNumsDecomposeParallPart(labels,
    splitedPrimeNums[i]);
    // Ожидаем выполнения всех потоков
    for (inti = 0; i < parts.Length; i++)
    parts[i].thread.Join();
    // Логическое сложение
    for (inti = 0; i < parts.Length; i++)
    for (int j = 0; j < labels.Length; j++)
    labels[j] = labels[j] || parts[i].Labels[j];
}
class EratosfenPrimeNumsDecomposeParallPart
{
    ...
    public void Run()
    {
    int lowLimit = (int) Math.Floor(Math.Sqrt(labels.Length + 1)) + 1;
    int highLimit = labels.Length + 2;
    for (inti = 0; i < primeNums.Length; i++)
    {
    for (int j = lowLimit; j < highLimit; j++)
    {

```

```

if (j % primeNums[i] == 0)
    labels[j - 2] = true;
}
    }
}
}

```

Временная эффективность параллельного алгоритма с декомпозицией набора простых чисел несколько ухудшается по сравнению с алгоритмом с декомпозицией по данным. При  $n = 10^6$  среднее время вычисления составляет 411,2397 мс. Однако в целом алгоритм с декомпозицией набора простых чисел стоит на одном уровне по времени выполнения с алгоритмом с декомпозицией по данным.

Существует еще один вариант организации работы с параллельными вычислениями – использование пула потоков. Пул потоков – это коллекция потоков, которые могут выполняться параллельно в фоновом режиме. Преимущество такого способа состоит в том, что операционная система выполняет планирование задач, а программисту необходимо лишь своевременно отправлять задачи в пул потоков.

В C# существует библиотека TPL, предназначенная для работы с параллельными вычислениями. Она дает возможность работать с пулом потоков. Наиболее подходящим способом для решения нашей задачи является использование метода `Parallel.ForEach()` класса `Parallel` из библиотеки TPL. Он является аналогом цикла `foreach` для параллельных вычислений, т.е. не прекращает своей работы, пока не просмотрит все элементы коллекции. В этом случае операционная система автоматически распределяет потоки исходя из загрузки ядер в текущий момент времени, за счет чего, как правило, достигается лучшее время выполнения задачи.

В данном варианте используется тот же алгоритм с декомпозицией набора простых чисел, только теперь вместо четырех диапазонов используется каждое простое число отдельно для проверки делимости на него чисел из диапазона от  $\sqrt{n}$  до  $n$ . Листинг реализации алгоритма с использованием пула потоков представлен ниже:

```

static bool[] EratosfenForeachTPL(int limit)
{
    ...
    bool[] baseLabels = Eratosfen(Math.Sqrt(limit));
    int[] primeNums = LabelsToPrimeNumsArr(baseLabels);
    bool[] labels = new bool[limit - 1];
    baseLabels.CopyTo(labels, 0);

    EratosfenForeachTPLPart part = new EratosfenForeachTPLPart(labels);
    Parallel.ForEach<int>(primeNums, part.Run);
}

// Оболочка для метода
class EratosfenForeachTPLPart
{
    ...
    public void Run(int primeNum)
    {
        int lowLimit = (int) Math.Floor(Math.Sqrt(labels.Length + 1)) + 1;
        int highLimit = labels.Length + 2;
        for (int i = lowLimit; i < highLimit; i++)
        {
            if (i % primeNum == 0)
                labels[i - 2] = true;
        }
    }
}

```

Временная эффективность параллельного алгоритма, использующего `Parallel. For Each()`, является наилучшей среди всех рассмотренных алгоритмов. Для  $n = 10^6$  среднее время вычисления составляет 227,50045 мс.

Результаты сравнительного анализа времени выполнения всех описанных выше реализаций алгоритма поиска простых чисел на базе классического «решета Эратосфена» представлены на рис. 2. Анализ показывает, что на сегодняшний день имеет смысл использовать автоматическое распределение потоков по ядрам процессора, нежели организовывать такое распределение «в ручную». Кроме того, произведен сравнительный анализ времени выполнения алгоритма, использующего пул потоков на различных процессорах (рис. 3). Полученные результаты показывают, что производительность вычислительных машин также влияет на время выполнения параллельных вычислений.

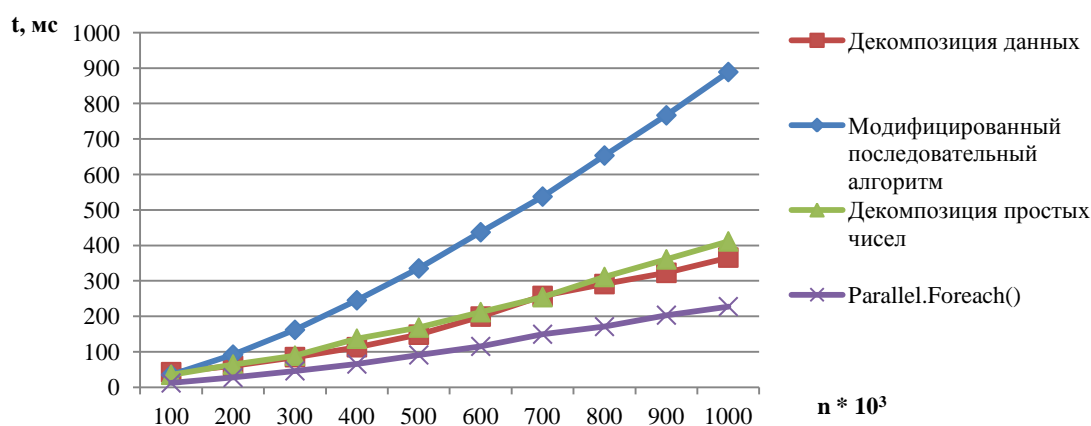


Рис. 2. Результаты сравнительного анализа времени выполнения алгоритма поиска простых чисел на базе классического «решета Эратосфена»

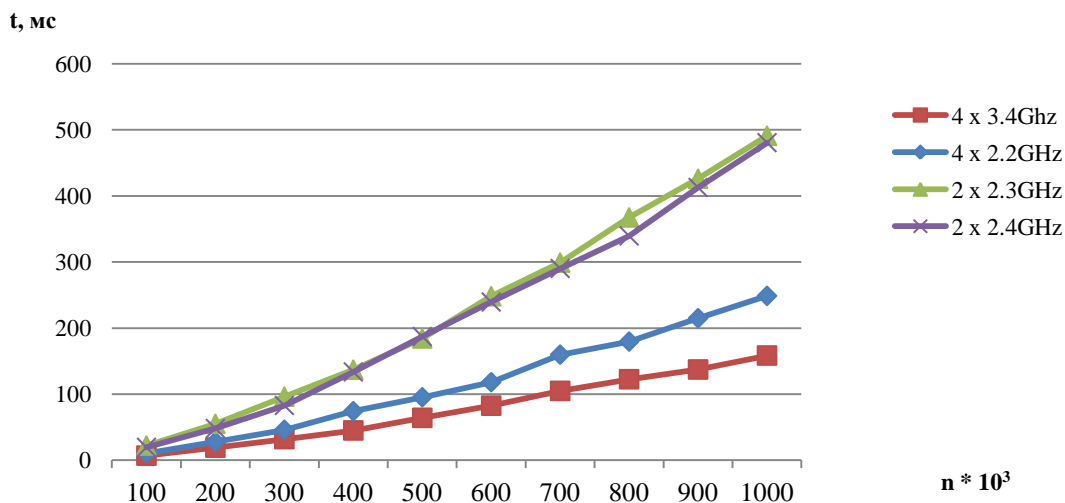


Рис. 3. Сравнительный анализ времени выполнения алгоритма, использующего пул потоков на различных процессорах

В самом общем случае можно утверждать, что использование параллельных вычислений не всегда возможно, и задаче распараллеливания всегда должен предшествовать анализ возможности декомпозиции решаемой задачи. Если декомпозиция невозможна, то параллельные вычисления не будут иметь смысла. Однако в обратном случае асинхронное выполнение задач может оказаться мощным инструментом при разработке программного обеспечения для решения прикладных задач. В свете развития многоядерных процессоров и языков программирования, поддерживающих архитектуру высокопроизводительных вычислений, таким инструментом не стоит пренебрегать, а, наоборот, имеет смысл тщательно его изучить.

## Литература

1. Туральчук К. Параллельное программирование с помощью языка С# [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/5938/1074/info>
2. Кнут Д.Э. Искусство программирования. Получисленные алгоритмы: Пер. с англ. – 3-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – Т. 2. – 832 с.

УДК 004.83

## ОЦЕНКА БЛИЗОСТИ ПРЕЦЕДЕНТОВ

Г.А. Кочкин, В.Р. Кочкина

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань*

Процесс поддержки принятия решений может опираться на различные подходы: на созданные аналитические модели и анализ ситуаций с использованием этих моделей; статистические источники в обработке данных; опыт и интуицию специалистов, показавших компетентность в данной области; метод рассуждений по прецедентам. Каждый из подходов может быть важен в той или иной ситуации. Однако при возникновении противоречий относительно выбранного решения необходимо расставить приоритеты. Все четыре метода активно используются. Подробно рассмотрен метод рассуждений по прецедентам. Оптовая торговля лекарственными средствами – прибыльная и емкая область бизнеса в России. Одним из направлений деятельности оптовых поставщиков лекарственных средств является участие в аукционах в электронной форме. Такой аукцион представлен одной или несколькими позициями лекарственных средств, причем количество позиций может быть большим. Принятие решения о закупке медицинских препаратов – достаточно долгий и трудоемкий процесс. В работе предложены общая модель прецедента и формула вычисления близости прецедентов. Применение предложенной формулы поможет оценить степень близости прецедента и принять оптимальное решение.

### Введение

Прецедент – случай или событие, имевшее место в прошлом и служащее примером или основанием для аналогичных действий в настоящем. В работе под прецедентом понимается:

- условие задачи;
- фрагмент опыта – пару <задача, решение> в базе прецедентов [1].

Рассуждения на основе прецедентов (далее РПП) – методика решения проблемной ситуации принятия решения, заключающаяся в нахождении схожей ситуации в прошлом и применении решения такой ситуации к данной проблемной ситуации. Основными сложностями в методике РПП является распознавание текущей проблемной ситуации и нахождение схожей в прошлом, а также использование прошлого опыта для решения текущей проблемы. Немаловажными также являются стадии оценки предложенного решения и обновления системы для дальнейшего обучения. Однако способы реализации каждой из стадий могут быть совершенно разными [2].

Достоинства рассуждений по прецедентам:

- РПП позволяют принимать решения в ситуациях с высокой степенью неопределенности;
- Прецеденты позволяют учитывать субъективное мнение лица, принимающего решение, которое может определить весовые коэффициенты для различных прецедентных ситуаций, и эти оценки могут быть включены в метрику.

Ниже, однако, данные вопросы не затронуты. Основное внимание уделяется разработке базовых основ, связанных с близостью различных прецедентных ситуаций.

РПП представляет собой один из терминов, использующихся, чтобы описать методы того же рода. Вот некоторые из них:

- рассуждения по примеру;
- рассуждения по экземплярам;
- рассуждения по памяти;

- рассуждения по прецедентам;
- рассуждения по аналогии [3–5].

За последние годы область рассуждений по прецедентам превратилась из весьма специфичной и узкой в область, интересующую широкий круг ученых и находящую применение в различных экономических и технических сферах [6, 7].

Активно ведутся разработки коммерческих систем и приложений, основанных на рассуждениях по прецедентам. Известны системы поддержки принятия решений (далее СППР) в области медицины, такие как DiagnosisPro, IndiGo, Advisor. DiagnosisPro, например, имеет базу данных из более чем 15000 различных заболеваний за последние 30 лет функционирования различных медицинских учреждений [8]. Система опирается на прошлый опыт для постановки диагноза. IndiGo также использует рассуждения по прецедентам для предупреждения развития заболеваний у пациентов [9].

Метод РПП – это метод решения задач, который во многих отношениях отличается от стандартных методик искусственного интеллекта (далее ИИ). Метод РПП может использовать как общие знания предметной области, аналогичные ситуации и решения, так и специфические данные и выводы из конкретных ситуаций (прецедентов) в предметной области в отличие от основных методов ИИ [2].

Решение в РПП принимается посредством нахождения похожей ситуации в прошлом и использования с учетом получившихся результатов принятого решения проблемы.

По аналогии со стандартом ISO/IEC 12207:1995 модель прецедента в области закупки медицинских препаратов можно описать следующими параметрами:

- основные параметры (параметры, непосредственно относящиеся к предметной области);
- сопутствующие параметры (параметры, смежные с предметной областью):
- экономические (курс и стабильность валюты, экономическая обстановка);
- межличностные;
- политические (стабильность политической обстановки);
- законодательные (наличие международных соглашений различного рода, законодательная база).

В случае если все параметры известны, то множество прецедентов из прошлого и текущей проблемной ситуации можно охарактеризовать векторным набором параметров. Если не все параметры известны, то известны границы их изменения и прецедент может быть описан симплексом. Предполагается, что все параметры известны. Пусть число компонентов вектора равно  $n$ . Тогда каждая ситуация задается точкой в  $n$ -мерном пространстве. Разные ситуации задаются разными точками. Все множество точек делим на 2 группы:

- к группе 1 отнесены точки, которые соответствуют ситуациям, когда участие в аукционе оказалось экономически выгодным;
- группа 2 – точки, соответствующие ситуациям, экономически не выгодным.

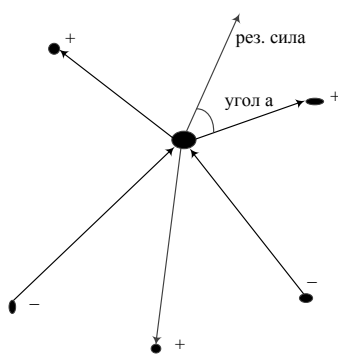


Рис. 1. Выбор прецедента

Предположим, имеется некоторая новая ситуация. Необходимо на основе имеющихся наборов ситуаций, то есть точек  $n$ -мерного пространства, данной точке сопоставить наиболее близкую положительную (то есть точку, соответствующую верно принятому решению в прошлом) точку. В качестве меры близости по аналогии с физикой можно выбрать силу взаимодействия между 2 точками. Тогда текущая точка характеризуется определенным результирующим потенциалом от воздействия всех других точек, величиной и направленностью результирующей силы (рис. 1). Тогда предлагается в качестве решения выбрать ту «положительную» точку, которая имеет наименьший угол (угол  $a$ ) по направлению действия результирующей силы. Если таких точек несколько, то выбирается ближайшая.

Если опираться на законы физики, то сила взаимодействия между 2 точками определяется законом Кулона. Предпочтение отдается именно закону Кулона, так как в дальнейшем возможен различный учет в модели положительных и отрицательных точек:

$$F = k \times q_1 \times q_2 \div r^2. \quad (1)$$



Однако в транспортной логистике в рамках гравитационной модели, где изначально отталкивались от закона Ньютона (аналогичного закону Кулона), в настоящее время пришли к рассмотрению функции вида

$$F = c \times e^{-k \times r^2} \quad (2)$$

В рамках рассматриваемой задачи предлагается выражение (2) для нахождения ближайшей точки.

Целесообразно введенную метрику применять не к РПП в целом, а к отдельным компонентам, сворачивая полученные результаты по компонентам в одну общую оценку. Поэтому ниже приводится структуризация и детализация РПП.

### Структуризация и детализация рассуждений по прецедентам

Следующие процессы представляют собой части цикла РПП в базовом виде:

1. Извлечь из памяти наиболее схожий прецедент или прецеденты.
2. Использовать информацию, содержащуюся в данном прецеденте для решения текущей проблемы.
3. Оценить предложенное решение.
4. Сохранить части текущей ситуации для использования в будущем.

С использованием информации интернет-ресурса [9] была создана декомпозиция РПП (рис. 2).

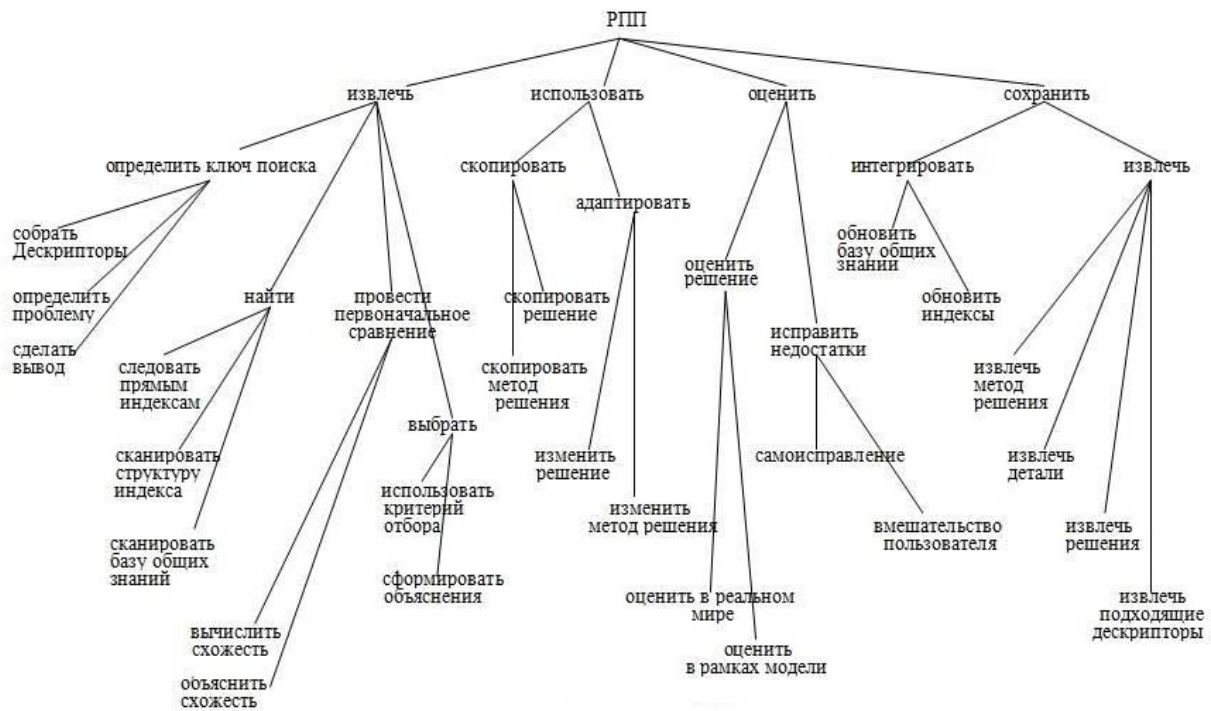


Рис. 2. Декомпозиция РПП

Система РПП сильно зависит от структуры и содержимого коллекции прецедентов. Так как задача решается путем подбора уже решенной задачи, подходящей для решения настоящей, поиск и сличение прецедентов должны быть эффективны по времени и степени сходства с текущей ситуацией. Аналогичные правила касаются интегрирования нового прецедента в память. Существует 2 основные модели памяти:

1. Динамическая модель памяти. Идея такой модели состоит в следующем: организовать похожие прецеденты в более общие структуры – обобщенные классы. Такие классы содержат часть норм, в которой описываются кратко характеристики прецедентов, содержащихся в данном обобщенном классе.

2. Модель «Категории и примера». Психологической и философской основой данного метода является предположение о том, что представление реального мира и естественных понятий должны быть определены экстенсивно. В данной модели различным свойствам прецедента на-

значаются различные коэффициенты важности. Обобщение прецедентов стоит осуществлять с особой осторожностью. Такое представление понятий – основа этой модели памяти.

Этап извлечения прецедента из памяти начинается с описания задачи и заканчивается нахождением наиболее схожего прецедента в базе.

Когда решение, найденное системой РПП, оказывается неправильным, такая ситуация носит обучающий характер для системы, использующей РПП. Стадия обучения состоит из 2 частей: оценить найденное решение, если оценка проходит успешно – сохранить прецедент в базе и исправить решение, используя информацию из данной области знаний.

Этап сохранения также называется обучением. Это процесс, когда происходит добавление в базу прецедентов необходимых для эволюции системы сведений из текущей проблемной ситуации. Этап обучения включает в себя такие подэтапы, как выбор информации для сохранения, выбор формы сохранения, способа индексации нового прецедента для последующего извлечения, способа внесения нового прецедента в память. Заключительные этапы включают в себя извлечение, индексацию и интеграцию.

**Извлечение.** В РПП база прецедентов обновляется вне зависимости от того, каким образом была решена проблема. Если решение было сгенерировано на основе прошлого опыта, новый прецедент может быть создан или старый обновлен, чтобы учесть решение новой проблемной ситуации. Если проблема решена другим образом, например, посредством вмешательства пользователя, то создается новый прецедент. В любом случае должно быть принято решение о том, что сохранять в памяти. Необходимыми для сохранения являются дескрипторы проблемной ситуации и решение(я).

Однако разъяснения принятого решения в виде комментариев и рекомендаций могут быть включены в новый прецедент.

**Индексация.** Проблема индексации – одна из центральных в РПП. Она включает такие вопросы, как какой тип индексов использовать и как организовать поиск по индексам. Тривиальное решение проблемы – использовать все входящие характеристики прецедента в качестве индексов, как это реализовано в системе CBR-Talk [10].

**Интеграция.** Интеграция – это заключительный этап обновления базы знаний прецедентов. В случае если не было создано нового прецедента, то данный этап является основным этапом сохранения. Интеграция предполагает, что уже имеется база знаний, в которой содержится накопленный по тендерам опыт (свой и чужой). Структура и содержание базы знаний требует отдельного рассмотрения.

### Заключение

РПП – важная и перспективная область ИИ систем поддержки принятия решений. Постоянно увеличивающееся количество исследований в данной области уже привело к прорывам в теоретической части ИИ и в приложениях на его основе.

В работе предложена общая модель прецедента и формула вычисления близости прецедентов. Применение предложенной формулы поможет оценить степень близости прецедента и принять оптимальное решение.

### Литература

1. *Aamodt A.* Case-Based Reasoning: foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. – AICom – Artificial Intelligence Communications, IOS Press. – 1994. – P. 55–70.
2. *Пучков Е.В.* Разработка системы поддержки принятия решений для управления кредитными рисками банка // Инженерный вестник Дона. – 2011. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/377> (доступ свободный) – (Загл. с экрана. – Яз. рус).
3. *Антонова А.С., Аксенов К.А.* Многокритериальное принятие решений в условиях риска на основе интеграции мультиагентного, имитационного, эволюционного моделирования и численных методов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4. – (ч. 2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466> (доступ свободный) – (Загл. с экрана. – Яз. рус).
4. *Джордж Ф. Люггер* Искусственный интеллект: методы решения сложных проблем. – Вильямс, 2005. – С. 505–599.

5. *Marzette P.* Model Simulations of Extreme Orographic Precipitation in the Sierra Nevada with an Application in Case-Based Reasoning-Activities and Findings [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.cse.unr.edu/~cip/wiki/index.php/Phillip\\_Marzette\\_-\\_Model\\_Simulations\\_of\\_Extreme\\_Orographic\\_Precipitation\\_in\\_the\\_Sierra\\_Nevada\\_with\\_an\\_Application\\_in\\_Case-Based\\_Reasoning-Activities\\_and\\_Findings](http://www.cse.unr.edu/~cip/wiki/index.php/Phillip_Marzette_-_Model_Simulations_of_Extreme_Orographic_Precipitation_in_the_Sierra_Nevada_with_an_Application_in_Case-Based_Reasoning-Activities_and_Findings) (доступ свободный) – (Загл. с экрана. – Яз. англ).

6. *Craig Stanfill I., Waltz D.* The memory based reasoning paradigm. In: Case based reasoning. Proceedings from a workshop, Clearwater Beach, Florida, May. – Morgan Kaufmann Publ. – 2003. – P. 414–424.

7. *Kolodner J.* (2000) Retrieving events from case memory: A parallel implementation. In: Proceedings from the Case-based Reasoning Workshop, DARPA, Clearwater Beach. – 2005. – P. 233–249.

8. URL: <http://www.diagnosispro.com>.

9. URL: <http://archimedesmodel.com/indigo>.

10. *Голубкин И.А., Щербатов И.А.* Универсальная сенсорная подсистема мобильного колесного робота // Научно-технический и производственный журнал «Датчики и системы». – М., 2010. – № 8 (135), август. – С. 32–35.

УДК [519.6+004.032.26]:550.38

## АНАЛИЗ ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ СОВМЕЩЕНИЯ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С РАДИАЛЬНЫМИ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

**О.В. Мандрикова, Е.А. Жижкина**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский;*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
Паратунка, Камчатский край*

В работе предложен метод анализа вариаций магнитного поля Земли, основанный на совмещении кратномасштабного анализа с радиальными нейронными сетями. Метод позволяет определять составляющие вариаций геомагнитного поля, характеризующие степень его возмущенности, изучать их структуру и выполнять классификацию признаков данных для решения задачи автоматического определения состояния магнитного поля Земли. На основе разнесения признаков в пространстве вейвлетов выполняется анализ статистических свойств данных и выделяются информативные признаки. Полученные признаки определяют радиальный слой сети, выполняющей оценку принадлежности признака к классу.

Апробация метода, выполненная на данных станции «Паратунка» (Камчатский край), подтвердила его эффективность и позволила выделить в вариациях поля классификационные признаки, характеризующие степень возмущенности поля.

### Введение

Работа направлена на разработку средств анализа параметров геомагнитного поля и оценки его состояния по данным наземных обсерваторий с применением нейронных сетей и вейвлет-преобразования. Регистрируемые параметры имеют сложную априори неизвестную структуру, подвержены влиянию внешних факторов различной физической природы, что значительно усложняет процесс их изучения [1, 2]. Они содержат разномасштабные локальные особенности, имеющие сложную структуру и несущие основную информацию о состоянии поля. Существующие средства обработки и анализа геомагнитных данных имеют следующие недостатки:

1. Недостаточная степень автоматизации и существенные погрешности в работе систем [3–5].

2. Существующие методы анализа геомагнитных данных не позволяют выявлять некоторые закономерности в данных и приводят к потере важной информации [1, 4, 6].

Для исследований предлагается метод, основанный на совместном применении вейвлет-преобразования [7] с радиальными нейронными сетями [8]. Применение вейвлет-преобразования позволило исследовать тонкие особенности структуры геомагнитных данных, выделить информативные составляющие и подавить шум. В основе радиальных нейронных сетей лежит непарамет-

рический байесовский классификатор, который позволил детально изучить характер протекания анализируемого процесса и выделить в вариациях поля классификационные признаки, характеризующие степень его возмущенности. На основе выделенных признаков построены нейронные сети радиальной структуры, выполняющие оценку степени возмущенности геомагнитных данных.

### Описание метода

В качестве базового пространства регистрируемых дискретных данных  $f_0(t)$  рассматривалось замкнутое пространство с разрешением  $j=0: V_0 = \text{clos}_{L^2(R)}(2^0 \phi(2^0 t - k)): k \in Z$ , порожденное скэйлинг-функцией  $\phi \in L^2(R)$  [7]. На основе кратномасштабных разложений до уровня  $m=6$  получено представление данных в виде:

$$f_0(t) = \sum_{j=-1}^{-m} g[2^j t] + f[2^{-m} t], \quad \text{где } g[2^j t] \in W_j, f[2^{-m} t] \in V_{-m}, \quad (1)$$

$W_j$  – пространство с разрешением  $j$ , порожденное вейвлет-базисом  $\Psi_{j,n}(t) = 2^{j/2} \Psi(2^j t - n)$ ; компоненты  $g[2^j t] = \sum_n d_{j,n} \Psi_{j,n}(t)$ , где  $d_{j,n} = \langle f, \Psi_{j,n} \rangle$ , являются детализирующими, характеризуют локальные свойства данных; компонента  $f[2^{-m} t] = \sum_k c_{-m,k} \phi_{-m,k}(t)$ ,  $c_{-m,k} = \langle f, \phi_{-m,k} \rangle$  является аппроксимирующей. Выбор уровня разложения  $m=6$  основывался на результатах работ [9, 10].

Радиальные нейронные сети [8] имеют два слоя: слой примеров (радиальный слой), содержащий признаки классов (примеры) и линейный слой, определяющий вероятность принадлежности входного образа к классу. В радиальном слое сети выполняется следующее преобразование входных сигналов:

1. Оценка состояния нейронов на основе функции взвешивания  $\|p-w\|b$ , где  $p$  – вектор входа,  $w$  – вектор весов,  $b$  – смещение.

2. Используя функцию активации  $e^{-\|p-w\|b}$ , оценка меры близости входного сигнала и примера.

Когда расстояние между вектором примера  $w$  (признаком класса) и входным сигналом  $p$  уменьшается, выход радиальной базисной функции приближается к значению «1», в противном случае – к значению «0».

В работе [11] показано, что детализирующие компоненты вейвлет-преобразования  $g[2^j t]$  (соотношение (1)) могут быть определены в качестве признаков классов радиальной нейронной сети, выполняющей разделение образов на «спокойные», «слабовозмущенные» и «возмущенные». Мерой возмущенности детализирующей компоненты в момент времени  $t$  является абсолютное значение вейвлет-коэффициента в момент времени  $t$  [11]. Поэтому для формирования примеров сети и выделения характерных признаков классов выполнен анализ распределений абсолютных значений вейвлет-коэффициентов детализирующих компонент «спокойных», «слабовозмущенных» и «возмущенных» вариаций поля:

$$z_{j,n}^m(t) = |d_{j,n}^m(t)|, \quad m = \overline{1,3},$$

где  $z_{j,n}^1(t)$  – абсолютные значения вейвлет-коэффициентов компонент масштаба  $j$  «спокойных» вариаций поля,  $z_{j,n}^2(t)$  – абсолютные значения вейвлет-коэффициентов компонент масштаба  $j$  «слабовозмущенных» вариаций поля,  $z_{j,n}^3(t)$  – абсолютные значения вейвлет-коэффициентов компонент масштаба  $j$  «возмущенных» вариаций поля.

Анализ распределений функций  $z_{j,n}^1$ ,  $z_{j,n}^2$  и  $z_{j,n}^3$ , представленных для масштабов  $j = -1$  и  $j = -6$  на рис. 2 и 3, показывает, что в качестве меры возмущенности компоненты может быть определено максимальное значение вейвлет-коэффициентов компоненты. Максимальные значения функций  $z_{j,n}^1$ ,  $z_{j,n}^2$  и  $z_{j,n}^3$  для масштаба  $j = -6$ , упорядоченные в порядке возрастания, показа-

ны на рис. 4–6. Сравнительный анализ рис. 4–6 показывает, что каждый класс может быть разделен на три подкласса (отмечены пунктирными линиями на рис. 4–6). Класс «спокойных» компонент можно разделить на:

- « $\alpha$ -спокойные», имеющие  $\max_n |d_{j,n}(t)| \leq T_j^{\alpha_1}$ ;
- « $\beta$ -спокойные», имеющие  $T_j^{\alpha_1} < \max_n |d_{j,n}(t)| \leq T_j^{\beta_1}$ ;
- « $\gamma$ -спокойные», имеющие  $\max_n |d_{j,n}(t)| > T_j^{\gamma_1}$ .

Класс «слабовозмущенных» компонент можно разделить на:

- « $\alpha$ -слабовозмущенные», имеющие  $\max_n |d_{j,n}(t)| \leq T_j^{\alpha_2}$ ;
- « $\beta$ -слабовозмущенные», имеющие  $T_j^{\alpha_2} < \max_n |d_{j,n}(t)| \leq T_j^{\beta_2}$ ;
- « $\gamma$ -слабовозмущенные», имеющие  $\max_n |d_{j,n}(t)| > T_j^{\gamma_2}$ .

Класс «возмущенных» компонент можно разделить на:

- « $\alpha$ -возмущенные», имеющие  $\max_n |d_{j,n}(t)| \leq T_j^{\alpha_3}$ ;
- « $\beta$ -возмущенные», имеющие  $T_j^{\alpha_3} < \max_n |d_{j,n}(t)| \leq T_j^{\beta_3}$ ;
- « $\gamma$ -возмущенные», имеющие  $\max_n |d_{j,n}(t)| > T_j^{\gamma_3}$ .

Максимумы амплитуд вейвлет-коэффициентов « $\gamma$ -спокойных» компонент и « $\alpha$ -слабовозмущенных» компонент имеют один диапазон значений. Аналогично максимумы амплитуд вейвлет-коэффициентов « $\gamma$ -слабовозмущенных» компонент и « $\alpha$ -возмущенных» компонент также имеют один диапазон значений. Это объясняется физической природой данных и отсутствием точных граней разделения классов.

Пороговые значения  $T_j^{\kappa_i}$  для каждого введенного подкласса  $\kappa_i, i=1,2,3$  могут быть определены путем минимизации ошибок нейронной сети на множестве обучающих векторов.

При формировании слоя примеров сети для каждого подкласса  $\kappa$  создан один пример:

$$P_j^{\kappa_i}(t) = \frac{\sum_{l=1}^L D_{j,l}^{\kappa_i}(t)}{L},$$

где  $D_{j,l}^{\kappa_i} = \left\{ |d_{j,n}^{\kappa_i,l}| \right\}_{n \in Z}$ ,  $l$  – номер компоненты подкласса  $\kappa_i$ ,  $L$  – количество компонент подкласса  $\kappa_i$ .

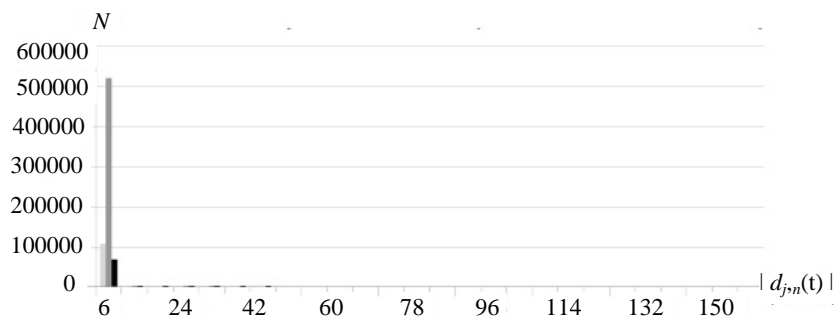


Рис. 2. Распределения функций  $z_{-1,n}^m(t)$ :  $m=1$  – светло-серый цвет,  $m=2$  – темно-серый цвет,  $m=3$  – черный цвет

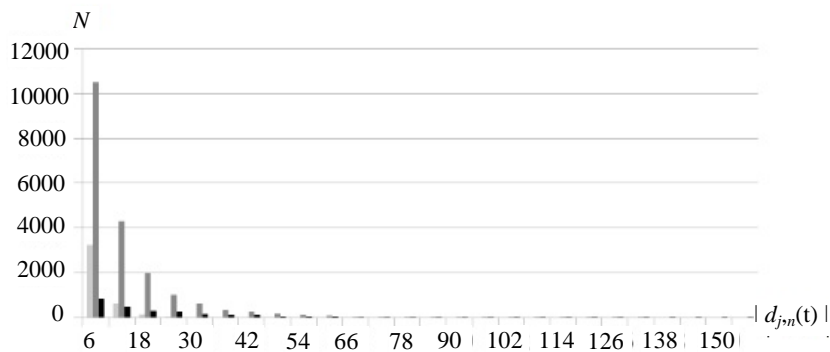


Рис. 3. Распределения функций  $z_{-6,n}^m(t)$ :  $m=1$  – светло-серый цвет,  $m=2$  – темно-серый цвет,  $m=3$  – черный цвет

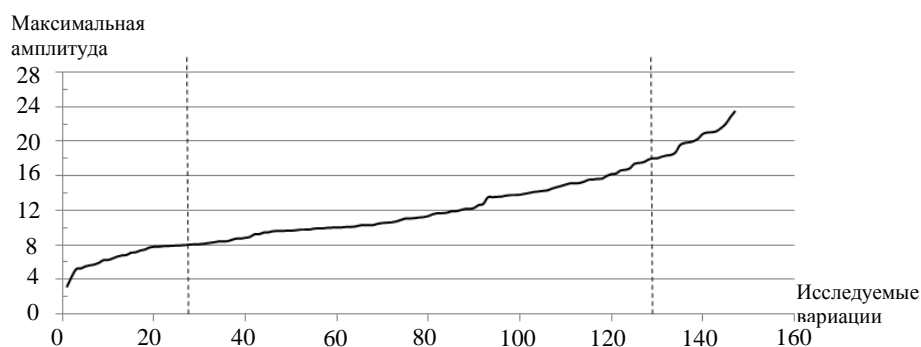


Рис. 4. Максимумы амплитуд вейвлет-коэффициентов компонент 6-го масштабного уровня вариаций спокойного геомагнитного поля

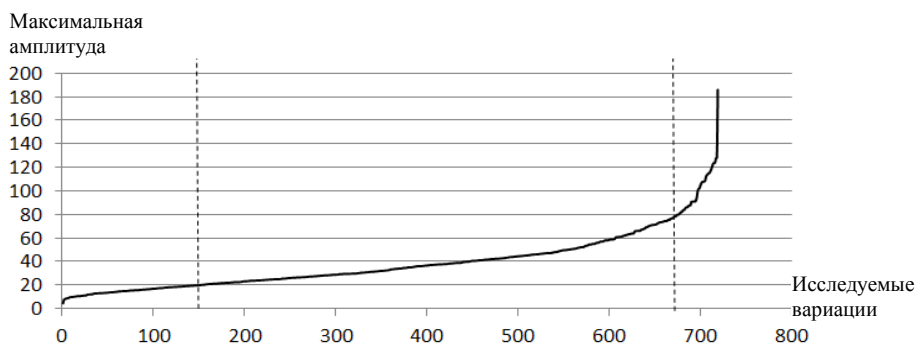


Рис. 5. Максимумы амплитуд вейвлет-коэффициентов компонент 6-го масштабного уровня вариаций слабовозмущенного геомагнитного поля

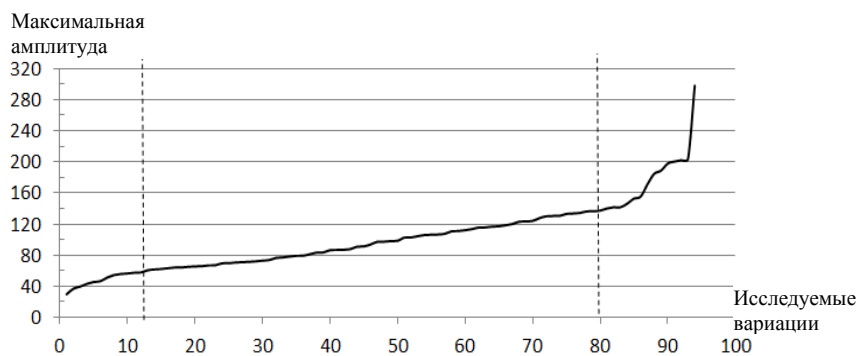


Рис. 6. Максимумы амплитуд вейвлет-коэффициентов компонент 6-го масштабного уровня вариаций возмущенного геомагнитного поля

Результаты экспериментов

В процессе исследований было проанализировано 147 «спокойных», 719 «слабовозмущенных» и 94 «возмущенных» вариаций за 2002, 2005 и 2008 гг. Для оценки эффективности предлагаемого метода, обработка данных выполнялась с применением вейвлет-преобразования (по методу, описанному выше) и без применения вейвлет-преобразования.

При построении сети без применения вейвлет-преобразования для каждого подкласса создан один пример:

$$P^{\kappa_i}(t) = \frac{\sum_{l=1}^L f_{0,l}^{\kappa_i}(t)}{L},$$

где  $f_{0,l}^{\kappa_i}(t)$  – исходная вариация подкласса  $\kappa_i$ ,  $l$  – номер вариации подкласса  $\kappa_i$ ,  $L$  – количество вариаций подкласса  $\kappa_i$ .

На рис. 7 и 8 представлены результаты оценки состояния нейронов на основе функции взвешивания:  $r = \|p-w\|b = \sqrt{(p-w)^2}$  (смещение  $b = 1$ ). Из анализа рис. 7 и 8 следует, что при обработке данных с применением вейвлет-преобразования достоверность их классификации увеличивается.

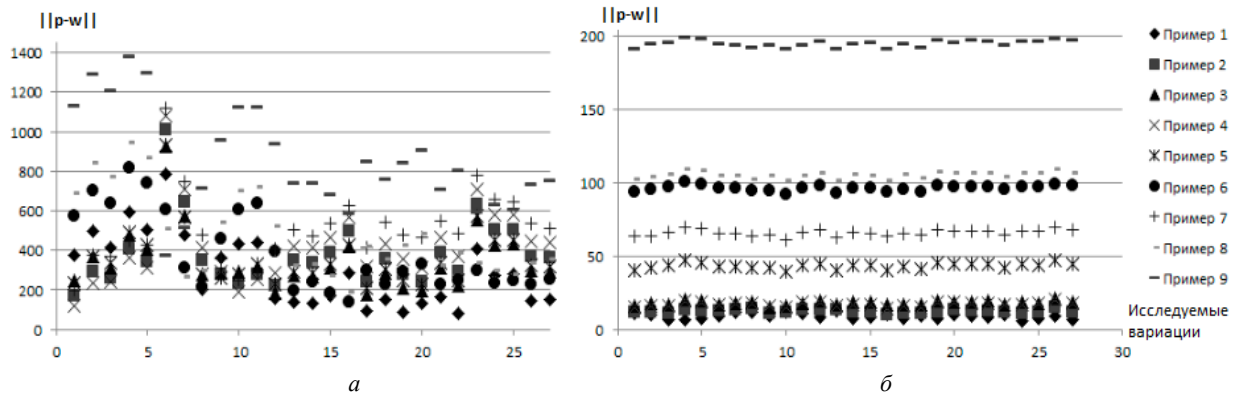


Рис. 7. Состояния нейронов первого слоя сети для «α-спокойных» вариаций: а – без применения вейвлет-преобразования; б – с применением вейвлет-преобразования (детализирующие компоненты б-го масштабного уровня)

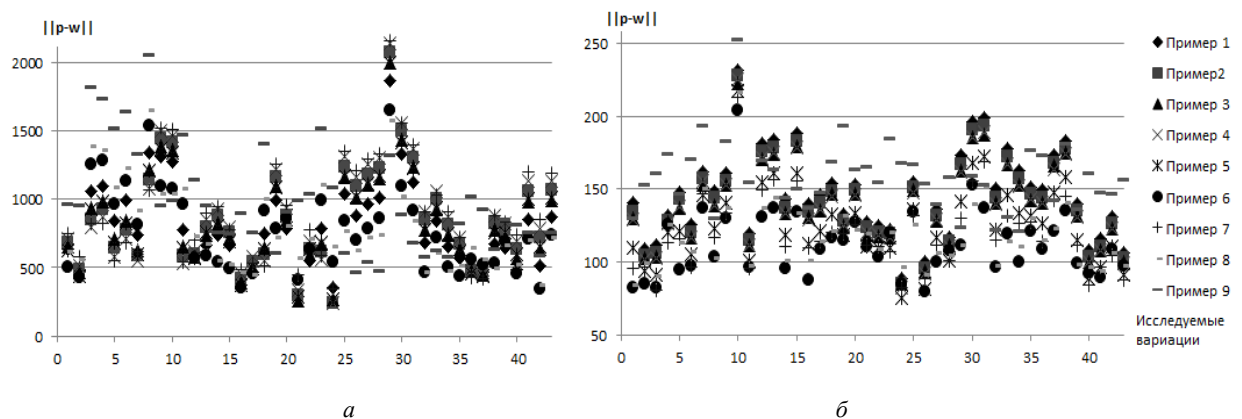


Рис. 8. Состояния нейронов первого слоя сети для «γ-слабовозмущенных» вариаций: а – без применения вейвлет-преобразования; б – с применением вейвлет-преобразования (детализирующие компоненты б-го масштабного уровня)

Путем выбора минимального значения евклидового расстояния  $r$  была определена принадлежность входного сигнала сети к одному из классов – «спокойному», «слабовозмущенному» или «возмущенному». В табл. 1–4 представлены погрешности определения класса для входных сигналов без применения вейвлет-преобразования (на вход сети подается исходная вариация поля)

и на основе предлагаемого авторами метода (на вход сети подается компонента вейвлет-преобразования). Без применения вейвлет-преобразования погрешности распознавания «спокойных» вариаций геомагнитного поля превышают 50% (табл. 1), то есть результаты классификации являются неудовлетворительными. На основе предлагаемого метода погрешности распознавания «спокойных» вариаций лежат в диапазоне от 0% до 21,05%, в зависимости от подкласса и используемой компоненты вейвлет-преобразования. На основе предлагаемого метода также существенно меньше погрешности идентификации « $\beta$ -слабовозмущенные» и « $\gamma$ -слабовозмущенные» вариации поля, чем без применения вейвлет-преобразования.

Для определения класса по совокупности компонент вейвлет-преобразования использовалось следующее **правило**:

1) если все компоненты вейвлет-преобразования являются «спокойными» либо только одна компонента является « $\alpha$ -слабовозмущенной», то вариация является «спокойной» (соответствует спокойному состоянию геомагнитного поля);

2) если хотя бы одна из компонент вейвлет-преобразования принадлежит к «возмущенному» классу, то вариация является «возмущенной» (соответствует возмущенному состоянию геомагнитного поля);

3) в остальных случаях вариация считается «слабовозмущенной» (соответствует «слабовозмущенному» состоянию геомагнитного поля).

Результаты применения правила, представленные в табл. 5, подтверждают эффективность предлагаемого метода и показывают, что на его основе погрешность определения степени возмущенности вариации поля в автоматическом режиме значительно меньше, чем в случае применения традиционной архитектуры радиальной сети (без применения вейвлет-преобразования).

Таблица 1

Результаты определения класса для вариаций без применения вейвлет-преобразования

	Спокойные			Слабовозмущенные			Возмущенные		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Погрешность	51,85%	80,20%	52,63%	38,41%	51,81%	67,44%	41,67%	32,35	14,29%
Кол-во верных результатов	13 из 27	20 из 101	9 из 19	93 из 151	253 из 525	14 из 43	7 из 12	46 из 68	12 из 14

Таблица 2

Результаты определения класса по детализирующим компонентам вейвлет-преобразования 3-го масштабного уровня

	Спокойные			Слабовозмущенные			Возмущенные		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Погрешность	7,41%	7,92%	5,26%	37,75%	11,81	4,65%	33,33%	39,71%	21,43%
Кол-во верных результатов	25 из 27	93 из 101	18 из 19	94 из 151	463 из 525	41 из 43	8 из 12	41 из 68	11 из 14

Таблица 3

Результаты определения класса по детализирующим компонентам вейвлет-преобразования 4-го масштабного уровня

	Спокойные			Слабовозмущенные			Возмущенные		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Погрешность	3,70%	5,94%	10,53%	29,80%	11,62%	6,98%	16,67	23,53	28,57%
Кол-во верных результатов	26 из 27	95 из 101	17 из 19	106 из 151	464 из 525	40 из 43	10 из 12	52 из 68	10 из 14

Таблица 4

Результаты определения класса по детализирующим компонентам вейвлет-преобразования 6-го масштабного уровня

	Спокойные			Слабовозмущенные			Возмущенные		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Погрешность	0%	14,85%	21,05%	50,99%	27,62%	37,21%	50%	27,94%	14,29%
Кол-во верных результатов	27 из 27	86 из 101	15 из 19	74 из 151	380 из 525	27 из 43	6 из 12	49 из 68	12 из 14



Результаты определения класса по совокупности компонент вейвлет-преобразования

	Спокойные			Слабовозмущенные			Возмущенные		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Погрешность	3,70%	3,96%	5,26%	39,07%	22,67%	39,53%	16,67%	11,76%	7,14%
Кол-во верных результатов	26 из 27	97 из 101	18 из 19	92 из 151	406 из 525	26 из 43	10 из 12	60 из 68	13 из 14

### Выводы

В работе выполнена оценка эффективности предложенного метода классификации вариаций геомагнитного поля, основанного на совмещении вейвлет-преобразования с радиальными нейронными сетями. Построены нейросетевые программные системы по реализации метода, и на их основе автоматически выполнена оценка степени возмущенности вариации геомагнитного поля. Анализ полученных результатов показал, что предлагаемый метод позволяет значительно повысить эффективность автоматической обработки геомагнитных данных в задачах выделения возмущений и оценки состояния магнитного поля Земли.

В экспериментах использовались вариации геомагнитного поля за 2002, 2005 и 2008 гг., полученные на станции «Паратунка», Камчатский край (регистрацию данных выполняет ИКИР ДВО РАН).

### Литература

1. Мандрикова О.В., Соловьев И.С. Вейвлет-технология обработки и анализа вариаций магнитного поля Земли // Информационные технологии. – 2011. – № 1. – С. 34–38.
2. Мандрикова О.В., Соловьев И.С., Смирнов С.Э. Автоматизация процедуры определения невозмущенной вариации поля на основе вейвлет-пакетов // Вестник КамчатГТУ. – Петропавловск-Камчатский, 2011. – Вып. 15. – С. 19–21.
3. Афраймович Э.Л. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли / Э.Л. Афраймович, Н.П. Перевалова. – Иркутск: ГУ НУ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. – 480с.
4. Nowozynski K. Calculate geomagnetic activity K indices using the Adaptative Smoothing method [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.intermagnet.org/Software\\_e.html](http://www.intermagnet.org/Software_e.html). 2007.
5. Мандрикова О.В., Смирнов С.Э., Соловьев И.С. Метод определения индекса геомагнитной активности на основе вейвлет-пакетов. – М.: Геомагнетизм и аэрономия – 2012. – Т. 52. – № 1. – С. 117–126.
6. Бутько Н., Зайцев А., Карпачев А., Козлов А., Филиппов Б. Космическая среда вокруг нас. – Троицк: ТРОВАНТ, 2005. – 231с.
7. Stephane M. A Wavelet tour of signal processing [Пер. с англ.]. – М.: Мир, 2005. – 665 с.
8. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. Matlab 6 / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с. – (Пакеты прикладных программ; Кн. 4).
9. Мандрикова О.В., Соловьев И.С. Вейвлет-технология обработки и анализа геомагнитных данных. – М.: Цифровая обработка сигналов – 2012. – № 2. – С. 24–29.
10. Mandrikova O.V., Solovyev I.S., Geppener V.V., Klionskiy D.M., Al-Kasasbeh R. T. Analysis of the Earth's magnetic field variations on the basis of a wavelet-based approach // Digital Signal Processing – 2013. – V. 23. – P. 329–339.
11. Мандрикова О.В., Жижикина Е.А. Анализ геомагнитных данных на основе совмещения вейвлет-преобразования с радиальными нейронными сетями // Вестник КамчатГТУ. – Петропавловск-Камчатский, 2013. – № 23. – С. 28–35.

## ТЕХНОЛОГИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПАКЕТОВ

**О.В. Мандрикова, И.С. Соловьев**

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
Паратунка, Камчатский край;  
Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

Данная работа направлена на создание новых теоретических и программных средств анализа геомагнитных данных, основанных на вейвлет-пакетах, позволяющих в автоматическом режиме выделять геомагнитные возмущения, оценивать их интенсивность и состояние магнитного поля Земли. Апробация алгоритмов выполнялась на геомагнитных данных, регистрируемых на станции «Паратунка» (Россия, Камчатский край, с. Паратунка).

### Введение

Настоящая работа направлена на разработку теоретических и программных средств анализа вариаций геомагнитного поля Земли в периоды магнитных бурь, выделения геомагнитных возмущений и оценки их интенсивности. Трудности решения данной задачи связаны со сложной априори неизвестной структурой регистрируемых данных и наличием разномасштабных локальных особенностей, формирующихся в периоды повышенной геомагнитной активности [1–10]. Существующие методы обработки и анализа геомагнитных данных основаны на традиционных подходах, используют базовые модели временных рядов и различные операции сглаживания [11–13], методы Фурье–анализа [14] и др. Сложная нестационарная структура геомагнитных данных, наличие разномасштабных особенностей, содержащих важную информацию об изучаемом процессе, делает эти методы недостаточно эффективными. Их применение не позволяет идентифицировать локальные особенности в виде короткопериодных колебаний и оценить динамику изменения интенсивности геомагнитных возмущений.

Исследования данной работы основаны на применении вейвлет-преобразования. В настоящее время вейвлет-преобразование получает широкое развитие при решении многих задач, в том числе и задач анализа геомагнитных данных [3–10]. Эта математическая платформа имеет быстрые схемы преобразования данных, обширный словарь базисов с компактными носителями [15, 16] и хорошо подходит для описания данных сложной нестационарной структуры [3–10]. В данной работе на основе разработанной авторами *многокомпонентной модели вариации геомагнитного поля* [3, 5], позволяющей описать ее «спокойный» ход и разномасштабные локальные особенности, формирующиеся в возмущенные периоды, предложены *вычислительные алгоритмы выделения периодов слабой и сильной геомагнитной активности и оценки интенсивности возмущений*.

Апробация предлагаемых средств выполнялась на данных  $H$ -компоненты вектора напряженности магнитного поля Земли, регистрируемых в магнитных обсерваториях «Паратунка» (Россия, Камчатский край).

### Описание метода

Вариация геомагнитного поля на основе дерева вейвлет-пакетов может быть представлена в следующем виде [3, 5]:

$$f_0(t) = f_{\text{хар}}(t) + \sum_{j \in I} g_{j_{\text{возм}}}(t) + e(t) = \sum_n c_{j,n} \varphi_{j,n}(t) + \sum_{j \in I} \sum_n d_{j,n} \Psi_{j,n}(t) + \sum_{j \notin I} \sum_n d_{j,n} \Psi_{j,n}(t), \quad (1)$$

где  $f_{\text{хар}}(t) = \sum_n c_{j,n} \varphi_{j,n}(t)$  – характерная составляющая,  $g_{j_{\text{возм}}}(t) = \sum_n d_{j_{\text{возм}},n} \Psi_{j_{\text{возм}},n}(t)$  – *возмущенные* составляющие (здесь и далее  $j \in I$  обозначены как  $j_{\text{возм}}$ ),  $e(t) = \sum_{j \notin I} \sum_n d_{j,n} \Psi_{j,n}(t)$  –

шум,  $\Psi_j = \{\Psi_{j,n}\}_{n \in \mathbb{Z}}$  – вейвлет-базис,  $\Phi_j = \{\Phi_{j,n}\}_{n \in \mathbb{Z}}$  – скэйлинг-функция, коэффициенты  $c_{j,n} = \langle f, \Phi_{j,n} \rangle$ ,  $d_{j,n} = \langle f, \Psi_{j,n} \rangle$ ,  $I$  – набор индексов компонент вейвлет-пакета, описывающих возмущения,  $j$  – масштаб.

В работе [3] качестве меры магнитной возмущенности компоненты вейвлет-пакета масштаба  $j$  предложен максимум амплитуд вейвлет-коэффициентов:

$$A_j = \max_n (|d_{j,n}|), \quad (2)$$

где  $n$  – отсчеты сигнала.

На рис. 1, в качестве примера, для компонент дерева вейвлет-пакетов масштабов  $j=1$  и  $j=5$  представлены гистограммы максимумов амплитуд вейвлет-коэффициентов «спокойных», слабовозмущенных и возмущенных дней. Анализ гистограмм показывает, что компоненты масштаба  $j=1$  не содержат возмущений, максимумы амплитуд вейвлет-коэффициентов данных компонент в периоды спокойного и возмущенного поля имеют, в своем большинстве, одинаковые значения (рис. 1а). Для компонент масштаба  $j=5$  в периоды возрастания возмущений наблюдается увеличение максимумов амплитуд вейвлет-коэффициентов, характеризующее степень возмущенности поля.

С использованием предложенной меры возмущенности компоненты компоненты дерева вейвлет-пакета, описывающие возмущения, могут быть определены на основе следующего правила 1:

$$j \in I, \text{ если } m(A_j^v) > m(A_j^k) + \varepsilon_j, \quad (3)$$

где  $m(A_j^v)$  – выборочное среднее максимумов амплитуд вейвлет-коэффициентов компоненты масштаба  $j$  возмущенных дней,  $m(A_j^k)$  – выборочное среднее максимумов амплитуд вейвлет-коэффициентов компоненты масштаба  $j$  спокойных дней,  $v$  – индекс возмущенной вариации поля,  $k$  – индекс спокойной вариации поля,  $\varepsilon_j$  – некоторое положительное число.

Предполагая, что величина  $A_j^k$  имеет нормальное распределение с некоторым средним  $\mu^k$  и дисперсией  $\sigma^k$ . Тогда  $\varepsilon_j$  можно оценить как

$$\hat{\varepsilon}_j = x_{1-a/2} \frac{\sigma_j^k}{\sqrt{n^k}},$$

где  $\sigma_j^k$  – дисперсия максимумов амплитуд вейвлет-коэффициентов спокойных дней определяется в результате многократных измерений,  $x_{1-a/2}$  – квантиль уровня  $1-a/2$  стандартного нормального распределения (определяется по таблице нормального распределения),  $n^k$  – количество анализируемых спокойных вариаций поля. Например, при  $a=0.1$  доверительная вероятность  $1-a/2=0.95$ , значение квантиля  $x_{1-a/2}=1.96$ , и в этом случае величина  $\varepsilon = 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

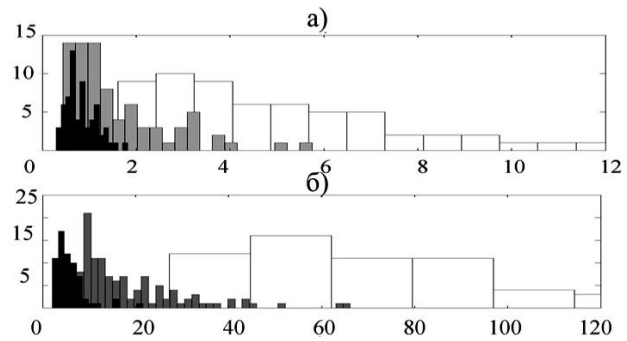


Рис. 1. Гистограммы максимумов амплитуд вейвлет-коэффициентов компонент дерева вейвлет-пакета «спокойных» (черный цвет), слабовозмущенных (серый цвет) и возмущенных дней (белый цвет): а) компонента масштаба 1 для ст. Паратунка (не содержит геомагнитные возмущения); б) компонента масштаба 5 (содержит геомагнитные возмущения)

Из эквивалентности непрерывных и дискретных вейвлет-преобразований [15, 16], используя соотношение (2) получаем, что интенсивность возмущений в момент времени  $t = u$  на анализируемом масштабе  $s$  можно оценить как

$$e_{s,u} = |w_{s,u}|, \quad (4)$$

где  $w_{s,u} = \langle f, \Psi_{s,u} \rangle$ ,  $\Psi$  – вейвлет-базис пространства Лебега  $L^2(R)$ .

Из соотношения (4) следует, что интенсивность возмущений поля в момент времени  $t = u$  можно оценить как

$$E_u = \sum_s e_{s,u}. \quad (5)$$

С использованием **правила 1** на основе обработки геомагнитных данных станции «Паратунка» были идентифицированы компоненты дерева вейвлет-пакета, содержащие геомагнитные возмущения, и определена возмущенная составляющая модели (1) (рис. 2, 3б). Оценка интенсивности возмущений магнитного поля Земли выполнялась на основе операции (5) (рис. 2, 3в). Анализ исходных вариаций геомагнитного поля, представленных на рис. 2, 3а, показывает, что за данные периоды времени произошли 2 магнитные бури с резким началом. Первая магнитная буря произошла 24.06.2009 г. в 06:20 UT, вторая магнитная буря – 05.04.2010 г. в 08:43 UT [19]. Эти события сопровождаются сильными возмущениями поля, что показывают результаты обработки данных (рис. 2, 3б, 3в). В периоды повышения геомагнитной активности в выделенных возмущенных составляющих модели наблюдается значительное увеличение амплитуд вейвлет-коэффициентов (рис. 2, 3б) и интенсивности возмущений (рис. 2, 3в), что позволяет фиксировать данные моменты времени и получать количественные оценки степени возмущенности геомагнитного поля. Накануне бури, 23.06.2009 г., в выделенных возмущенных составляющих модели, представленных на рис. 2б, в локальные моменты времени наблюдается слабое возрастание геомагнитной активности (данные периоды выделены на рис. 2б пунктирными линиями), связанное с приближающейся бурей. Накануне второй магнитной бури, 04.04.2010 г., в результатах оценки интенсивности возмущений также наблюдаются слабые возмущения (данные периоды выделены на рис. 3в пунктирными линиями).

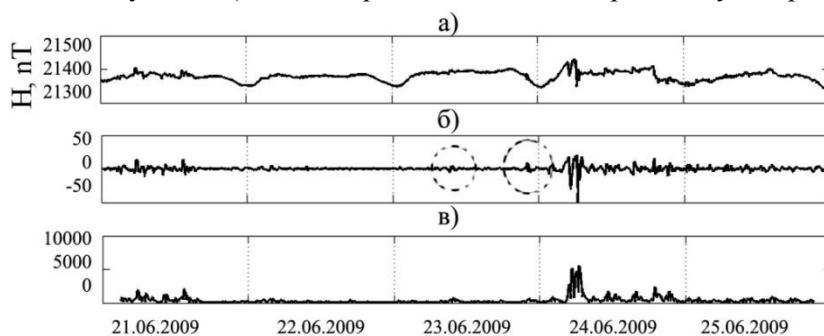


Рис. 2. Результаты обработки геомагнитных данных за период с 21.06.2009 г. по 26.06.2009 г.:  
а) вариация магнитного поля; б) выделенная возмущенная составляющая модели; в) интенсивность возмущений поля

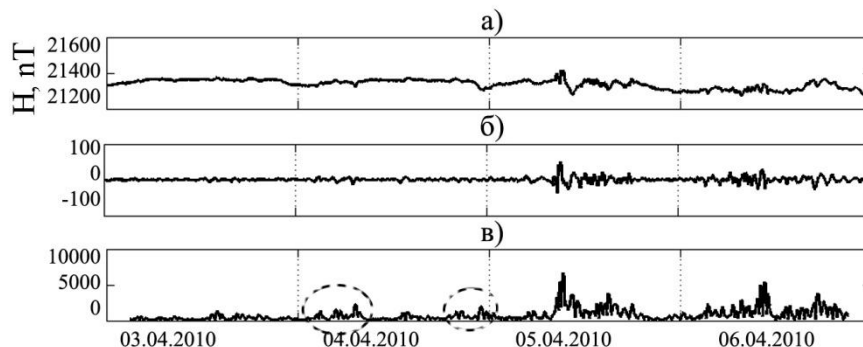


Рис. 3. Результаты обработки геомагнитных данных за период с 03.04.2010 г. по 07.04.2010 г.:  
а) вариация магнитного поля; б) выделенная возмущенная составляющая модели;  
в) интенсивность возмущений поля

Рассмотрим совокупность трех возможных состояний геомагнитного поля:

Состояние  $h_0$  – поле спокойное; состояние  $h_1$  – поле слабозвозмущенное; состояние  $h_2$  – поле возмущенное. В соответствии с данными состояниями может быть получена модель вида [6]:

$$f(t) = f_{xap}(t) + \sum_{(j_{\text{гозм}}, n) \in I_1} d_{j_{\text{гозм}}, n} \Psi_{j_{\text{гозм}}, n}(t) + \sum_{(j_{\text{гозм}}, n) \in I_2} d_{j_{\text{гозм}}, n} \Psi_{j_{\text{гозм}}, n}(t) + e(t), \quad (6)$$

где  $g_{\text{гозм},1}(t) = \sum_{(j_{\text{гозм}}, n) \in I_1} d_{j_{\text{гозм}}, n} \Psi_{j_{\text{гозм}}, n}(t)$  описывает слабые геомагнитные возмущения, компонента  $g_{\text{гозм},2}(t) = \sum_{(j_{\text{гозм}}, n) \in I_2} d_{j_{\text{гозм}}, n} \Psi_{j_{\text{гозм}}, n}(t)$  описывает сильные геомагнитные возмущения,  $I_1, I_2$  – наборы индексов.

В соответствии с рассмотренными состояниями введем следующие состояния коэффициентов  $\{d_{j_{\text{гозм}}, n}\}$ :

$h_{j_{\text{гозм}},0}$  – коэффициент спокойный,

$h_{j_{\text{гозм}},1}$  – коэффициент слабозвозмущенный,

$h_{j_{\text{гозм}},2}$  – коэффициент возмущенный.

В качестве *меры магнитной возмущенности* коэффициента логично определить его амплитуду. Тогда оценка параметров  $\{d_{j_{\text{гозм}}, n}\}_{(j_{\text{гозм}}, n) \in I_1}$ ,  $\{d_{j_{\text{гозм}}, n}\}_{(j_{\text{гозм}}, n) \in I_2}$  может быть выполнена на основе применения пороговых функций  $F_1$  и  $F_2$ :

$$f(t) = f_{xap}(t) + \sum_{j_{\text{гозм}}, n} F_1(d_{j_{\text{гозм}}, n}) \Psi_{j_{\text{гозм}}, n}(t) + \sum_{j_{\text{гозм}}, n} F_2(d_{j_{\text{гозм}}, n}) \Psi_{j_{\text{гозм}}, n}(t) + e(t)$$

$$F_1(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } |x| \leq T_{j_{\text{гозм}},1} \text{ или } |x| > T_{j_{\text{гозм}},2} \\ x, & \text{если } T_{j_{\text{гозм}},1} < |x| \leq T_{j_{\text{гозм}},2} \end{cases}, \quad F_2(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } |x| \leq T_{j_{\text{гозм}},2} \\ x, & \text{если } |x| > T_{j_{\text{гозм}},2} \end{cases}. \quad (7)$$

Функции  $F_1(x)$  и  $F_2(x)$  определяют *правила выбора решения* [18] о состоянии коэффициентов. Пороги  $T_{j_{\text{гозм}},1}$  и  $T_{j_{\text{гозм}},2}$  разбивают пространство коэффициентов  $X$  на 3 непересекающихся области  $X_0$ ,  $X_1$  и  $X_2$ , тогда *правило выбора решения* устанавливает соответствие между решениями о состоянии коэффициента и областями.

В данном случае *правило выбора решения* является детерминированным: если наблюдаемая выборка попадает в область  $X_i$ , то утверждается истинность гипотезы о том, что коэффициент находится в состоянии  $h_{j_{\text{гозм}},i}$ . В силу случайной природы исследуемого объекта использование любого правила неминуемо связано с возможностью ошибочных решений. При использовании определенного *правила выбора решения* для заданного состояния  $h_{j_{\text{гозм}},i}$  средняя величина потерь

$$J_{j_{\text{гозм}},i}(x) = \sum_{l=0}^2 \Pi_{il} P\{x \in X_l / h_{j_{\text{гозм}},i}\},$$

где  $\Pi_{il}$  – функция потерь, учитывающая последствия ошибочных решений и предписывающая каждому ошибочному решению плату,  $P\{x \in X_l / h_{j_{\text{гозм}},i}\}$  – условная вероятность попадания выборки в область  $X_l$ , если в действительности имеет место состояние  $h_{j_{\text{гозм}},i}$  (знак "/" означает условную вероятность),  $i \neq l$ ,  $i, l$  – индексы состояний.

Условное среднее потерь для данного состояния  $h_{j_{\text{гозм}},i}$  называется *условным риском* [18]. Усредняя условную функцию риска по всем состояниям  $h_{j_{\text{гозм}},i}, i = 0,1,2$ , получаем *средний риск*:

$$J_{\text{возм}} = \sum_{i=0}^2 p_i J_{j_{\text{возм}},i},$$

где  $p_i$  – априорная вероятность состояния  $h_{j_{\text{возм}},i}$ .

Величина  $J_{\text{возм}}$  является *критерием качества выбора решения*. Наилучшим правилом будет такое, для которого *средний риск* будет наименьшим (байесовский риск [18]).

Поскольку мы не знаем априорное распределение состояний  $p_i$ , для выбора *наилучшего правила* будем использовать *апостериорный риск* [18]:

$$J_l(x) = \sum_{i=0}^2 \Pi_{il} P\{h_{j_{\text{возм}},i} / x \in X_l\},$$

где апостериорные вероятности  $P\{h_{j_{\text{возм}},i} / x\}$ ,  $i=0,1,2$ , представляют наиболее полную характеристику состояний  $h_{j_{\text{возм}},i}$  при располагаемых априорных данных. Для простой функции потерь

$$\Pi_{il} = \begin{cases} \Pi, i \neq l, \\ 0, i = l, \end{cases}$$

*апостериорный риск*  $J_l(x)$  равен

$$J_l(x) = \Pi \sum_{i \neq l} P\{h_{j_{\text{возм}},i} / x \in X_l\} \quad (8)$$

В этом случае *критерием качества выбора решения* является критерий наименьшей частоты ошибок. В свою очередь пороги  $T_{j_{\text{возм}},1}$  и  $T_{j_{\text{возм}},2}$  определяются *наилучшим правилом выбора решения* (обеспечивающим наименьшее значение *апостериорного риска*  $J_l(x)$ ).

### Выводы

На основе предложенных в работе теоретических и программных средств выполнен анализ геомагнитных данных для станции «Паратунка», в автоматическом режиме выделены геомагнитные возмущения и выполнена оценка их интенсивности. Результаты анализа показали, что в периоды повышения геомагнитной активности разработанные средства позволяют фиксировать моменты возникновения геомагнитных возмущений и получать количественные оценки степени возмущенности геомагнитного поля. Накануне бурь в локальные моменты времени наблюдается слабое возрастание геомагнитной активности, связанное с приближающейся бурей.

Применение предлагаемых средств в комплексе с другими методами анализа геомагнитных данных позволит выделять предвестники сильных магнитных бурь при проведении прогноза космической погоды.

Работа поддержана грантом федеральной программы «У.М.Н.И.К», Госконтракт от 19 апреля 2011 г.

### Литература

1. Будько Н.И., Зайцев А.Н., Карпачев А.Т., Козлов А.Н., Филиппов Б.П. Космическая среда вокруг нас. – Троицк: ТРОВАНТ. – 2006. – 232 с.
2. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. – Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2006. – 140 с.
3. Mandrikova O., Solovjev I., Geppener V., Taha R., Kasasbeh A., Klionskiy D. Analysis of the Earth's magnetic field variations on the basis of a wavelet-based approach // Digital Signal Processing. – 2003. – V. 23. – I. 1. – P. 329–339.
4. Mandrikova O.V., Solovjev I.S., Geppener V.V., Klionskiy D.M. Analyzing subtle features of natural time series by means of a wavelet-based approach // Pattern Recognition and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications – 2012. – V. 22, № 2. – P. 323–332.

5. Mandrikova O.V., Bogdanov V.V., Solov'ev I.S. Wavelet analysis of geomagnetic field data // Geomagn. Aeron. – 2013. – V. 53, 2. – P. 268–276.
6. Mandrikova O.V., Solovev I.S. The method of the extracting disturbance and estimates of the Earth's magnetic field is based on the wavelet-packet // 11th International conference on Pattern Recognition and Image Analysis. – Samara: IPSI RAS. – 2013. – V. 2. – P. 646–648.
7. Nayar S.R.P., Radhika V.N. and Seena P.T. Investigation of substorms during geomagnetic storms using wavelet Techniques // LWSI WORKSHOP. – 2006. – P. 19–24.
8. Ali G.H., Essam G., Hideki Y., Kiyohumi Y. Systematic examination of the geomagnetic storm sudden commencement using multi resolution analysis // Advances in Space Research. – 2013. – V. 51. – I.1. – P. 39–49.
9. Jach A. et al. (2006) in wavelet-based index of magnetic storm activity // J. Geophys. Res. – 2006. – V. 111. – a09215, doi:10.1029/2006ja011635.
10. Zhonghua X. et al. An assessment study of the wavelet-based index of magnetic storm activity (WISA) and its comparison to the Dst index // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. – 2008. – V.70. – P.1579–1588.
11. Menvielle M., Papitashvili N., Hakkinen L., Sucksdorff C. Computer production of K indices: review and comparison of methods // Geophys. J. Int. – 1995. – V. 123. – P. 866–886.
12. Golovkov V.P., Papitashvili V.O., and Papitashvili N.E.: Automated calculation of the k indices using the method of natural orthogonal components // Geomagn. Aeron. – 1989. – V. 29. – P. 667–670.
13. Nowożyński K., Ernst T. & Jankowski J. Adaptive smoothing method for computer derivation of K-indices. // Geophys. J. Int. – 1991. – V. 104. – P. 85–93.
14. Яновский Б.М. Земной магнетизм: Учеб. пособие. – Изд. 4-е, перераб. и дополн. – Ред. В.В. Металлова. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 592с.
15. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing (Acad. Press, 1999; Mir. – Moscow, 2005).
16. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets (SIAM, 1992; NITs Reguljarnaya i Khaoticheskaya Dinamika. – Izhevsk, 2001).
17. Bartels J., Heck N.H., and Johnston H.F. The Three Hour Range Index Measuring Geomagnetic Activity // J. Geophys. Res. – 1939. – V. 44. – P. 411–454.
18. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – Изд. 2-е. – М.: Сов. радио, 1975. – 392 с.
19. Connors M., Russell C.T., and Angelopoulos V. Magnetic flux transfer in the 5 April 2010 Galaxy 15 substorm: an unprecedented observation // Ann. Geophys. – 2011. – V. 29. – P. 619–622.

УДК [681.772.7+004.421]:004.896

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕОКАМЕРЫ «MICROSOFT KINECT» И АЛГОРИТМА «SURF» ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕПОДВИЖНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ**

**З.Т. Нгуен, И.А. Щербатов**

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань*

Рассматривается задача использования SLAM для управления движением робота внутри зданий. Проанализированы особенности функционирования видеокамеры Microsoft Kinect и алгоритма SURF. Определена эффективность при использовании алгоритма SURF для обнаружения неподвижных препятствий в зданиях и сооружениях.

### **Введение**

Современное состояние робототехнических устройств и систем в мире позволяет утверждать, что роботы уверенно двигаются к тому, чтобы занять свою нишу в повседневной жизни человека. Эффективное применение роботов внутри зданий и сооружений сопряжено с рядом трудностей, решение которых позволит обеспечить повышение качества управления мобильными роботами.

Одним из ключевых требований к современным мобильным робототехническим платформам является возможность автономной навигации в реальной среде на основе системы технического зрения [1]. Существуют системы навигации на основе дальномеров [2, 3], видеокамер [4], стереокамер и ряд других. Кроме того, весьма перспективным направлением является разработка систем навигации мобильных роботов в зданиях и сооружениях на основе инфракрасного сенсора глубины, работающего совместно с видеокамерой, например, Microsoft Kinect [5] или Asus Xtion [6].

Сложность технического процесса определения текущего местоположения и построения карты обусловлена низкой точностью приборов, участвующих в процессе вычисления текущего местоположения. Метод одновременной навигации и построения карты (SLAM от англ. Simultaneous Location and Mapping) – это концепция, которая связывает два независимых процесса в непрерывный цикл последовательных вычислений. При этом результаты одного процесса участвуют в вычислениях другого процесса.

### Постановка задачи

При обнаружении объектов с применением SLAM появляется ряд трудностей [7]: масштаб; место; фон и помехи; проекция, вращение и угол обзора.

Реализация SLAM невозможна без датчиков, которые дают информацию об окружающем пространстве. Основное внимание будет уделено рассмотрению датчиков применительно к колесным роботам: Дальномеры (лазерный сканер), Одометры, Видеокамеры. Microsoft Kinect является новой системой камер. Состоит из двух глубинных сенсоров, цветной видеокамеры и микрофонной решетки.

SURF является одним из самых эффективных и быстрых современных алгоритмов. В настоящее время SURF алгоритм поддерживается во многих библиотеках, таких как OPENCV, OPENNI. Кроме того, алгоритм SURF имеет несколько версий, наиболее применяемыми являются два алгоритма – GpuSURFDetector и MatchSURFFeature With Feature Tree.

Таким образом, основной задачей работы является определение ключевых областей изображения, получаемых с видеокамеры Microsoft Kinect мобильного робота для определения неподвижных препятствий ближней зоне робота внутри здания и сооружений.

### Метод исследования

Задача построения карты неизвестного пространства мобильным роботом во время навигации происходит на основе исходных данных о некоторой реальной среде (помещение, открытая местность, водная или воздушная среда) и информации с датчиков робота. В каждый момент времени необходимо знать местоположение робота и карту той части окружающего пространства.

Алгоритм SLAM (рис. 1) состоит из нескольких основных блоков: рекурсивный фильтр; нахождение ориентиров в пространстве; поиск соответствий между ориентирами; пересчет положения робота; уточнение положения ориентиров на карте.

При каждой итерации алгоритма происходит поступление данных от датчиков, на основании которых осуществляется поиск ориентиров в пространстве и их описаний, необходимых для поиска соответствий. В процессе работы алгоритма происходит построение

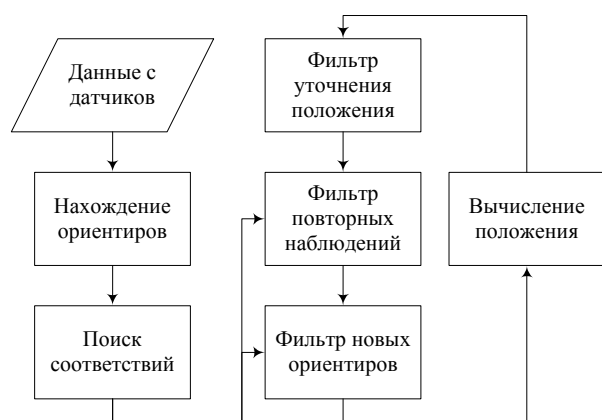


Рис. 1. Классическая схема алгоритма SLAM

базы ориентиров и описаний. Т.о. поиск соответствия для обнаруженного ориентира – поиск соответствия в базе. Фильтр уточнения положения используется для снижения уровня шума, оставшиеся два фильтра необходимы для фильтрации повторных наблюдений и новых ориентиров, обнаруженных датчиками робота.



*Kinect* является новой системой камер. Состоит из двух глубинных сенсоров, цветной видеокамеры и микрофонной решетки. Проприетарное программное обеспечение осуществляет полное 3-мерное распознавание движений тела, мимики лица и голоса.

Датчик глубины состоит из инфракрасного проектора, объединенного с монохромной КМОП-матрицей, что позволяет датчику *Kinect* получать трехмерное изображение при любом естественном освещении.

Диапазон глубины и программа проекта позволяют автоматически калибровать датчик с учетом условий игры и окружающих условий, например, мебели, находящейся в комнате.

*Kinect* Драйвер имеет три основных метода: Подключиться к *Kinect*; Получить расположение людей в кадре; Получить информацию масштабной глубины.

Метод для подключения к *Kinect* использует Windows SDK. Если есть любые проблемы, окно консоли будет сообщать о них. После установления соединения он обеспечивает глубину данных и скелет потоков данных («skeleton data»). После этой стадии двигателя *Kinect* используются для обеспечения *Kinect* параллельно роботу. Наконец, обработчик события останавливается, чтобы ждать, когда все кадры *Kinect* готовы. Когда это произойдет, то это означает, что *Kinect* получил глубину кадра данных, кадр цветного изображения и скелет кадра одновременно. В случае этого события драйвера *Kinect* хранят эту информацию в серии массивов: один для глубины изображения, один для цветного изображения и один для точек каркаса.

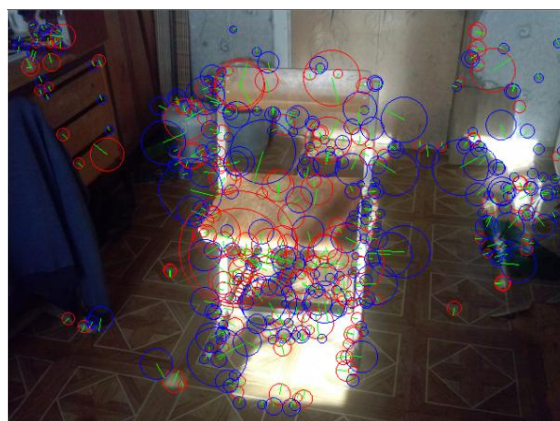
Метод для получения местоположения людей в кадре использует информацию, хранящуюся в глубине массива. Каждый пиксель в глубине массива кодируется на всю информацию о глубине и людях. При применении битовой маски к этой части данных можно извлечь информацию о людях. Алгоритм, который Microsoft внедряет в свой SDK, возвращает местоположение человека в 200 FPS.

Для выдачи масштабирования данных исходные данные глубины возвращаются в виде числа пикселей и связанных с ним значениями глубины в миллиметрах. Данная проблема возникает при преобразовании пикселей в миллиметрах, так как это не тривиальная проблема. *Kinect* для Windows SDK предоставляет способ для преобразования в миллиметры.

Детектор точек SURF обладает требуемой устойчивостью по отношению к различным преобразованиям изображения [8]. Алгоритм SURF обеспечивает решение двух задач – поиск особых точек изображения и генерация их дескрипторов, инвариантных к масштабу и вращению. Поиск особых точек осуществляется с помощью матрицы Гессе. Детерминант гессиана достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости, а значит, эффективно определяет пятна, углы и края линий.



а



б

Рис. 2. Особые точки изображения, найденные с помощью матрицы Гессе: а – исходное изображение; б – изображение с найденными особыми точками

Для каждой ключевой точки считается направление максимального изменения яркости (градиент) и масштаб, взятый из масштабного коэффициента матрицы Гессе. Градиент в точке вычисляется с помощью фильтров Хаара.

После нахождения ключевых точек SURF формирует их дескрипторы. Дескриптор представляет собой набор из 64 (либо 128) чисел для каждой ключевой точки. Эти числа отображают

флуктуации градиента вокруг ключевой точки (что понимается под флуктуацией – рассмотрим ниже). Поскольку ключевая точка представляет собой максимум гессиана, то это гарантирует, что в окрестности точки должны быть участки с разными градиентами. Таким образом, обеспечивается дисперсия (различие) дескрипторов для разных ключевых точек.



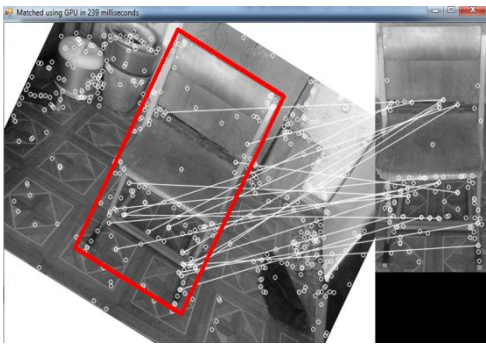
Флуктуации градиента окрестностей ключевой точки считаются относительно направления градиента вокруг точки в целом (по всей окрестности ключевой точки). Таким образом, достигается инвариантность дескриптора относительно вращения. Размер же области, на которой считается дескриптор, определяется масштабом матрицы Гессе, что обеспечивает инвариантность относительно масштаба. Флуктуации градиента также считаются с помощью фильтра [7].

Мы можем использовать OPENCV, чтобы запрограммировать с алгоритмом SURF. Как мы узнали, алгоритм SURF был предложен Г. Бэйем (Herbert Bay) в 2006 г.

В настоящее время у нас есть несколько версий алгоритма, в которых наиболее заметными являются два алгоритма:

- GpuSURFDetector: Алгоритм использует CPU и GPU для ускорения расчетов и точности;
- MatchSURFFeatureWithFeatureTree: Алгоритм использует Дерево принятия решений.

**Применение «GpuSURFDetector» и «MatchSURFFeatureWithFeatureTree» с другим углом обзора**

<p><b>ВВОД</b></p>	 <p>входная картина: стул размеры:640×480 (246 КБ)</p>	 <p>образец: стул размеры 195×374 (85,2 КБ)</p>
	<p><b>ВЫХОД</b></p>	 <p>«GpuSURFDetector»</p>
<p>Время на обнаружение объекта (миллисекунда)</p>	<p><b>239</b></p>	<p><b>16</b></p>

Когда считали результаты экспериментов, мы заметили, что время на обнаружение объекта алгоритма «MatchSURFFeatureWithFeatureTree» меньше от 10 до 20 раз, чем алгоритма «GpuSURFDetector».

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что выигрыш времени алгоритма «GpuSURFDetector» (примерно в 1,96 раза) больше, чем алгоритма «MatchSURFFeatureWith Feature Tree» (примерно в 1,07 раза), когда угол обзора изменится.

Таким образом, мы используем «MatchSURFFeatureWithFeatureTree», время и качество на обнаружение объекта меньше, чем «GpuSURFDetector». Но если хотим обрабатывать в режиме реального времени, мы можем использовать «MatchSURFFeatureWithFeatureTree».

### Заключение

Полученные в работе результаты позволяют использовать Kinect-видеокамеры и в SLAM и алгоритм SURF для обнаружения неподвижных препятствий мобильным роботом в зданиях и сооружениях.

Алгоритм «MatchSURFFeatureWithFeatureTree» удовлетворяет требованиям, необходимым для обнаружения объектов в режиме реального времени.

### Литература

1. *Forsyth D.A.* Computer Vision: A Modern Approach / D.A. Forsyth, J. Ponce // Robotics and Autonomous Systems. – 2006. – V. 11, № 3. – P. 84–92.
2. *Носков В.П.* Навигация мобильных роботов по дальнометрическим изображениям / В.П. Носков, А.В. Носков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2005. – № 12. – С. 16–21.
3. *Голубкин И.А., Щербатов И.А.* Универсальная сенсорная подсистема мобильного колесного робота // Датчики и системы. – 2010. – № 8. – С. 32–35.
4. *Bonin-Font F.* Visual Navigation for Mobile Robots: a Survey [Text] / F. Bonin-Font, A. Ortiz, G. Oliver // Journal of Intelligent and Robotic System. – 2008. – P. 263–296.
5. *Kefer M., Kubinger W.* Evaluation of Kinect Depth Sensor for Use in Mobile Robotics / Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium. – 2011. – V. 22, 1.
6. *Чернухин Ю.В., Доленко Ю.С., Бутов П.А.* Нейросетевой подход к решению задачи локально навигации интеллектуальными мобильными роботами в условиях, приближенных к реальной среде // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. – № 5 (142). – С. 80–84.
7. *Дзинько Р.* Обнаружение устойчивых признаков изображения: метод SURF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/103107/>.
8. *Marron R.* C# Implementation of SLAM Using the Microsoft Kinect [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://old.ee.duke.edu/files/ece/GWDD2012\\_Marron.pdf](http://old.ee.duke.edu/files/ece/GWDD2012_Marron.pdf)

УДК 681.51:625.746.5(571.66-25)

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ УЛИЦЫ ЛУКАШЕВСКОГО И ПРОСПЕКТА 50 ЛЕТ ОКТЯБРЯ

**А.И. Пантина, А.О. Козырькова**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

Интенсивный рост количества автомобильного транспорта в городах постоянно повышает актуальность мероприятий, направленных на снижение негативных явлений, вызванных автомобилизацией.

Увеличение загрузки улично-дорожной сети снижает эффективность использования транспорта (увеличение времени задержек, количества остановок, расхода топлива, износа), повышает количество дорожно-транспортных происшествий, увеличивает износ дорожного покрытия и значительно ухудшает экологическую обстановку (загрязнение воздушного бассейна, в том числе канцерогенными компонентами, увеличение шума).

За последние годы проводилось широкое исследование проблемы координированного управления транспортными потоками. Сущность координированного управления сводится к

обеспечению безостановочного проезда группы автомобилей с определенной скоростью через все регулируемые перекрестки дороги. Для облегчения загруженности автомобильных дорог была внедрена автоматизированная система управления дорожным движением (АСУ ДД).

Автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУ ДД) – это взаимосвязанный комплекс технических, программных и организационных мер, собирающих и обрабатывающих информацию о данных транспортных потоков и на основе этого оптимизирующих управление движением.

АСУ ДД подразделяются на несколько видов:

Магистральные автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУ ДД) координированного управления – бесцентровые, централизованные и централизованные интеллектуальные.

Общегородские автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУ ДД) – упрощенные, интеллектуальные, с управлением движением на городских дорогах непрерывного движения и с реверсивным движением [1].

Интеллектуальные АСУ ДД содержат мощные управляющие вычислительные комплексы (УВК) и сеть изменяющихся информационных дисплеев. Эти АСУ ДД могут проводить непрерывный контроль потока транспорта, выполнять автоматическое адаптивное управление ДД и позволяют перераспределять транспортные потоки по сети.

В общем виде подсистемы АСУ ДД могут быть представлены как совокупность устройств дорожной телематики, контроллеров и автоматизированных рабочих мест (АРМ), включенных в сеть обмена данными с организацией центрального и местных центров управления – в зависимости от плотности и интенсивности дорожного движения.

В качестве устройств дорожной телематики применяются знаки переменной информации (ЗПИ), многопозиционные дорожные указатели, табло переменной информации (ТПИ), детекторы транспорта, автоматические дорожные метеостанции (АДМС), видеокамеры и т. д. [2].

В общем случае в состав АСУ ДД входит:

1. Детекторы транспортного потока, задача которых заключается в сборе информации об интенсивности движения (количество машин в единицу времени), средней скорости за интервал и заполненности полосы или дороги (процент занятого автомобилями пространства дороги). Как правило, детектор может контролировать только одну полосу. Поэтому размещают их на опоре по несколько штук сразу, по числу полос. Соответственно, интенсивности суммируют, а скорости и занятость усредняют.

2. Видеонаблюдение и автоматический видео анализ. Как правило, видеонаблюдение является отдельной подсистемой АСУ ДД. Видеонаблюдение дает возможность автоматически фиксировать всевозможные инциденты в области видимости, которые оператор может проглядеть. Например, сейчас существуют системы, которые могут определять ДТП, непредвиденную остановку автомобилей, выпавший груз, пожар и движение против потока.

3. Знаки и табло переменной информации представляют собой массивы светодиодов. Так как они предназначены для работы в уличных условиях, в них предусмотрены режимы обогрева, охлаждения, защиты от конденсата и от обледенения. Знаки умеют отображать фиксированное количество картинок, в зависимости от моделей. Электронные табло также отличаются разнообразными ограничениями по шрифтам, числу строк и количеству «пикселей» по горизонтали.

4. Дорожные контроллеры – это обычные компьютеры в промышленном исполнении. Контроллер умеет собирать телеметрическую информацию с детекторов транспортного потока и зажигать знаки и табло на одной опоре.

В настоящее время разработана АСУ «ГОРОД–ДД» которая предназначена для обеспечения эффективного управления движением транспортных и пешеходных потоков в городах при помощи средств светофорной сигнализации, видеоконтроля и регистрации нарушений на дорогах, оперативного анализа экологической обстановки в городе, контроля движения маршрутного транспорта [3].

Данная работа направлена на решение задач по уменьшению загрузки улично-дорожной сети, количества дорожно-транспортных происшествий, износа дорожного покрытия и на улучшение экологической обстановки.

Для решения поставленных задач были собраны данные о техническом оснащении перекрестка (количество светофоров, длительность цикла светофоров), статистические данные пропускной способности перекрестка за время горения зеленого сигнала светофора и средняя длина очереди к моменту начала периода зеленого сигнала.

Одним из основных параметров режима движения автотранспортных средств является интенсивность движения, которая определяется числом автотранспортных средств, движущихся по данной полосе магистрали и проходящих через точку наблюдения за фиксированный период времени.

В теории транспортных потоков пропускная способность выражается через интенсивность движения, т.е. максимальное число автомобилей, которое может быть пропущено через сечение одной полосы в течение интервала времени. По интервалам в транспортном потоке можно судить об интенсивности движения транспорта.

Движение транспортного потока на участках перегона и перекрестка согласуется с теорией массового обслуживания, согласно которой перекресток является системой массового обслуживания (СМО), а возникающие процессы – процессами обслуживания. Движение автотранспортных средств через регулируемый перекресток имеет прерывистый и случайный характер, который приводит к тому, что система оказывается загруженной неравномерно: в какие-то периоды времени скапливается большое количество единиц автотранспортных средств, и они выстраиваются в очередь, в другие периоды времени система простаивает либо работает с недогрузкой [4].

В случае движения на перекрестке событием является поток автотранспортных средств, осуществляющих движение в определенные фазы работы светофора, т.е. число проходящих автотранспортных средств в единицу времени.

Транспортный поток, как входящий поток, обладает следующими свойствами:

- нерегулярен, т.е. не обладает свойством регулярности, события следуют одно за другим в нестрогие заданные промежутки времени;
- поток без последствия: число событий, попадающих на один из произвольно выбранных промежутков времени, не зависит от числа событий, попавших на другой, произвольно выбранный промежуток;
- стационарен.

Транспортный поток считается стационарным в часы пик. В этом случае фактическое число проходящих автомобилей в единицу времени может заметно различаться, но среднее их число постоянно и не будет зависеть от времени.

Рассмотрим движение автотранспортного средства на регулируемом перекрестке (рис. 1). Автотранспортные средства, поступающие в систему, либо пересекают перекресток (получают обслуживание), если проезд свободен и горит зеленый сигнал светофора, либо становятся в очередь у перекрестка (если горит красный сигнал или проезд закрыт другими машинами).

Поток автотранспортных средств проходит через точку А на участке дороги перед перекрестком. Обслуживание одного автомобиля в системе представляет собой проезд через точку В (визуально это «стоп-линия») – граница перекрестка. Время проезда через точку В примем равным для всех автомобилей  $T$  ( $T > 0$ ). За это время следующее автотранспортное средство подходит к перекрестку (точка В) и ждет своего обслуживания [4].

В этом случае перекресток описывается с помощью одноканальной системы массового обслуживания (СМО) с ожиданием и наличием максимального числа автотранспортных средств, способных поместиться на участке дороги.

Основными исходными данными для расчета интенсивности потока являются: количество транспортных средств, способных проехать перекресток за период горения зеленого сигнала, средняя длина автомобиля и путь пройденный автомобилем за время реакции водителя.

Рассчитаем пропускную способность одной полосы движения, используя общеизвестные формулы, приведенные ниже.

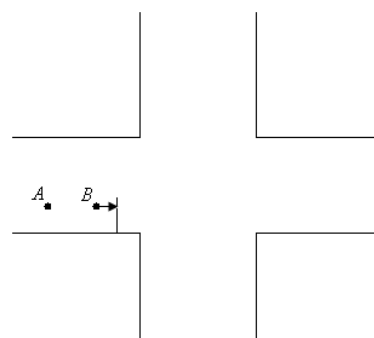


Рис. 1. Схема движения транспортного средства через регулируемый перекресток



Пропускная способность одной полосы движения:

$$N_n = \frac{3600 \times V}{L} \left[ \text{авт/час} \right], \quad (1)$$

где  $V$  [м/с] – скорость движения,  $L$  [м] – динамический габарит размещения автомобиля на дороге.

$$L = l_0 + l_1 + l_2 + l_3, \quad (2)$$

где  $l_0$  [м] – средняя длина автомобиля,  $l_1$  [м] – путь, пройденный автомобилем за время реакции водителя.

$$l_1 = V \times t, \quad (3)$$

где  $t = 0.5 - 1.5$  с пути;

Длина тормозного пути:

$$l_2 = \frac{kV^2}{2g\varphi} \text{ [м]}, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий эксплуатационное состояние тормозной системы автомобиля,  $l_3$  [м] – зазор безопасности (5–10);  $V$  [м/с] – начальная скорость движения,  $g$  [м/с<sup>2</sup>] – ускорение свободного падения,  $\varphi$  – коэффициент сцепления (при сдаче дороги в эксплуатацию – 0,4; в процессе эксплуатации в среднем – 0,35).

Используя формулу (1) и подставляя соответствующие значения из формул (2,3 и 4), имеем следующее:

$$N_n = \frac{3600 \times V}{l_0 + Vt + \frac{kV^2}{2g\varphi} + l_3} \left[ \text{авт/час} \right]$$

$$N_n = \frac{3600 \cdot 16,6}{5 + 16,6 \cdot 1 + \frac{1 \cdot 16,6^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,35} + 5} = 896 \left[ \text{авт/час} \right].$$

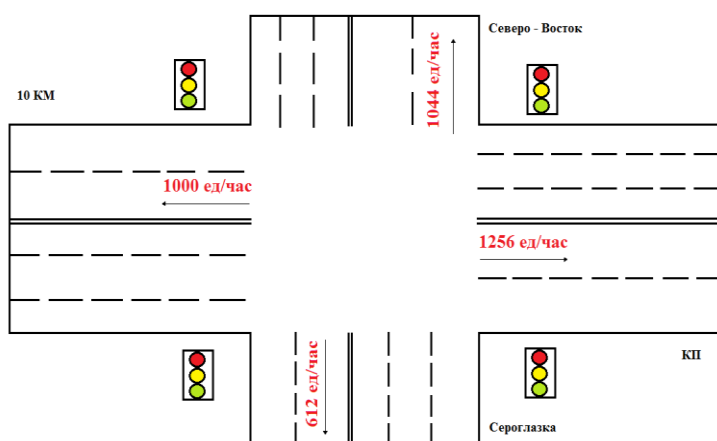


Рис. 2. Пересечение улицы Лукашевского и проспекта 50 лет Октября

Из вышеуказанных расчетов получили, что пропускная способность одной полосы проезжей части составляет 896 автомобилей в час.

На рис. 2 представлен перекресток улицы Лукашевского и проспекта 50 лет Октября. Из рис. 2 видно, что пропускная способность полос на перекрестке, рассчитанная с использованием статистических данных, превышает норму, вследствие чего образуются «пробки».

Для разгрузки данного перекрестка мы предлагаем использовать АСУ ДД «Умный светофор», которая поможет сделать движение

на дороге более эффективным и безопасным. Принцип работы данной системы заключается в том, что детекторы трафика собирают данные о транспорте, пересекающем контролируемую зону, и регистрируют количество пересекающих транспортных средств в единицу времени. В соответствии с данными полученными от детектора, диспетчер ГИБДД регулирует длительность тактов переключения световых сигналов светофоров.

Для обеспечения безопасности на проезжей части возможно установление датчика состояния дорожного полотна, который определяет температуру поверхности асфальтового покрытия.

Дорожный датчик находится на одном уровне с дорогой, вычисляет температуру замерзания путем активного охлаждения и нагрева поверхности датчика. Может входить в комплекс дорожной станции АСУ ДД.

### Литература

1. Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. шестой междунар. конф. / СПб. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2004. – 400 с.
2. Горлов Ю.Г. Имитационное моделирование дорожного движения по транспортной сети промышленного центра // Современная миссия технических университетов в развитии инновационных территорий: Материалы НТС. – Варна, 2004. – С. 125–135.
3. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1999.
4. Ганжа О.А., Косицына Э.С. Особенности формирования шумового режима городских транспортных пересечений / О.А. Ганжа, Э.С. Косицына // Интернет-вестник ВолгГАСУ. – 2007.

УДК [519.6+004.032.26]:551.510.413.5

## АППРОКСИМАЦИЯ И АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ИОНОСФЕРЫ $f_oF_2$ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И КОЛЛЕКТИВОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ю.А. Полозов, О.В. Мандрикова

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
Паратунка, Камчатский край  
Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский)*

В работе предложен способ аппроксимации и анализа временного хода ионосферных параметров, основанный на кратномасштабных вейвлет-разложениях и коллективах нейронных сетей. С его помощью выполнены аппроксимация и анализ данных критической частоты ионосферы  $f_oF_2$ , полученных на обсерватории «Паратунка» (ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край). Применение коллективов нейронных сетей и отдельных сетей для анализа различных компонент временных рядов ионосферных параметров показало их эффективность. Оценка ошибок аппроксимации ионосферных данных позволила выделить аномальные особенности, возникающие в периоды повышенной сейсмической и геомагнитной активности на Камчатке.

### Введение

Предметом исследований являются регистрируемые временные ряды критической частоты ионосферы  $f_oF_2$ . Регистрируемые ряды имеют сложную структуру, содержат суточные и сезонные изменения, а также различные аномальные возмущения, возникающие в результате природного и техногенного воздействия [1–5]. Данные аномалии могут возникать в периоды повышенной солнечной и сейсмической активности [2–5].

В виду сложной структуры временного ряда  $f_oF_2$  его изучение с помощью традиционных методов анализа временных рядов неэффективно [2]. В работе предлагается способ его аппроксимации и анализа, основанный на применении кратномасштабных вейвлет-разложений [6] и нейронных сетей и их коллективов [7]. Применение вейвлет-преобразования показало свою эффективность при обработке и анализе сложных временных рядов, в том числе ионосферных параметров [3, 8]. Получаемые в результате вейвлет-разложений компоненты обладают сложной нелинейной структурой. Для их анализа в работе предлагается использовать аппарат нейронных сетей [4, 7]. В продолжение работ авторов [4, 9, 10] в настоящей статье предложено объединять

нейронные сети в коллективы для построения аппроксимации компонент временного хода данных f<sub>0</sub>F2. Описаны вычислительные решения по формированию нейронных сетей и их объединению в коллективы. Приведено сравнение качества работы коллективов нейронных сетей и отдельных нейронных сетей для различных компонент. Анализ полученных результатов показал, что аномалии во временном ходе ионосферных параметров могут наблюдаться накануне и в моменты сильных землетрясений на Камчатке, а также в периоды повышенной солнечной и геомагнитной активностей.

### Описание способа

1. *Представление данных на основе кратномасштабных вейвлет-разложений.* На основе кратномасштабных вейвлет-разложений до 3-го масштабного уровня получаем следующее представление ионосферных данных [2]

$$f_0(t) = \sum_{j=-1}^{-3} g(2^j t) + f(2^{-3} t), \quad (1)$$

где  $g(2^j t) \in W_j, f(2^{-3} t) \in V_{-3}$ ,  $W_j$  – пространство с разрешением  $j$ , порожденное вейвлетом  $\Psi_{j,n}(t) = 2^{j/2} \Psi(2^j t - n)$ ; компоненты  $g(2^j t) = \sum_n d_{j,n} \Psi_{j,n}(t)$ , где  $d_{j,n} = \langle f, \Psi_{j,n} \rangle$ , являются детализирующими компонентами; сглаженная компонента  $f(2^{-3} t) = \sum_k c_{-3,k} \phi_{-3,k}(t)$ , где  $c_{-3,k} = \langle f, \phi_{-3,k} \rangle$ ,  $\phi_{-3,k}(t) = 2^{-3/2} \phi(2^{-3} t - k)$  – скейлинг-функция, порождающая пространство  $V_{-3}$ .

В соотношении (1) предполагается, что исходное разрешение данных  $j=0$ . Масштабный уровень разложения ( $-j=3$ ) определялся путем минимизации апостериорного риска [11] и основывался на результатах работ [3, 4].

2. *Алгоритм формирования отдельной нейронной сети.* Сформируем нейронную сеть для сглаженной компоненты вейвлет-разложения.

1. Выполняем вейвлет-восстановление компоненты  $f(2^{-3} t)$  до исходного разрешения и получаем ее представление в виде [6]:

$$f(t) = \sum_k c_{0,k} \phi_{0,k}(t).$$

2. Для исключения влияния краевого эффекта, возникающего при вейвлет-обработке, у восстановленного набора данных удаляем первые и последние  $2^{-j} * q$  отсчетов (размер окрестности, содержащей краевой эффект, на масштабном уровне ( $-j$ ) определяется по формуле  $h_j = 2^{-j} * q$ , где  $q$  – размер носителя используемого вейвлета).

3. Полученный массив данных  $\{c_{0,k}\}_{k=1}^K$ , где  $K$  – число элементов массива, делим на блоки:  $\{c_{0,k}\}_{k=1}^Q, \{c_{0,k}\}_{k=2}^{Q+1}, \dots, \{c_{0,k}\}_{k=K-Q}^K$ . Длина блока  $Q=24$ , определялась в соответствии с суточным ходом часовых данных f<sub>0</sub>F2.

4. Используя полученные блоки данных, формируем *сеть переменной структуры* (алгоритм обучения и формирования *сети переменной структуры* описан в работе [10]). В качестве критерия качества обучения сети используем следующий критерий:

$$E_A = \left( \frac{1}{I} \sqrt{\sum_{i=1}^I e_{A,i}^2(l)} \right) < \varepsilon_A,$$

где  $\varepsilon_A > 0$  – наперед заданное маленькое значение,  $e_{A,i}(l) = \widehat{d}_{0,l}^i - c_{0,l}^i$  – ошибка решения в дискретный момент времени  $l$  с шагом упреждения  $i$ ,  $c_{0,l}^i$  – желаемое,  $\widehat{d}_{0,l}^i$  – действительное выходное значение сети,  $I$  – длина выходного вектора сети.

3. *Алгоритм формирования коллектива нейронных сетей.* Сформируем коллектив нейронных сетей для детализирующей компоненты вейвлет-разложения.



1. Выполняем вейвлет-восстановление компоненты  $g(2^j t)$  до исходного разрешения и получаем ее представление в виде [6]:

$$g_0^j(t) = \sum_n d_{0,n}^j \Psi_{0,n}(t),$$

где верхний индекс  $j$  обозначает разрешение компоненты до ее восстановления.

2. Для исключения влияния краевого эффекта у восстановленного набора данных удаляем первые и последние  $2^{-j} * q$  отсчетов.

3. Полученный массив данных  $\{d_{0,n}^j\}_{n=1}^N$ , где  $N$  – число элементов массива, делим на блоки:  $D^m = \left\{ \{d_{0,n}^j\}_{n=m}^{23+m}, \{d_{0,n}^j\}_{n=24+m}^{24+(23+m)}, \dots, \{d_{0,n}^j\}_{n=S+m}^{S+(23+m)} \right\}_{m=1,24}$ ,  $m$  – номер нейронной сети,  $S = N - 48$ .

4. Используя полученные блоки  $D^m, m = \overline{1,24}$ , формируем 24 *сети переменной структуры* [10]. В качестве критерия качества обучения каждой сети используем следующий критерий:

$$E_D = \left( \frac{1}{I} \sqrt{\sum_{i=1}^I e_{D,i}^2(l)} \right) < \varepsilon_D,$$

где  $\varepsilon_D > 0$  – наперед заданное маленькое значение,  $e_{D,i}(l) = \widehat{d}_{0,i}^{j,i} - d_{0,i}^{j,i}$  – ошибка сети в дискретный момент времени  $l$  с шагом упреждения  $i$ ,  $d_{0,i}^{j,i}$  – желаемое,  $\widehat{d}_{0,i}^{j,i}$  – действительное выходное значение сети,  $I$  – длина выходного вектора сети. Сформированные сети объединяем в коллектив.

5. Из выходных векторов полученного коллектива нейронных сетей формируем матрицу размерности  $(I \times M)$ , содержащую  $I$  – строк (номер строки  $i$  – номер выходного значения нейронной сети) и  $M$  – столбцов (номер столбца  $m$  – номер нейронной сети). В нашем случае число столбцов  $M = 24$ . Каждый столбец полученной матрицы определяет вектор выходных значений  $m$ -й нейронной сети коллектива. Каждая строка полученной матрицы определяет вектор упрежденных с шагом  $i$  часовых значений критической частоты ионосферы за сутки.

### Результаты экспериментов

В экспериментах использовались часовые данные критической частоты ионосферного слоя F2 за период с 1968 по 2010 гг., полученные автоматической ионосферной станцией «Паратунка» (п-ов Камчатка, ИКИР ДВО РАН). Для анализа геомагнитной активности, характеризующей степень активности Солнца, использовались данные Н-компоненты геомагнитного поля. Для анализа сейсмической активности использовались данные сейсмического каталога п-ова Камчатка (регистрацию данных выполняет Камчатский филиал геофизической службы РАН). Учитывая физическую природу процесса, временные ряды  $f_0F2$  разбивались на сезоны (весна, зима, лето, осень). Пропуски в данных заполнялись медианными значениями. Следуя результатам работы [3], в качестве базисных вейвлетов использовался класс ортогональных вейвлетов Добеши 3-го порядка. При обучении нейронных сетей использовались данные за сейсмически спокойные периоды времени.

На основе предложенных в п. 2, 3 алгоритмов были сформированы отдельные нейронные сети и коллективы нейронных сетей. Архитектура сетей представлена на рис.1. Шаг упреждения

данных критической частоты равен одному часу. Результаты работы отдельных нейронных сетей и коллективов нейронных сетей показаны на рис. 2, 3. Анализ рис. 2 и 3 показывает, что при аппроксимации сглаженной компоненты качество работы отдельной нейронной сети выше. При использовании коллектива нейронных сетей ошибка аппроксимации может возрасти на порядок (рис. 2). При аппроксимации детализирующей компоненты  $g(2^{-3}t)$  ряда  $f_0F2$  наблюдается обратная ситуация. Коллектив нейронных сетей показывает качество аппроксимации компоненты

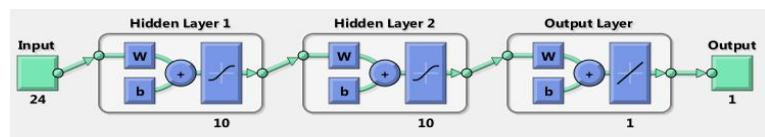


Рис. 1. Архитектура нейронной сети

данных критической частоты равен одному часу. Результаты работы отдельных нейронных сетей и коллективов нейронных сетей показаны на рис. 2, 3. Анализ рис. 2 и 3 показывает, что при аппроксимации сглаженной компоненты качество работы отдельной нейронной сети выше. При использовании коллектива нейронных сетей ошибка аппроксимации может возрасти на порядок (рис. 2). При аппроксимации детализирующей компоненты  $g(2^{-3}t)$  ряда  $f_0F2$  наблюдается обратная ситуация. Коллектив нейронных сетей показывает качество аппроксимации компоненты

на порядок выше, чем при использовании отдельных нейронных сетей (рис. 2, 3). Анализ результатов обработки детализирующей компоненты  $g(2^{-2}t)$  показывает приблизительно одинаковый уровень ошибки аппроксимации для обоих алгоритмов (рис. 2, 3).

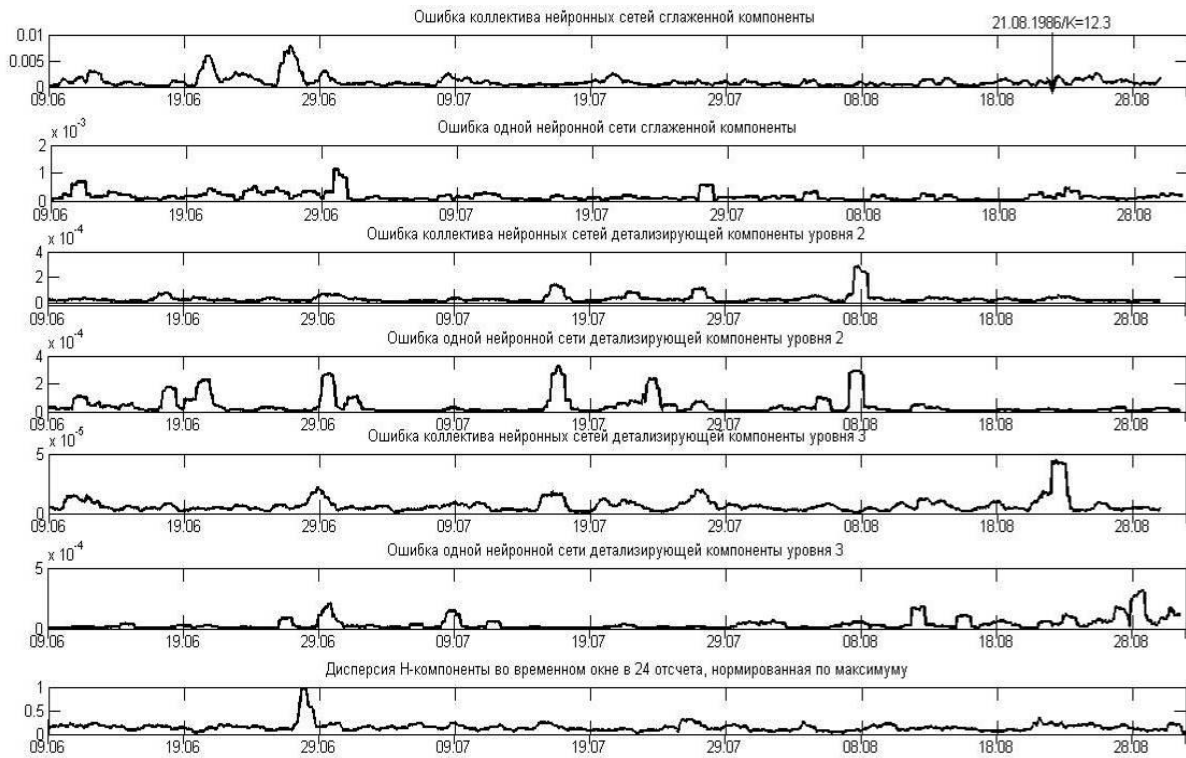


Рис. 2. Результаты работы нейронной сети и коллектива нейронных сетей по аппроксимации компоненты  $f_0F2$  за период 09.06–30.08.1986 г. Моменты возникновения сильных землетрясений на Камчатке отмечены стрелками

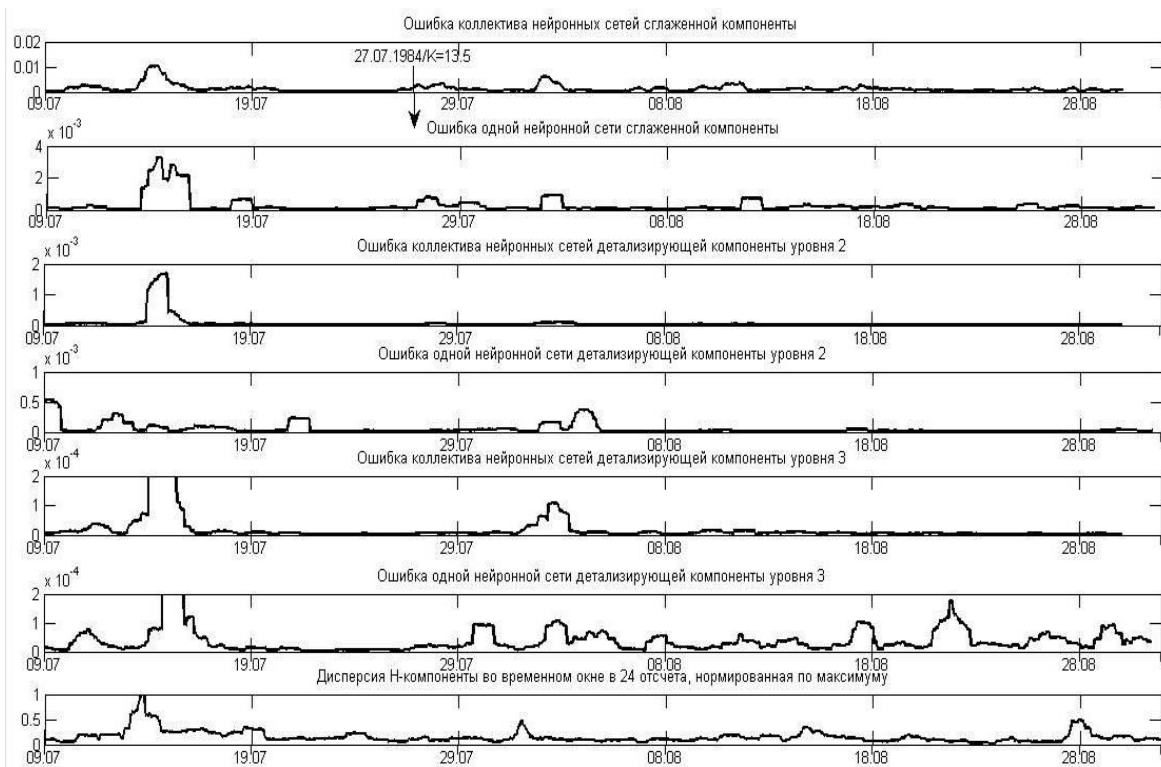


Рис. 3. Результаты работы нейронной сети и коллектива нейронных сетей по аппроксимации компоненты  $f_0F2$  за период 09.07–30.08.1984 г. Моменты возникновения сильных землетрясений на Камчатке отмечены стрелками

Результаты обработки данных  $f_oF2$  показывают наличие аномалий, которые могут возникать в результате геомагнитной или сейсмической активности. В период 27–28 июня 1986 г. наблюдается магнитная буря, которая нашла отражение в поведении ионосферы на различных масштабных уровнях (рис. 2). В период 13–14 июля 1984 г. произошла магнитная буря, через 2 недели после которой произошло сейсмическое событие с энергией  $K = 13,5$ . Геомагнитное возмущение и, возможно, подготовка землетрясения отразились в ионосфере в виде аномального поведения на анализируемых масштабных уровнях.

### Выводы

На основе предложенного в работе способа аппроксимации временного хода ионосферных параметров выполнен анализ данных критической частоты ионосферы над Камчаткой и выделены разномасштабные аномалии, возникающие в периоды ионосферных возмущений. Проведенное сравнение качества аппроксимации компонент временного ряда показало различную эффективность предложенных алгоритмов. Выделяемые аномалии могут возникать накануне и в моменты повышенной солнечной и геомагнитной активности.

Работа поддержана грантом стипендии Президента Российской Федерации СП-2976.2013.5.

Данные сейсмического каталога любезно предоставлены Камчатским филиалом геофизической службы РАН (г. Петропавловск-Камчатский).

### Литература

1. Дёмин М.Г. Ионосфера Земли. Плазменная гелиогеофизика. – М.: Физматлит, 2008. – Т. II. – С. 92–163.
2. Мандрикова О.В., Глушкова Н.В., Полозов Ю.А. Алгоритмы выделения и анализа аномалий в параметрах критической частоты ионосферы  $f_oF2$  на основе совмещения вейвлет-преобразования и авторегрессионных моделей // Цифровая обработка сигналов. – М.: РНТОРЭС. – 2013. – № 1. – С. 47–53.
3. Мандрикова О.В., Полозов Ю.А. Критерии выбора вейвлет-функции в задачах аппроксимации природных временных рядов сложной структуры // Информационные технологии. – М., 2012. – № 1. – С. 31–36.
4. Полозов Ю.А. Метод формирования обучающего множества для нейронной сети на основе вейвлет-фильтрации // Известия вузов, Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. – Ростов н/Д., 2010. – № 3. – С. 12–16.
5. Липеровская Е.В., Липеровский В.А., Похотелов О.А. О возмущениях в F-области ионосферы перед землетрясениями // Геофизические исследования. – 2006. – № 6. – С. 51–58.
6. Mallat S. A Wavelet tour of signal processing [Пер. с англ.]. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
7. Haykin S. Neural networks [Пер. с англ.] – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
8. Liming H.E., Lixin W.U., Shanjun L.I.U., Baodong M.A. Seismo-ionospheric anomalies detection based on integrated wavelet // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International. 24–29 July 2011. – 2011. – P. 1834–1837. – doi 10.1109/IGARSS.2011.6049479.
9. Mandrikova O.V., Polozov Yu.A., Bogdanov V.V., Zhizhikina E.A. Method of detection of abnormal features in ionosphere critical frequency data on the basis of wavelet transformation and neural networks combination // A Journal of Software Engineering and Applications. – 2012. – V. 5, № 12B. – P. 181–187. – doi:10.4236/jsea.2012.512b035. – Published Online December 2012.
10. Мандрикова О.В., Полозов Ю.А. Метод выделения аномальных особенностей в данных критической частоты ионосферы на основе совмещения вейвлет-преобразования и нейронных сетей // Цифровая обработка сигналов. – М.: РНТОРЭС. – 2012. – № 2. – С. 29–35.
11. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – Изд. 2-е. – М.: Сов. радио, 1975. – 392 с.

## БЕСПРОВОДНЫЕ САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

Е.А. Пустохайлова, В.Д. Семейкин

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань*

В статье рассматривается принципиально новый класс сетей – самоорганизующиеся сенсорные сети. Приведена классификация методов построения и варианты построения сенсорных сетей. Рассмотрены достоинства и недостатки основных топологий вида «Звезда» и «Каждый к каждому», и приведен пример их реализации.

### Введение

Прогресс в области беспроводной связи и миниатюризации микросхем открывает новые горизонты в информационно-телекоммуникационных технологиях. Следующим этапом развития телекоммуникационных сетей является реализация беспроводных самоорганизующихся сетей (БСС). Согласно сегодняшним прогнозам число беспроводных устройств к 2017–2020 гг. составит 7 трл на 7 млрд человек [1]. Существующие сегодня сети были построены для обслуживания нескольких млрд человек, но никак не нескольких трл устройств. В мире уже несколько лет ведутся исследования, направленные на создание принципиально новых, по сравнению с существующими сетями, сетей – самоорганизующихся сетей, которые, в отличие от традиционных сетей связи, не имеют конкретной инфраструктуры на протяжении относительно длительного промежутка времени.

Самоорганизующейся называется сеть, в которой число узлов является случайной во времени величиной и может изменяться от 0 до некоторого значения  $N_{\max}$ . Взаимосвязи между узлами в такой сети также случайны во времени и образуются для выполнения сетью каких-либо задач или для передачи информации в сеть связи общего пользования или в другие сети. Каждый пользовательский терминал в самоорганизующейся сети строится в соответствии с определенной архитектурой, в которую в качестве основных элементов входят: само сенсорное устройство, процессор, память, антенна, радиочастотный приемопередатчик, источник питания.

### Основные требования к самоорганизующимся сенсорным сетям

Основные требования к самоорганизующимся сенсорным сетям (ССС) могут быть сформулированы следующим образом:

– Объединение большого числа сенсоров в сеть, количество сенсоров в сети может быть несколько десятков тысяч. В связи с этим важным аспектом эффективного функционирования такой сети является ее масштабируемость.

– Низкое потребление энергии, так как существенная часть сценариев развертывания СССР подразумевает нахождение сенсоров в труднодоступных местах, их обслуживание, в частности смена источников питания, может стать невыполнимой задачей. Поэтому время жизни сенсора часто ограничено временем жизни источника питания – задача снижения потребления энергии очень важна, эффективность ее решения прямо влияет на эффективность и стоимость оборудования СССР.

– Самоорганизация сенсорной сети. Развертывание сенсорной сети существенно отличается от развертывания традиционных сетей. Часто сенсоры распределяются на заданной территории случайным образом. Распределение сенсоров должно самоорганизоваться в некую сеть, при этом участие извне, например администратора сети, невозможно. Самоорганизация сенсорной сети должна быть динамической – выход из строя элементов сети по причине, например, их физического уничтожения или разряда источников питания, должен определяться оперативно, иначе функционирование СССР будет под угрозой.

Стандартизацией самоорганизующихся сенсорных сетей занимается рабочая группа IEEE 802.15.6 [2]. Необходимо отметить, что до появления концепции *u*-общества сенсорные сети назывались WSN (Wireless Sensor Networks – беспроводные сенсорные сети), однако сего-

дня общепринятой стала аббревиатура USN (Ubiquitous Sensor Networks – всепроникающие сенсорные сети) [1, 3], во многом благодаря стандартам и проектам стандартов Международного союза электросвязи.

Последние несколько лет стали решающими для развития сенсорных сетей – появились технологии, позволяющие производить сенсоры малого размера, оснащенные достаточной процессорной мощностью и памятью. Оптимизация различных алгоритмов и протоколов маршрутизации и архитектурных решений аппаратной части сенсора позволило существенно снизить потребление энергии и добиться непрерывного функционирования сенсора без смены источника питания до более 1–2 лет. Общая архитектура сенсора и классы приложений сенсорных сетей рассмотрены в [4]. Немаловажным фактором успеха сенсорных сетей на широком рынке является их стоимость.

### Методы построения самоорганизующихся сенсорных сетей

Построение надежных и эффективных самоорганизующихся сенсорных сетей является достаточно сложной задачей и будет компромиссным решением ряда ключевых задач, непосредственно связанных с основополагающими принципами их функционирования. Из наиболее важных задач необходимо отметить следующие [4]:

1. Устойчивость при неисправности. Сенсор или группа сенсоров ССС может выйти из строя по истечении срока жизни батареи или в связи с физическим уничтожением. Это не должно повлиять на работу сенсорной сети – она должна продолжать функционировать с высокой вероятностью и предоставлять необходимые данные. Адаптивные протоколы маршрутизации и адаптивные алгоритмы управления силой сигнала должны обеспечивать быструю адаптацию к новой физической топологии. В настоящее время разработано большое количество специальных протоколов маршрутизации для сенсорных сетей.

2. Масштабируемость. В ближайшем будущем прогнозируется необходимость в сенсорных сетях, состоящих из тыс. и сотен тыс. сенсоров. Существенное повышение количества сенсоров в сети может привести к перегрузке маршрутных таблиц, блокировке сенсоров и выходу ССС из строя.

3. Топология. Изменение топологии сенсорной сети может быть вызвано следующими причинами: введением нового сенсора в существующую сеть; выход из строя сенсоров в сенсорной сети; а также в случае, когда сенсоры или узлы ССС передвигаются, т.е. являются мобильными.

4. Ограничения аппаратного обеспечения. Малый размер сенсора является одним из важнейших требований для широкого коммерческого использования, так как в первую очередь будут востребованы встраиваемые и имплантируемые сенсоры. Уменьшение размера и веса аппаратной части сенсоров увеличит количество потенциальных приложений ССС.

5. Беспроводной интерфейс. В многошаговых (multihop) сенсорных сетях для передачи информации сенсоры могут использовать различные беспроводные технологии. Для эффективного функционирования ССС необходима стандартизованная беспроводная технология со специфическими характеристиками, что будет рассмотрено отдельно.

6. Потребление энергии. Сенсор в силу своих малых размеров может иметь только ограниченный источник питания. В определенных приложениях (военных) сенсор является необслуживаемым устройством, замена источника питания не представляется возможным. Учитывая, что практически каждый сенсор выполняет функции как терминала, так и транзитного узла, увеличение срока действия источника питания является одной из приоритетных задач, которая решается не только увеличением срока жизни источника питания, но и путем эффективного его использования. Учитывая, что соотношение потребления энергии при «передаче : приеме : ждущем режиме : спящем режиме» представляется соотношением «13 : 9 : 7 : 1» [4], большое внимание уделяется снижению частоты передачи и приема информации и повышению частоты, когда сенсор находится в ждущем или спящем режиме. Эта задача достаточно сложная, так как при ее решении необходимо вносить изменения в протоколы и алгоритмы маршрутизации, вводить понятия «спящий узел» и «расписание перехода в спящий режим», когда узел сети не может быть использован в качестве транзитного узла.

Важное значение при разработке структуры самоорганизующихся сенсорных сетей имеет метод построения сети. Классификация методов построения ССС показана на рис. 1. Все методы построения можно разделить на две группы [5]:

– с одним главным узлом – используется, когда мощность передатчика сенсора достаточна для передачи сигнала базовой станции;

– с несколькими главными узлами. В этом случае некоторые узлы (главные) не только собирают информацию о наблюдаемом процессе, но и собирают информацию от других узлов.



Рис. 1. Классификация методов построения самоорганизующихся сенсорных сетей

Графическая интерпретация вариантов построения ССС приведена на рис. 2.

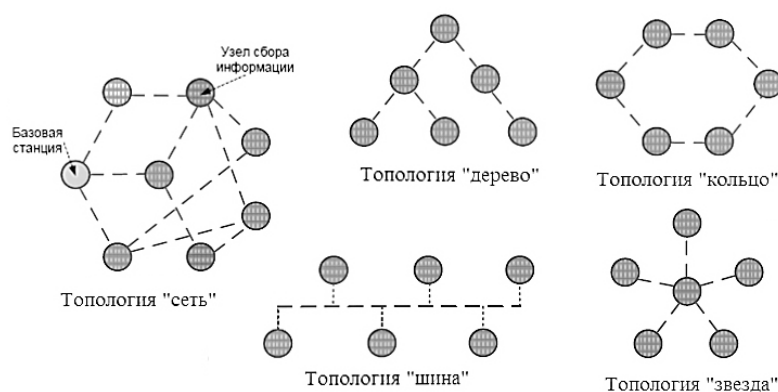


Рис. 2. Варианты построения самоорганизующихся сенсорных сетей

Каждый пользовательский терминал ССС должен иметь возможность функционировать и как оконечное устройство, и как транзитный узел, т.е. передача данных производится к ближайшему узлу, а не на базовую станцию, как в сетях с фиксированной инфраструктурой. Такие сети называют многошаговыми (multi-hop). Существуют также более сложные протоколы маршрутизации, когда следующий узел выбирается на основе анализа его характеристик (надежности, уровня энергии и т.п.).

Достоинства и недостатки самоорганизующихся сенсорных сетей в зависимости от способа построения представлены в таблице.

Достоинства и недостатки ССС в зависимости от способа их построения

Критерии сравнения	Сетевая топология с одним главным узлом	Сетевая топология с несколькими главными узлами
Надежность	Выход главного узла из строя приведет к неработоспособности всей сети	Выход из строя одного из главных узлов не приведет к неработоспособности сети, оставшиеся главные узлы настраиваются на новые маршруты передачи данных, и сеть выполняет необходимые операции
Стоимость	Необходимо мощное вычислительное устройство в главном узле. Более высокая стоимость	Простые вычислительные устройства в нескольких главных узлах. Меньшая стоимость.
Энергопотребление	Установка мощных приемо-передающих устройств на главном узле. Большой расход энергии	Установка маломощных приемо-передающих устройств в нескольких узлах, которые работают только в промежутки времени, необходимый для передачи информации. Экономия энергии
Масштабируемость	Усложняется из-за существования лимита приема-передачи информации по расстоянию главным узлом	Поддержка многих устройств. Добавление нового устройства в сеть происходит путем его включения без определения местоположения

Согласно стандарту IEEE 802.15.4 беспроводная сенсорная система может состоять из нескольких компонентов. Основными компонентами являются два типа устройств:

1. Устройства типа FFD (Full Function Device), которые могут выступать в качестве:
  - PAN-координатора (Personal Area Network coordinator). Это один из наиболее дорогих типов устройств, так как он должен содержать всю информацию о сетевых соединениях, иметь высокую производительность и большой объем памяти;
  - координатора, который может реализовать функции ретранслятора, моста, маршрутизатора и шлюза;
  - конечного устройства.
2. Устройства типа RFD (Reduced Function Device), которые могут выступать только в качестве конечного устройства, сообщаются только с FFD-устройствами, используются в простых приложениях, например, управление светом. RFD-устройствам не нужно передавать большой объем данных, и они могут связываться только с одним FFD-устройством в определенный момент времени. Причем в любой сети должно быть как минимум одно FFD-устройство, работающее в роли PAN-координатора. FFD-устройства могут сообщаться с RFD-устройствами или другими FFD-устройствами.

Выбираемый вид топологии сети зависит от требований приложения. Например, стандарт IEEE 802.15.4 в LR-WPAN сетях предусматривает применение двух топологий: топология «Звезда» и топология «Каждый к каждому». Пример реализации данных видов топологий приведен на рис. 3.

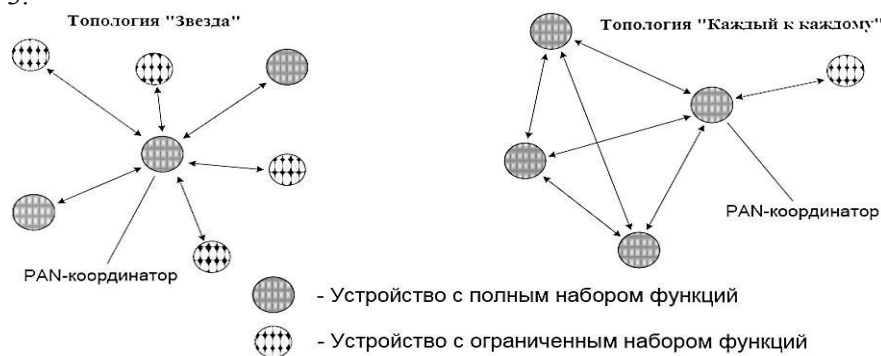


Рис. 3. Реализация топологий вида «Звезда» и «Каждый к каждому»

В топологии «Звезда» связь осуществляется между несколькими устройствами и единственным центральным PAN-координатором. Часто для питания PAN-координатора применяется постоянный источник питания, в то время как остальные узлы питаются от батареек. Данная топология используется для построения систем автоматического контроля, управления периферией домашних персональных компьютеров и др.

Топология «Каждый к каждому» отличается тем, что каждое устройство может общаться с другим устройством на таком расстоянии, на котором возможно произвести обмен при помощи приемопередающего устройства. Данный вид топологии дает возможность построить более сложные конфигурации сетей, может быть применен для построения систем производственного контроля и мониторинга, беспроводных сенсорных сетей. Топология «Каждый к каждому» может быть самоорганизующейся. Примером применения данного вида топологии может служить структура сети в виде кластерного дерева. В данном случае большое количество устройств являются устройствами с полным набором функций FFD, RFD присоединяются к сети как конечные устройства, так как они не позволяют связываться с ними другие RFD устройства. Любое же FFD устройство может работать как координатор и выполнять функции синхронизатора для других устройств. Лишь одно устройство может быть главным PAN-координатором. Оно должно иметь большие вычислительные ресурсы по сравнению с другими устройствами в сети. Главный PAN-координатор посылает сигналы запроса к соседним устройствам, формируя таким образом кластеры.

### Заключение

Рассмотрен принципиально новый класс сетей – самоорганизующихся сенсорных сетей, которые, в отличие от традиционных сетей связи, не имеют конкретной инфраструктуры на протя-

жении относительно длительного промежутка времени. Сформулированы основные требования к самоорганизующимся сенсорным сетям. Приведены классификация методов построения и варианты построения самоорганизующихся сенсорных сетей. Рассмотрены достоинства и недостатки двух основных сетевых топологий ССС. Приведен пример реализации топологий вида «Звезда» и «Каждый к каждому».

Построение надежных и эффективных самоорганизующихся сенсорных сетей является достаточно сложной задачей и будет компромиссным решением ряда ключевых задач, непосредственно связанных с основополагающими принципами их функционирования.

### Литература

1. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.
2. Писарев С., Сиверс М., Рыжков А., Лаврухин В. Сети стандарта IEEE 802.15.6 / С. Писарев [и др.] // Беспроводные технологии. – 2013. – № 2. – С. 4–7.
3. Recommendation Y.2221. Requirements for Support of Ubiquitous Sensor Networks (USN) Applications and Services in the NGN Environment. – 2010.
4. Кучерявый Е.А. Беспроводные сенсорные сети и их роль в прогрессивном обществе XXI века / Е.А. Кучерявый // Информационные телекоммуникационные сети. – 2006. – С. 36–45.
5. Смурыгин И.М. Концепция организации беспроводных сенсорных сетей и их применение / И.М. Смурыгин // Электронный журнал «Молодежный научно-технический вестник». – Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 9.

УДК 681.51:621.313.2

## УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

**И.Ю. Селяков, А.В. Кайченев, А.В. Власов**

*Мурманский государственный технический университет,  
Мурманск*

В статье описаны особенности лабораторного стенда «Автоматическая система регулирования (АСР) частоты вращения двигателя постоянного тока (ДПТ)».

Подготовка квалифицированных специалистов технических специальностей требует выполнения большого объема практических и лабораторных работ, позволяющих обучаемому закрепить на практике полученные теоретические знания. Наряду с промышленным оборудованием важную роль в процессе усвоения материала играют учебно-лабораторные стенды. Они моделируют поведение оригинальных объектов производства в той или иной форме, при этом обладая в общем случае большим спектром настроек, гибкостью, меньшей стоимостью, массой и габаритами.

На кафедре Автоматики и вычислительной техники (АиВТ) Мурманского государственного технического университета в 2012 г. создан новый учебно-лабораторный стенд «АСР частоты вращения двигателя постоянного тока» [1]. Данное изделие является базой для проведения целой серии лабораторных работ по дисциплине «Теория автоматического управления».

Лабораторный стенд (рис. 1) содержит в своем составе объект управления – двигатель постоянного тока, к валу которого присоединены генератор (возмущающее воздействие F), и тахогенератор, выполняющий функции чувствительного элемента в системе управления. В качестве регулятора используется типовой ПИД-регулятор на операционном усилителе с независимыми настройками. Выходной сигнал регулятора поступает на блок моделирования инерционности,



в котором изменяется постоянная времени объекта управления. Далее сигнал усиливается при помощи усилителя мощности на базе биполярных транзисторов и поступает на вход объекта управления.

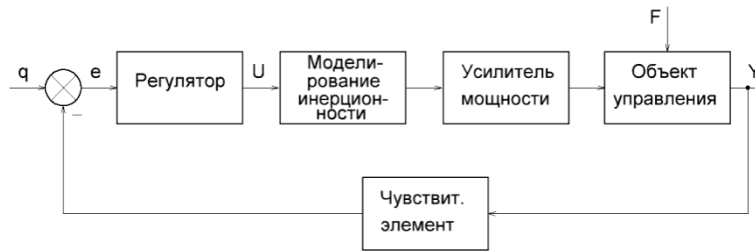


Рис. 1. Функциональная схема АСП частоты вращения двигателя постоянного тока:  
 $q$  – задающее воздействие;  $e$  – ошибка управления;  $U$  – управляющее воздействие;  
 $Y$  – регулируемый параметр;  $F$  – возмущающее воздействие

### Особенности лабораторного стенда

Значительную часть схемы занимает регулятор со своими настройками. В стенде имеется переключатель, позволяющий выбрать режим изменения коэффициентов регулятора – дискретный или непрерывный.

В учебно-лабораторном стенде предусмотрена возможность включения корректирующего устройства в контур управления, а также подключение адаптивной системы управления вместо штатного регулятора.

В лабораторном стенде возмущающее воздействие (нагрузка) создается при помощи источника тока, поэтому величина момента сопротивления не зависит от частоты вращения приводного двигателя, что позволяет корректно производить настройку регулятора.

Электрические машины QX-RS-385-2073, выполняющие роль объекта управления, нагрузки и чувствительного элемента, размещены внутри стенда. В стенде имеется возможность минимизировать нелинейность характеристик двигателя постоянного тока за счет включения местной обратной связи.

В состав стенда также входит плата аналогово-дискретного ввода-вывода УВВ-1, разработанная студентами в рамках выпускной квалификационной работы. Она обеспечивает регистрацию требуемых сигналов (заданного значения, величины нагрузки, управляющего воздействия и сигнала обратной связи, с частотой 100 Гц на канал) и передачу их на персональный компьютер посредством интерфейсов USB или RS-232C. Также предусмотрена выдача дискретных сигналов уставки и задающего воздействия под управлением персонального компьютера.

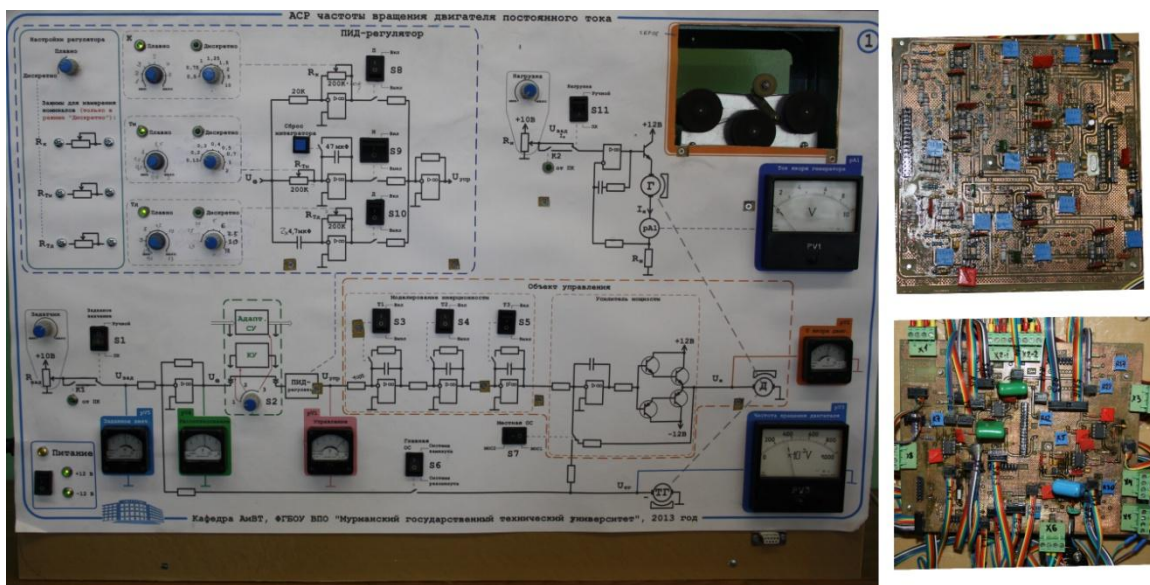


Рис. 2. Внешний вид лабораторного стенда и печатных плат управления и УВВ1

В рамках выпускной квалификационной работы студентов кафедры также созданы программные средства, обеспечивающие обмен данными с учебно-лабораторным стендом, построение графиков, загрузку и сохранение экспериментальных данных, вывод информации на печать [2–4]. Применение модернизированного учебно-лабораторного стенда «АСР частоты вращения ДПТ» позволит поднять на более высокий уровень проведение лабораторных работ по дисциплине «Теория автоматического управления», а значит, в конечном счете, повысить уровень выпускников технических специальностей.

### Литература

1. Исследование динамических свойств АСР [Электронный ресурс]: Метод. указания к выполнению лаборатор. работ по курсу «Теория автомат. упр.» для специальности 210200 «Автоматизация технол. процессов и пр-в» / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Федер. агентство по рыболовству, Мурман. гос. техн. ун-т, Каф. автомат. и вычисл. техники; сост. А.А. Маслов, В.В. Яценко. – Электрон. текстовые дан. (1 файл : 435 Кб). – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2004.
2. DataView 2.0: Управление стендом «АСР частоты вращения двигателя постоянного тока». Модуль отображения: свид-во об офиц. рег. прог. для ЭВМ 2013661346 Рос. Федерация / Власов А.В., Власова А.Р., Кайченев А.В., Маслов А.А., Селяков И.Ю.; правообладатель ФГБОУ ВПО Мурманский гос. техн. ун-т. – № 2013619059; зарег. 05.12.2013.
3. DataView 2.0: Управление стендом «АСР частоты вращения двигателя постоянного тока». Модуль совместного отображения: свид-во об офиц. рег. прог. для ЭВМ 2013661345 Рос. Федерация / Власов А.В., Власова А.Р., Кайченев А.В., Маслов А.А., Селяков И.Ю.; правообладатель ФГБОУ ВПО Мурманский гос. техн. ун-т. – № 2013619057; зарег. 05.12.2013.
4. DataView 2.0: Управление стендом «АСР частоты вращения двигателя постоянного тока». Модуль связи с объектом: свид-во об офиц. рег. прог. для ЭВМ 2013661332 Рос. Федерация / Власов А.В., Власова А.Р., Кайченев А.В., Маслов А.А., Селяков И.Ю.; правообладатель ФГБОУ ВПО Мурманский гос. техн. ун-т. – № 2013618990 ; зарег. 05.12.2013.

УДК 004.056

## БЕЗОПАСНОСТЬ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

**Н.К. Шангитбаев, Г.А. Шангытбаева**

*Западно-Казахстанский инженерный гуманитарный университет,  
Актобе, Казахстан*

В данной статье рассмотрены основные проблемы, образующиеся при обеспечении информационной безопасности при облачных вычислениях. Показаны основные достоинства и основные риски информационной безопасности при использовании облачных вычислений, а также процессы, обеспечивающие надежность информационных ресурсов.

Расположение в «облаке» является самой молодой моделью размещения приложений. Несмотря на это, концепция облачных вычислений очень быстро развивается и является на сегодняшний день очень популярной в сфере информационных технологий [1–3].

Под облаком принято понимать единый с точки зрения клиента виртуальный сетевой узел, реализующий вычислительные службы (один или несколько серверов), который физически может представлять собой географически распределенную совокупность взаимосвязанных аппаратных узлов компьютерной сети. В дальнейшем под поставщиком подразумевается организация, предоставляющая услуги облачных вычислений, под потребителем – организация или физическое лицо, приобретающее такие услуги, а под пользователем – физическое лицо (сотрудник, партнер, гипотетический субъект – аппаратный или программный модуль), непосредственно использующее услуги, предоставленные поставщиком потребителю. При этом регулирование организации безопасности облачных вычислений и данных осуществляется на

основании договора о предоставлении услуг (SLA – Service Line Agreement), заключаемого между поставщиком и потребителем. В зависимости от вида предоставляемых услуг варьируется и распределение ответственности поставщика и потребителя в вопросах обеспечения безопасности вычислений.

По оценкам аналитиков облачные сервисы являются приоритетным направлением для организаций, так как они позволяют снизить затраты на инфраструктуру, уменьшить время администрирования и минимизировать расходы за счет технологии виртуализации.

Рассмотрим основные достоинства облачных вычислений с точки зрения обеспечения информационной безопасности.

– *Снижение затрат.* При росте масштабов вычислительных систем любые меры по обеспечению безопасности обходятся дешевле в расчете на одного пользователя. Концентрация ресурсов позволяет снизить как начальные, так и текущие расходы на защиту информации.

– *Оптимизация структуры инвестиций.* Облачные вычисления позволяют оптимизировать два ключевых показателя экономической эффективности информационной инфраструктуры. Возврат инвестиций в инфраструктуру (return of investments, ROI) легко планируется и начинается с момента использования облачных служб. Начальные инвестиции снижаются, потребители платят только за действительно необходимые и заказанные используемые ресурсы, службы и функции. Дополнительные и внеплановые инвестиции со стороны потребителя исключены, поскольку, в случае возникновения сбоев служб, ответственность несет поставщик. Совокупная стоимость потребления (total cost of ownership, TCO) во многих случаях существенно ниже, чем при организации собственных центров обработки данных. Затраты на содержание, сопровождение, минимизацию рисков, сервисное обслуживание и масштабирование, обслуживающий персонал и сопутствующие расходы включены в абонентскую плату. Наибольший эффект от оптимизации структуры инвестиций могут получить предприятия малого и среднего бизнеса. Компании, для которых эксплуатация IT-инфраструктуры не связана с основным направлением деятельности, могут избежать вложений в непрофильные активы.

– *Повышение защищенности данных и перенос ответственности.* Предоставление услуг облачных вычислений подразумевает высоконадежное хранение и резервирование данных, функции быстрого восстановления в случае отказа, сертифицированное шифрование данных при хранении и при пересылке между поставщиком и пользователями. При надлежащем обеспечении всех перечисленных условий поставщиком хранение данных в облаке, можно сравнить с арендой банковского сейфа. Ответственность за обеспечение информационной безопасности на соответствующих уровнях переносится с потребителя на поставщика.

При предоставлении системных ресурсов от поставщика потребителю в виде услуги возникает ряд организационных рисков, которые необходимо учитывать при использовании облачных вычислений. Рассмотрим основные виды таких рисков.

– *Зависимость от поставщика услуг.* Отсутствие общепринятых стандартов может поставить потребителя в зависимость от поставщика услуг. Необходимым условием минимизации этого риска является разработка, верификация и сопровождение концепции миграции данных и приложений к альтернативному поставщику.

– *Невозможность соблюдения вновь возникающих требований.* Развитие бизнеса потребителя услуг может породить новые требования к системе вычислений, которые не могут быть соблюдены при работе с имеющимся поставщиком. Для минимизации этого риска потребителю необходимо заблаговременно разработать и внедрить производственные процессы отслеживания, оценки и планирования реализации новых свойств и функций вычислительных процессов (release management).

– *Ограничение контроля над используемыми службами.* Используя услуги облачных вычислений, потребитель обладает не только ограниченной ответственностью за информационную безопасность, но и ограниченным контролем над эксплуатируемыми службами. Степень ограничений определяется выбранной моделью облачной инфраструктуры и положениями договора (SLA) между поставщиками и потребителем.

Рассмотрев процесс формирования технологии, ее основные механизмы и элементы, а также проанализировав статистические сведения, связанные с числом нарушения конфиденциальности информации, хранимой в «облаках», сформулированы пять ключевых проблем, решение которых поможет повысить уровень безопасности технологии.

1. Доступ к интерфейсам управления и данным производится через глобальную сеть: системы удаленного доступа, обозреватели и браузеры имеют собственные существенные недостатки в сфере безопасности.

2. Сложна проверка пользователем процесса обработки собственной информации у провайдера, особенно при работе с большими массивами данных.

3. Запрос на удаление данных из «облака» не подразумевает их полного физического уничтожения, что представляет большие риски для пользователя, чем при работе с собственным оборудованием.

4. Механизм перехода пользователя от одного провайдера к другому или на собственные ресурсы достаточно сложен, поэтому возникает зависимость пользователя от провайдера и технологии.

5. Имеется возможность несанкционированного доступа к информации со стороны злоумышленников.

В зависимости от архитектуры существующих приложений и технологий, на которых они реализованы, их перенос на облачную платформу может привести к получению ряда преимуществ, а может – к появлению дополнительных проблем, связанных, например, с обеспечением совместности или ограничениями реализации серверной платформы на уровне облака. Следует отметить, что переход в облако не является тривиальной задачей и часто требует пересмотра и изменения архитектуры существующих решений, а иногда – полного отказа от них в пользу создания новых, реализованных с учетом возможностей, предоставляемых облачными платформами.

### Литература

1. Беккер М.Я., Гатчин Ю.А., Кармановский Н.С., Терентьев А.О., Федоров Д.Ю. Информационная безопасность при облачных вычислениях: проблемы и перспективы // Научно-технический вестн. СПб гос. университета информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 1 (71).

2. Armbrust M., Fox A., Griffith R., Joseph A.D. etc. Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing. – Berkeley, 2009.

3. Archer J., Boehme A., Cullinane D., Kurtz P. etc. Security Guidance for Critical Areas of Focus // Cloud Computing. – 2009. – V. 2.1. – NY.

УДК 681.51:658

## СОВРЕМЕННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Г.А. Шангытбаева

*Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан*

В статье рассматриваются современные автоматизированные системы управления предприятием и дается подробный обзор ERP-систем, с описанием их достоинств и недостатков, а также подробно расписаны способы защиты корпоративных данных, хранимых в облаке. Дается определение ERP-системам, их преимущество, и описаны проблемы корпоративной безопасности и способы их решения.

Содействие потокам информации между всеми хозяйственными подразделениями (бизнес-функциями) внутри предприятия и информационная поддержка связей с другими предприятиями стала актуальной темой в Казахстане и других странах [1–6].

Современные автоматизированные системы управления предприятием можно разбить на 4 большие группы:

1. В первую из них войдут *простые (локальные) системы*, рассчитанные на автоматизацию малых предприятий. Они отличаются практически полным отсутствием поддержки параметров

предприятия и небольшой глубиной основных функций (коробочный продукт). Системы этой группы рассчитаны на выполнение ограниченного числа стандартных бизнес-процессов. Как правило, они работают на отдельном персональном компьютере или небольших сетях до 10 компьютеров. За рубежом этот класс систем часто называют Low-End PC.

2. *Малые интегрированные системы* (Middle-End PC) отличаются большой глубиной и широтой охвата функций. Они нуждаются в настройке, которую в большинстве случаев осуществляют специалисты фирмы-разработчика. В такой системе могут быть уже описаны десятки бизнес-процессов. Примером может служить система – ПАРУС.

3. *Средние интегрированные системы* (High-End PC) отличаются развитыми механизмами многочисленных настроек, сложными генераторами отчетов. Эти системы рассчитаны на работу до нескольких десятков пользователей и могут приниматься не только на малых, но и на средних предприятиях, не предъявляющих высоких требований к функциональности и гибкости систем управления. В системах этого класса можно встретить описание сотен бизнес-процессов. Примером таких систем являются – SCALA, ГАЛАКТИКА.

4. Высший уровень иерархии занимают системы, наделенные более глубокой функциональностью. Их современные версии обеспечивают планирование и управление всеми ресурсами предприятия и поэтому получили название *ERP-системы* (Enterprise Resource Planning). В системах этого класса содержится описание тысяч бизнес-процессов, а число пользовательских экранов и реляционных таблиц составляет несколько тысяч. Такие системы могут иметь до 100 000 настраиваемых параметров и обычно требуют сложной и длительной настройки на требования предприятия. Они удовлетворяют большинству запросов как средних, так и очень крупных предприятий. Системы этого класса могут работать на разных платформах (UNIX, Windows) и с различными мощными СУБД.

В категории ERP не более 30 систем. В связи с развитием электронного бизнеса появляются новые системы ERP2, представляющие собой средства для подготовки и принятия решений в сети Интернет.

Группы low и middle представлены сегодня только российскими разработками. Такие системы должны максимально удовлетворять требованиям малых фирм без дополнительной настройки. Поэтому в этой области работают «местные».

Средние интегрированные системы характерны тем, что здесь присутствуют как отечественные, так и иностранные разработки. В отличие от иностранных, казахстанские, российские полностью соответствуют законодательству и чаще имеют в базовой поставке более широкий набор функций, так как для иностранных систем имеется множество дополнительных модулей, поставляемых другими фирмами за отдельную плату. Однако иностранные системы обладают, как правило, более широкими возможностями финансового анализа, полностью отвечают международными стандартам учета и обычно лучше протестированы.

*ERP* – планирование ресурсов предприятия (от англ. *Enterprise Resource Planning*) – методология эффективного планирования и управления всеми ресурсами предприятия, которые необходимы для осуществления продаж, производства, закупок и учета при исполнении заказов клиентов в сферах производства, дистрибуции и оказания услуг.

*ERP-система* – единая информационная система для управления работой всего предприятия, с его разнообразием отделов, со всеми их функциями и характеристиками. В идеале *ERP-система* позволяет менеджеру запустить приложение и из одного окна получить информацию о любом аспекте бизнеса, будь то финансы, управление персоналом или сбыт. *ERP-система* – это набор интегрированных приложений, позволяющих создать интегрированное информационное пространство для автоматизации планирования, учета, контроля и анализа всех основных бизнес-операций предприятия.

В основе ERP-систем лежит принцип создания единого хранилища данных, содержащего всю корпоративную бизнес-информацию и обеспечивающего одновременный доступ к ней любого необходимого количества сотрудников предприятия, наделенных соответствующими полномочиями. Изменение данных производится через функции (функциональные возможности) системы. Данное средство предназначено не только для сбора информации в одной точке из разрозненных источников. Специальная технология размещения данных позволяет также за считанные минуты обрабатывать информацию и там, где для получения квартальных или годовых отчетов транзакционной ERP-системе потребуется несколько часов. Кроме того, хранилище

предоставляет свой инструмент для построения различной аналитической отчетности, его интерфейс интуитивно понятен и прост в использовании, что позволит аналитикам компании создавать собственные отчеты, не прибегая к услугам программистов.

*Основные функции ERP систем:*

- ведение конструкторских и технологических спецификаций, определяющих состав производимых изделий, а также материальные ресурсы и операции, необходимые для их изготовления;
- планирование и формирование планов продаж и производства;
- планирование потребностей в материалах и комплектующих, сроков и объемов поставок для выполнения плана производства продукции;
- управление запасами и закупками: ведение договоров, реализация централизованных закупок, обеспечение учета и оптимизации складских и цеховых запасов;
- управление запросом и продажами;
- планирование производственных мощностей от укрупненного планирования до использования некоторых станков и оборудования;
- оперативное управление финансами, включая составление финансового плана и осуществление контроля его исполнения, финансовый и управленческий учет;
- управление затратами (учет всех затрат предприятия и калькуляция себестоимости готовой продукции или услуг).
- управления проектами/программами, включая планирование этапов и ресурсов.

*ERP-система состоит из следующих элементов:*

- модель управления информационными потоками (ИП) на предприятии;
- аппаратно-техническая база и средства коммуникаций;
- СУБД, системное и обеспечивающее ПО;
- набор программных продуктов, автоматизирующих управление ИП;
- регламент использования и развития программных продуктов;
- IT-департамент и обеспечивающие службы;
- собственно пользователи программных продуктов.

*Достоинства:*

- Использование ERP-системы позволяет использовать одну интегрированную программу вместо нескольких разрозненных. Единая система может управлять обработкой, логистикой, дистрибуцией, запасами, доставкой, выставлением счетов-фактур и бухгалтерским учетом.
- Реализуемая в ERP-системах система разграничения доступа к информации предназначена (в комплексе с другими мерами информационной безопасности предприятия) для противодействия как внешним угрозам (например, промышленному шпионажу), так и внутренним (например, хищениям). Внедряемые в связке с CRM-системой и системой контроля качества, ERP-системы нацелены на максимальное удовлетворение потребностей компаний в средствах управления бизнесом.

*Недостатки:*

- Основные сложности на этапе внедрения ERP-систем возникают по следующим причинам:
- Недоверие владельцев компаний высокотехнологичным решениям, в итоге – слабая поддержка проекта с их стороны, что делает осуществление проекта труднореализуемым.
- Сопротивление департаментов в предоставлении конфиденциальной информации уменьшает эффективность системы.
- Масса проблем, связанных с функционированием ERP, зарождаются из-за недостаточного инвестирования в обучение персонала, а также в связи с недоработанностью политики занесения и поддержки актуальности данных в ERP.

*Ограничения:*

- Небольшие компании не могут позволить себе инвестировать достаточно денег в ERP и адекватно обучить всех сотрудников.
- Внедрение является достаточно дорогим.
- Система может страдать от проблемы «слабого звена» – эффективность всей системы может быть нарушена одним департаментом или партнером.
- Проблема совместимости с прежними системами.

*Стоит выделить следующие ошибки ERP-системы:*

1. При проектировании ERP-системы не учитывается дальнейшая стратегия развития предприятия. Как показывают проведенные анализы, это является основной ошибкой при вне-

дрении ERP-системы. Давайте разберемся, почему так происходит. За последние годы экономика и различные экономические отрасли, в которых работают предприятия, значительно видоизменились и продолжают постоянно изменяться. В таком контексте невозможно настроить информационную систему корректно, так как она не сможет учитывать возможные изменения в деятельности предприятия в будущем. Примером этому может служить то, что предприятия, работающие в нефтегазовой отрасли, вывели все непрофильные активы, а между тем информация о данных активах была важной частью АСУ. Еще один пример: предприятия, работающие в сфере металлургии, почти в два раза сократили число своих работников, тем самым это отразилось на количестве автоматизированных мест, что также невозможно учесть при внедрении ERP-систем. Исходя из всего этого становится понятно, что нужно каким-то образом усовершенствовать и модернизировать системы планирования ресурсов предприятия, чтобы в дальнейшем возможно было учитывать все изменяющиеся показатели. В противном случае внедрение ERP-систем станет своего рода обузой для правильной и продуктивной деятельности предприятия. Но уже сейчас становится возможным внедрение полнофункциональной ERP-системы на предприятиях, но это длительный процесс и может занимать от 3 до 5 лет. Для того чтобы не повторять в дальнейшем ошибок, следует спроектировать и продумать структуру и масштаб деятельности предприятия минимум на три года вперед. Но здесь опять же, при неправильном прогнозировании перспектив деятельности предприятия в будущем, возможны большие потери и расходы, к примеру, на покупку дополнительного оборудования для ERP-систем, что ведет за собой непредвиденные расходы на оплату интернет-трафика. Мало кому покажется приятным, когда спустя определенное время поднимется вопрос о том, чтобы перевести уже существующую ERP-систему на другую платформу.

Другие направления развития бизнеса также должны постоянно учитываться – это и расширение практики мелкосерийного производства, и организация филиалов, и значительное уменьшение резервных запасов, и более строгий контроль сроков поставок. При проведении всех этих мер увеличивается нагрузка производительности ERP-системы, от которой зависит своевременность и оперативность регистрации хозяйственных операций, в противном случае любые данные, собранные с помощью данной системы, окажутся неэффективными.

2. *Проектирование информационных систем «снизу-вверх».* Правильно заложить цели компании и перспективы его дальнейшего успешного развития можно только используя метод проектирования «сверху-вниз». Практика показывает, что создание эффективной информационной управленческой системы стоит дорого, так как практически невозможно учесть весь поток информации появляющийся в компании. Поэтому каждый разработчик при проектировании ERP-системы сталкивается с проблемой перехода от получения полного объема информации к определенному лимиту. Основной задачей при проектировании ERP-системы является выбор основного значимого направления для эффективного принятия управленческих решений. Так как на предприятие ежедневно поступают большие объемы информации различного содержания, проектировщику нужно выбрать из всего этого информационного потока только самую значимую и важную информацию. Естественно, что у каждой компании свои потребности в информационном обеспечении. Поэтому правильное проектирование ERP-системы означает в первую очередь выбор информации, которая является важной для верхних слоев управления, а уже затем проектировщик спускается «вниз». Данный метод рассчитан главным образом на получение первоначально значимой информации, необходимой высшему руководству. Но как показывает практика проектирования ERP-систем, проектировщики, не вдаваясь в подробности важности поступающей информации, вводят в систему очень много ненужной и избыточной информации, тем самым увеличивая стоимость АСУ. В итоге из-за недостаточности и полноты получаемой информации страдает менеджмент компании. А руководство компании получает огромные объемы непроанализированной информации, которая значительно замедляет процесс принятия управленческих решений, этому есть множество примеров. Для того чтобы предприятие при проектировании и внедрении ERP-системы, которая требует значительных затрат, не получало избыточную и неэффективную информацию, нужно при проектировании ERP-системы учитывать главным образом цели компании и исходя из этого правильно определить вид и характер поступающей на предприятие информации.

3. *Некорректное перепроектирование бизнес-процессов.* Очень часто случается так, что компания решившая внедрить ERP-систему решает на такой значимый шаг, как перепроектирование или реинжиниринг всех существующих на предприятии бизнес-процессов и дальнейшее их внедрение, и подчинение требованиям ERP-системы. Или же возможно, что компания будет настаивать на сохранении всех существующих бизнес-процессов при перестройке выбранной ERP-системы, а иногда и на полном ее переписывании. Но эти два варианта внедрения ERP-системы как раз и являются неправильными, которые в дальнейшем негативно скажутся на эффективности деятельности предприятия.

При реинжиниринге всех бизнес-процессов увеличивается риск того, что внедряемая на предприятии ERP-система вообще не будет использоваться, так как практика реинжиниринга бизнес-процессов показывает, что любые значимые изменения бизнес-процессов очень трудно приживаются и как следствие используются очень редко.

Если мы посмотрим на западные компании, то увидим, что западные ERP-системы разработаны с учетом мирового опыта внедрения данных систем, основанных на опыте построения и оптимизации бизнес-процессов. Исходя из этого становится очевидно, что этот опыт должен учитываться при совершенствовании системы управления в наших российских компаниях и предприятиях. Но может случиться так, что проектировщики ERP-системы не всегда правильно используют ссылки на западную практику, поскольку отечественные компании работают совершенно в другой экономической среде.

Сохранение всех существующих бизнес-процессов также является неэффективным методом, потому что полученная система вследствие множественных доработок и переработок теряет свою надежность и эффективность. Это сказывается на риске ошибочной обработки вводимой информации, а от автоматизации выбранной системы также не будет никакой пользы, так как доработанные и переработанные бизнес-процессы будут неэффективными. Предприятие в данном случае будет зависеть от выбранной системы управления и автоматически лишается возможности совершенствовать свою деятельность. На основании этих методов важно найти «золотую» середину между реинжинирингом бизнес-процессов и доработкой существующей системы.

#### 4. *Неверная оценка экономической эффективности внедрения ERP-системы.*

Внедрение ERP-системы стоит немалых денег, сюда входит закупка необходимого оборудования, компьютеров, оплата консультационных услуг и т.д. В связи с этим руководителю предприятия предстоит решить основной вопрос об экономической эффективности внедряемой ERP-системы. Перед руководителем стоит задача сопоставления расходов на автоматизацию бизнес-процессов с итоговыми экономическими результатами проекта. Решение данной задачи включает в себя ответы на следующие вопросы: какую информацию в итоге получит менеджер, каких потерь это поможет избежать, каким образом добиться максимального увеличения эффективности используемых ресурсов предприятия. Если не решить хотя бы один из этих вопросов, вполне возможно, что затраты на внедрение ERP-системы не оправдают себя или попросту не окупятся. Для того чтобы избежать возможных неудач, необходимо определять цену включения определенной информации на всех этапах проектирования и внедрения ERP-системы. Но это еще не все. Необходимо решить вопрос экономической эффективности еще при создании прототипа будущей ERP-системы. Наибольшая эффективность от внедрения ERP-системы возможна лишь в том случае, когда на предприятии хорошо выстроена система управления.

Использование полнофункциональной единой системы управления ресурсами компании может дать огромные преимущества предприятию в организации эффективного управления компанией, увеличении скорости реакции на изменения внешней среды, повышении качества обслуживания клиентов.

Положительным фактором, влияющим на правильную и эффективную работу внедряемой ERP-системы, является наличие богатой функциональности. В результате внедрения ERP-системы на предприятии стандартизируется подавляющее большинство операций, значительно растет управляемость организации, повышается степень ее информационной открытости.

### Литература

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. – СПб.: СПбГУ, 2001.



2. Сычев А.В. Теория и практика разработки современных клиентских Web-приложений. Интернет-Университет Информационных Технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.intuit.ru/department/internet/thpdevweba/24/thpdevweba\\_24.html](http://www.intuit.ru/department/internet/thpdevweba/24/thpdevweba_24.html) (дата обращения: 04.12.2013).

3. URL: <http://zvukovaya-volna.ru>.

4. URL: <http://www.it.ua/news.php>.

5. URL: <http://okitgo.ru/gis/oblachnye-vychisleniya.html>.

6. URL: <http://www.moluch.ru/conf/tech/archive/5/1123/>.

УДК 519.6:551.510.413.5

## КЛАССЫ ИОНОГРАММ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ

**М.Ю. Шаталович, О.В. Мандрикова, В.В. Бычков**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский,*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
Паратунка, Камчатский край*

Данная работа направлена на создание методов и технологий решения задачи автоматического распознавания ионограмм по данным вертикального радиозондирования. Несмотря на интенсивное развитие информационных технологий, в настоящее время остается нерешенной общемировая проблема полной автоматической обработки ионограмм. Единственным способом получения достоверной информации по данным зондирования ионосферы остается привлечение экспертов. Трудности, связанные с распознаванием ионограмм в автоматическом режиме, обусловлены их сложной структурой, особенно в периоды ионосферных возмущений. В работе, применительно к решаемой задаче, предложена классификация ионограмм. В качестве примеров классов представлены ионограммы в период магнитной бури 9 января 2014 г.

### Введение

Состояние ионосферы является важным фактором в задачах оценки и контроля состояния околоземного космического пространства (космической погоды) [1]. Определение «космическая погода» подразумевает изменение условий на Солнце, в солнечном ветре, магнитосфере и ионосфере Земли, которые влияют на работу бортовых и наземных технологических систем и угрожают здоровью и жизни людей [1, 2]. Активное освоение космоса не только в исследовательских, военных, но и в широких гражданских целях предъявляет сегодня новые повышенные требования к качеству информации о состоянии околоземного пространства [1, 2]. В свою очередь, эффективное решение задачи определения космической погоды невозможно без применения современных информационных технологий и оперативных средств регистрации и контроля состояния анализируемой природной среды.

Одним из основных регулярно используемых методов исследования ионосферы является метод вертикального импульсного зондирования, аналогичный радиолокации [2]. В импульсном методе измеряется время между моментом излучения импульса волн определенной частоты передатчиком на земле и моментом его прихода после отражения обратно в ту же точку [2]. Частота испускаемого передатчиком радиоимпульса плавно изменяется с каждым импульсом, время запаздывания растет с частотой импульса, так как более высокие частоты будут отражаться на больших высотах, где электронная плотность больше. Полученная запись зависимости времени запаздывания от частоты радиоимпульса называется ионограммой, а сама аппаратура – ионосферной станцией или ионозондом [2, 3].

Одним из основных инструментов для наблюдения за состоянием ионосферы являются дигизонды [2, 3], которые несут свою вахту во многих точках мира и выпускаются Центром атмосферных исследований (Массачусетский университет Лоуэлла, США). Самые широкие возможности предоставляет программный комплекс для обработки ионограмм вертикального

зондирования «SAO Explorer» [3, 4], входящий в комплект дигизонда, и доступный на сайте Центра атмосферных исследований <http://ulcar.uml.edu/>. Данный программный комплекс позволяет определять такие характеристики ионосферы, как критическая частота слоев F2, F1 и Es [5, 6], минимальная частота слоя F [6], тип Es, максимальная частота F следа, действующая высота слоя F2, пиковая высота слоя F2 [5, 6], полное электронное содержание [1] и другие. В среде ВЗ «SAO Explorer» предусмотрена ручная и автоматическая обработка ионограмм.

Трудности, связанные с автоматическим распознаванием ионограмм, обусловлены их сложной структурой в периоды ионосферных возмущений. Авторами предполагается создать классификацию ионограмм по степени их сложности применительно к решаемой задаче и выделить классы для автоматической обработки. Данный подход позволит в дальнейшем построить математические образы классов ионограмм и создать теоретическую основу для решения задачи автоматизации процесса регистрации параметров ионограмм в периоды возмущенной ионосферы.

### Классы ионограмм

На рис. 1, в качестве примера, показаны ионограмма в период спокойной ионосферы и результат ее обработки в программном комплексе «SAO Explorer». Как показывает анализ рис. 1, в результате распознавания ионограммы определены значения критической частоты слоя F2 и минимальной частоты, которые являются истинными.

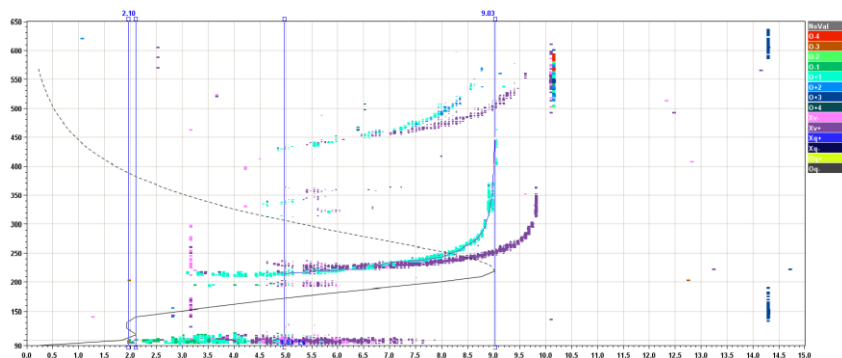


Рис. 1. Результат автоматической обработки ионограммы с помощью SAO Explorer в период спокойной ионосферы. На горизонтальной оси отложены значения частот импульсов, на вертикальной оси – действующие высоты

На рис. 2а, 2б представлена ионограмма в периоды магнитной бури 9 января 2014 г. и результаты ее обработки в автоматическом и ручном режимах. Наблюдаемое раздвоение сигнала с ростом частоты является следствием того, что ионосферная плазма – среда двояко преломляющая, и излученная передатчиком волна расщепляется в ионосфере на обыкновенную и необыкновенную волны [2]. Сопоставление результатов автоматической и ручной обработки показывает, что значения критической частоты слоя F2 и минимальной частоты были определены программно неправильно. В данном случае критическая частота слоя F2 была определена программой по необыкновенной волне, что является ошибкой.

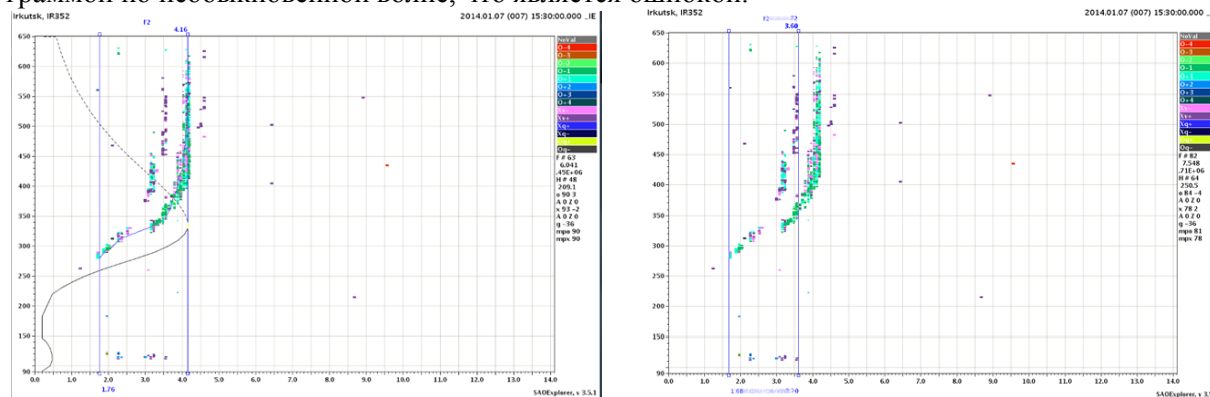


Рис. 2: а – Результат автоматической обработки ионограммы с помощью SAO Explorer; б – результат ручной обработки ионограммы. На горизонтальной оси отложены значения частот импульсов, на вертикальной оси – действующие высоты. Горизонтальными линиями показаны минимальная частота и критическая частота слоя

Иногда программно слои не могут быть определены (рис. 3а, 3б, 3в). Часто это происходит в период магнитных бурь.

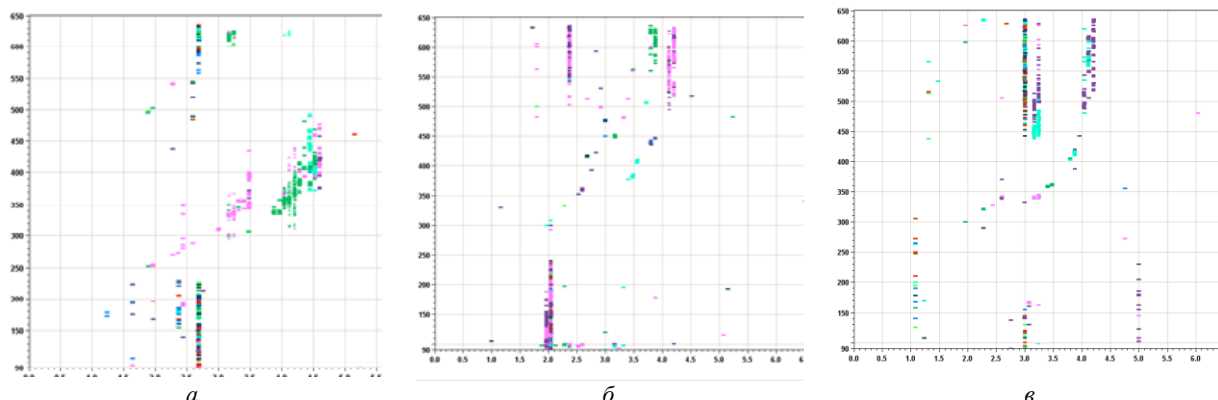


Рис. 3. Ионограммы в период возмущенной ионосферы 9 января 2014 г.

Как показывает анализ результатов обработки ионограмм, степень их сложности определяется состоянием ионосферы. Помимо неисправностей и низкой разрешающей способности аппаратуры можно выделить следующие проблемы автоматической обработки ионограмм:

- экранирование слоев;
- неотклоняющее поглощение, возникающее на высотах около 70 км (электроны раскачиваются электромагнитной волной, забирая у нее энергию, и, соударяясь с нейтральными частицами, передают эту энергию им);
- рассеянный след (диффузность);
- малая плотность ионизации или отсутствие слоя;
- другие неионосферные причины и помехи.

На основе проведенного анализа в соответствии с состояниями ионосферы могут быть выделены следующие классы ионограмм:

1. «Спокойная ионосфера». Для данного класса ионограмм задача их автоматического распознавания решена.

2. «Небольшая диффузность слоя F2». Причиной диффузности, называемой также F-рассеянием [7], является рассеяние зондирующей радиоволны достаточно мелкомасштабными неоднородностями концентрации электронов N. Причиной их появления служит плазменная турбулентность, которая усиливается в периоды повышения геомагнитной активности [7]. На рис. 4 показан пример ионограммы данного класса.

3. «Расслоение необыкновенной волны слоя F2». На ионограмме происходит расслоение необыкновенной волны, вследствие чего автоматическая обработка ионограмм может выполняться некорректно и необходимо привлечение эксперта.

4. «Диффузность слоя F2 с отсутствием обыкновенной волны» (рис. 5). Помимо явления диффузности, описанного выше, на ионограмме присутствует только необыкновенная волна. Отсутствие обыкновенной волны затрудняет автоматическую обработку. Один из вариантов расчета критической частоты в данном случае является вычитание из числового значения критической частоты необыкновенной волны значения 0,7 МГц.

5. Экранирование слоя F2 (рис. 6). В данном случае слой F2 определить нельзя, т.к. слой Es полностью экранирует вышележащие слои. В этом случае автоматически определить параметры слоя F2 ионосферы определить невозможно.

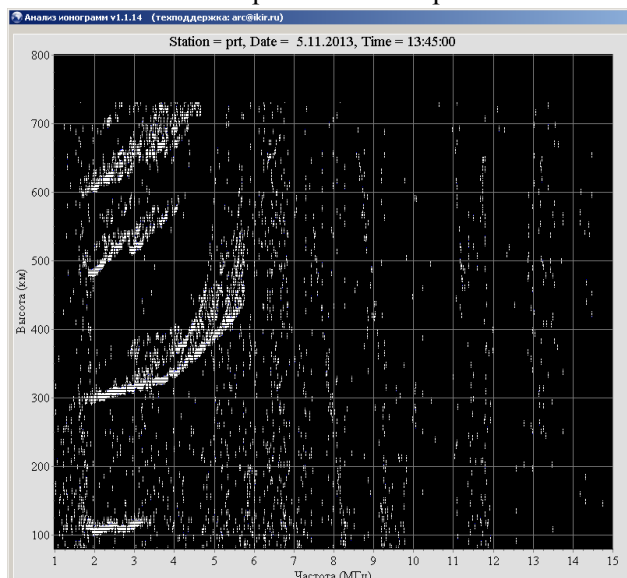


Рис. 4. Ионограмма с небольшой диффузностью

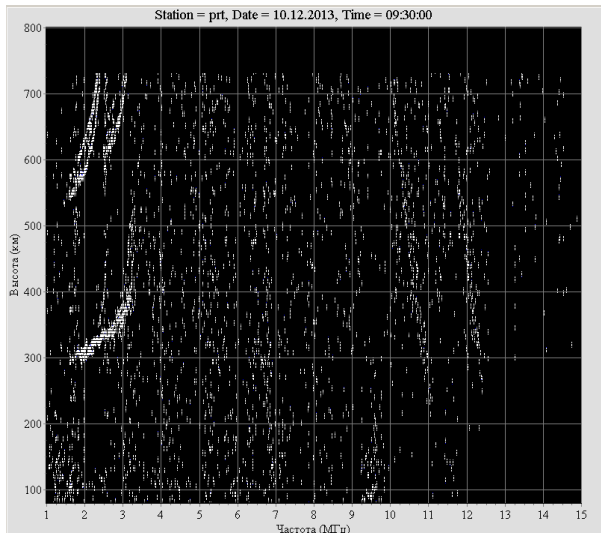


Рис. 5. Ионограмма с диффузностью слоя F2 с отсутствием обыкновенной волны

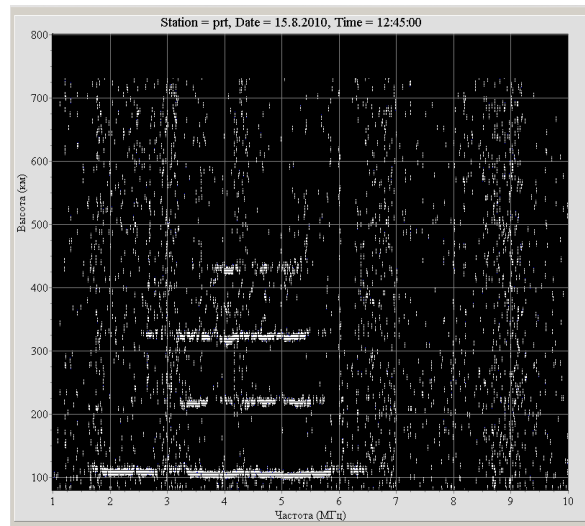


Рис. 6. Ионограмма с экранированием слоя F2

### Вывод

Предложена классификация ионограмм по степени их сложности для автоматической обработки. Введенные классификационные признаки соответствуют состояниям ионосферы в периоды ее возмущения. Предложенный подход позволит в дальнейшем определить математические образы ионограмм для решения задачи оценки параметров ионосферы и изучения ее свойств в периоды возмущений.

Авторы выражают благодарность инженеру-программисту лаборатории ЛЭМИ ИКИР ДВО РАН Р.А. Волынкиной за помощь и полезные консультации при подготовке статьи.

### Литература

1. Афраимович Э.Л. Интерференционные методы радиозондирования ионосферы. – М.: Наука, 1982.
2. Космическая среда вокруг нас. Введение в исследования околоземного космического пространства – книга для чтения за столом и на компьютере / Под ред. д-ра физ.-мат. наук А.Н. Зайцева. – ТРОИЦК: Издательство ТРОВАНТ, 2005.
3. Современные технологии для обработки ионограмм вертикального зондирования Камчатской АИС. 7–11 ноября 2004 г. / Г. Ким, Г.В. Котович, В.П. Грозов, В.В. Бычков, А.В. Шумейко. – 2004.
4. Reinisch B.W., Galkin I.A., Khmyrov G., Kozlov A., and Kitrosser D.F. Automated collection and dissemination of ionospheric data from the digisonde network. – Adv.: Radio Sci. – 2004. – V. 2. – P. 241–247.
5. Mumpsa A. Воздействие солнечных вспышек на ионосферу Земли: Пер. с англ. – М., 1977.
6. SAO Explorer User's Guide / I. Galkin, G. Khmyrov, J. Conway [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ulcar.uml.edu/SAO-X/UsersGuide.html>
7. Ионосферные эффекты в течение полета ракеты «Протон»: результаты вертикального зондирования / Т.Г. Живолуп, Л.Г. Черногор / Институт ионосферы Национальної академії наук України і Міністерства освіти і науки України. – Харків: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна.

Секция 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 517.984.5

О СПЕКТРЕ НЕКОТОРЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ

Э.Н. Батуев

Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский

В работе на основе теорем вложения и компактности пространств Соболева с весовой нормой получены условия положительной определенности некоторых сингулярных дифференциальных операторов и оценки спектра.

В работе [1] были получены необходимые и, вообще говоря, отличные от них достаточные условия вложения и компактности пространств Соболева с весовой нормой в весовые Лебеговы пространства. Сформулируем эти результаты.

Пусть  $p \geq 1$ ,  $L_{p,u}$  – весовое Лебегово пространство функций, определенных на полуоси с нормой:

$$\|f\|_{p,u} = \left( \int_0^{\infty} |f(x)u(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}.$$

Далее, [2], пусть  $n \geq 1$ ,  $k \geq 0$  – целые числа, обозначим  $\overset{\infty}{W}_{p,v}^k$  пространство функций, имеющих обобщенные производные до  $k$ -го порядка включительно и обращающихся в нуль на бесконечности вместе со своими производными до  $k-1$ -го порядка с нормой:

$$\|f\|_W = \|f^{(k)}\|_{p,v},$$

а  $\overset{\infty}{H}_{p,v}^{n,k}$  – пополнение семейства бесконечно дифференцируемых функций, обращающихся в нуль на бесконечности по норме:

$$\|f\|_H = \left( \|f^{(n+k)}\|_p^p + \|f^{(k)}\|_{p,v}^p \right)^{\frac{1}{p}}.$$

Теперь вводим функцию усреднения Отелбаева [3]:

$$V^*(x) = \inf_{d>0} \left\{ d^{-1} : d^{np+1} \geq \int_{x-d}^{x+d} |v(t)|^p dt \right\},$$

и определяем выражения:

$$A_0(\gamma, t) = \left( \int_0^t (t-x)^{p(k-1)(1-\gamma)} u^p(x) dx \right)^{\frac{1}{p}} \cdot \left( \int_t^{\infty} (x-t)^{p(k-1)\gamma} V^{*-np'}(x) dx \right)^{\frac{1}{p'}} \quad (1)$$

$$A_{\tau}(\gamma, t) = \left( \int_0^t (t-x)^{p(k-1)(1-\gamma)} u^p(x) dx \right)^{\frac{1}{p}} \cdot \left( \int_{\tau}^{\infty} (x-\tau)^{p(k-1)\gamma} V^{*-np'}(x) dx \right)^{\frac{1}{p'}} \quad (2)$$

где  $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = 1$ ,  $\tau = \max\left(\frac{t}{2(2n-1)}, t-0\right)$ ,  $v = (4n-3) \sup_{x \in [0, \infty)} V^{*-1}(x)$ .

В [1] доказано.

Теорема 1. а) если имеет место непрерывное вложение  $H_{p,v}^{\infty n,k}$  в  $L_{p,u}$ , то

$$A_0 = \maxsup_{\gamma=0,1} A_0(\gamma, t) < \infty; \quad (3)$$

б) если  $A_\tau = \maxsup_{\gamma=0,1} A_\tau(\gamma, t) < \infty$ , то имеет место непрерывное вложение  $H_{p,v}^{\infty n,k}$  в  $L_{p,u}$ , причем для нормы оператора вложения имеет место оценка

$$CA_0 \leq \|i\|_{H \rightarrow L} \leq CA_\tau. \quad (4)$$

Здесь и далее буквы  $C$ , возможно с индексами, означают константы, вообще говоря разные в разных формулах.

Теорема 2. а) если оператор вложения  $H_{p,v}^{\infty n,k}$  в  $L_{p,u}$  компактен, то выполнено условие (3), и при  $\gamma = 0,1$

$$\lim_{t \rightarrow 0} A_0(\gamma, t) = \lim_{t \rightarrow \infty} A_0(\gamma, t) = 0; \quad (5)$$

б) если выполнено условие (4) и для некоторого  $\tau < t$  при  $\gamma = 0,1$

$$\lim_{t \rightarrow 0} A_\tau(\gamma, t) = \lim_{t \rightarrow \infty} A_\tau(\gamma, t) = 0,$$

то оператор вложения компактен (6).

В качестве приложений полученных теорем рассмотрим некоторые задачи, касающиеся дифференциальных операторов. Пусть  $L_0$  – сингулярный дифференциальный оператор, определяемый дифференциальным выражением:

$$L_0(y) = \frac{(-1)^{n+k}}{\rho(t)} \left( \frac{y(t)}{\rho(t)} \right)^{(2n+2k)} + \frac{(-1)^k}{\rho(t)} \left( v^2(t) \left( \frac{y(t)}{\rho(t)} \right)^{(k)} \right)^{(k)},$$

где  $y(t)$  – бесконечно дифференцируемая обращается в нуль на бесконечности. Квадратичная форма

$$(f, f) = \int_0^\infty \left| \left( \frac{f(t)}{\rho(t)} \right)^{(n+k)} \right|^2 dt + \int_0^\infty v^2(t) \left| \left( \frac{f(t)}{\rho(t)} \right)^{(k)} \right|^2 dt$$

порождает неотрицательный самосопряженный оператор  $L$ , являющийся самосопряженным расширением оператора  $L_0$ . Полагая в условиях теоремы 1 и 2  $p = p' = 2$ ,  $u(x) = p(x)$ ,  $v(x) = v(x)$  и соответственно определяются выражения  $A_0(\gamma, t)$ ,  $A_\tau(\gamma, t)$ , по известным результатам получаем теорему 3.

Теорема 3. Пусть для некоторого  $\tau < t$   $A_\tau < \infty$ . Тогда оператор  $L$  положительно определен, и если  $\lambda_1$  наименьшее собственное значение  $L$ , то имеет место оценка

$$C^{-1} A_0 \leq \lambda_1^{-\frac{1}{2}} \leq CA_\tau.$$

Теорема 4. Пусть  $A_0 < \infty$ , и для некоторого  $\tau < t$   $\lim_{t \rightarrow 0} A_\tau(\gamma, t) = \lim_{t \rightarrow \infty} A_\tau(\gamma, t) = 0$ ,  $\gamma = 0,1$ .

Тогда оператор  $L^{-1}$  вполне непрерывен.

### Литература

1. Батуев Э.Н. Теоремы вложения и компактности для некоторых пространств с весовыми нормами // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Четвертой всерос. конф. (23–25 апреля 2013 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2013. – Ч. 1. – С. 169–180.
2. Никольский С.М. Приближение функций многих переменных и теоремы вложения. – М.: Наука, 1977.
3. Апышев С.Д. Отелбаев М. О спектре одного класса дифференциальных операторов и некоторые теоремы вложения // Изв. АН ССР. Сер. Матем. – 1979. – Т. 43. – № 4. – С. 739–764.

УДК 621.396:004.02

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИИ ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА СКАНИРУЮЩИХ ПРИЕМНИКОВ И ТРАНСИВЕРОВ

Л.В. Буй

Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань

Приведены результаты использования метода анализа иерархий при выборе сканирующих приемников и трансиверов. Представлен конкретный пример выбора устройств по четырем критериям.

Проблема выбора сканирующих приемников и трансиверов по техническим параметрам, экономическим и иным критериям, соответствующим требованиям потребителей, является актуальной проблемой для многих потребителей, особенно работающих в областях информационной безопасности, защиты от информационного шпионажа.

Задача выбора сканирующих приемников и трансиверов – это многокритериальная задача, у которой есть более 20 критериев [1]. Существует некоторые методы и алгоритмы для решения многокритериальной задачи: ранжирование многокритериальных альтернатив (Electre), многокритериальной теории полезности, оптимальность по Парето, анализа иерархий (АНР). Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки и соответствует определенным типам задач.

Целью данной работы является применение метода анализа иерархий для рационального выбора сканирующих приемников и трансиверов.

Идея метода анализа иерархий состоит в том, что эксперт должен выполнить попарное сравнение альтернатив и критериев. При попарном сравнении альтернатив эксперт должен определить, какая из альтернатив наиболее предпочтительна, имеет большее воздействие либо более вероятна. Шкала относительной важности парного сравнения альтернатив представлена в табл. 1.

Таблица 1

Шкала относительной важности парного сравнения альтернатив

Уровень важности	Степень предпочтительности
Равная важность альтернатив	1
Умеренное превосходство	3
Существенное превосходство	5
Значительное превосходство	7
Очень большее превосходство	9
Промежуточные уровни	2, 4, 6, 8

Входные данные многокритериальной задачи для применения этого метода необходимо определить: цель, состав критериев ( $e_1, e_2, \dots, e_n, \dots, e_m$ ), перечень альтернатив ( $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n$ ) и иерархическую структуру проблемы (содержит в себе три уровня: размещается цель; состав критериев и множество альтернатив [1]). Количественные результаты предпочтений альтернатив представляются в табл. 2.

Таблица 2

Количественные предпочтения альтернатив

Альтернативы	Альтернативы						Собственный вектор	Вес
	$a_1$	$a_2$	...	$a_i$	...	$a_n$		
$a_1$	$a_{11}$		...	$a_{1i}$	...	$a_{1n}$	$\lambda_1$	$\gamma_1$
$a_2$	$a_{21}$		...	$a_{2i}$	...	$a_{2n}$	$\lambda_2$	$\gamma_2$
...	...	...	...	...	...	...		
$a_i$	$a_{i1}$		...	$a_{ii}$	...	$a_{in}$	$\lambda_i$	$\gamma_i$
...	...	...	...	...	...	...		
$a_n$	$a_{n1}$		...	$a_{ni}$	...	$a_{nn}$	$\lambda_n$	$\gamma_n$

Элементы матрицы определяются по следующим правилам: если альтернатива  $a_i$  превосходит альтернативу  $a_k$ , то  $a_{ik} = \{3, 5, 7, 9\}$ , а в случае равнозначности альтернатив  $a_i$  и  $a_k$ ,  $a_{ik} = 1$ . Тогда элемент  $a_{ki}$  равен обратному значению  $a_{ik}$ , т.е.  $a_{ki} = 1/a_{ik}$ . Диагональные элементы матрицы  $a_{ii} = 1$  [2].

Для вычисления  $\lambda_i$  элемента собственного вектора в матрице необходимо определить произведение элементов  $i$ -й строки, а затем найти корень  $n$ -й степени, т.е.  $\lambda_i = \sqrt[n]{a_{i1}a_{i2} \dots a_{in}}$ ,  $\gamma_i$  – это нормированное значение  $\lambda_i$ , т.е.  $\gamma_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i$ ;  $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1$  [2]. Аналогичная таблица критериев (табл. 3).

Таблица 3

Количественные предпочтения критериев

Альтернативы	Альтернативы						Собственный вектор	Вес
	$e_1$	$e_2$	...	$e_h$	...	$e_m$		
$e_1$	$e_{11}$		...	$e_{1h}$	...	$e_{1m}$	$\alpha_1$	$\beta_1$
$e_2$	$e_{21}$		...	$e_{2h}$	...	$e_{2m}$	$\alpha_2$	$\beta_2$
...	...	...	...	...	...	...		
$e_h$	$e_{h1}$		...	$e_{hh}$	...	$e_{hm}$	$\alpha_h$	$\beta_h$
...	...	...	...	...	...	...		
$e_m$	$e_{m1}$		...	$e_{mh}$	...	$e_{mm}$	$\alpha_m$	$\beta_n$

Значения в этой матрице тоже определяются по приведенным выше правилу и формуле. Алгоритм выбора оптимальных альтернатив по методу анализа иерархий представлен на рис. 1 [2].

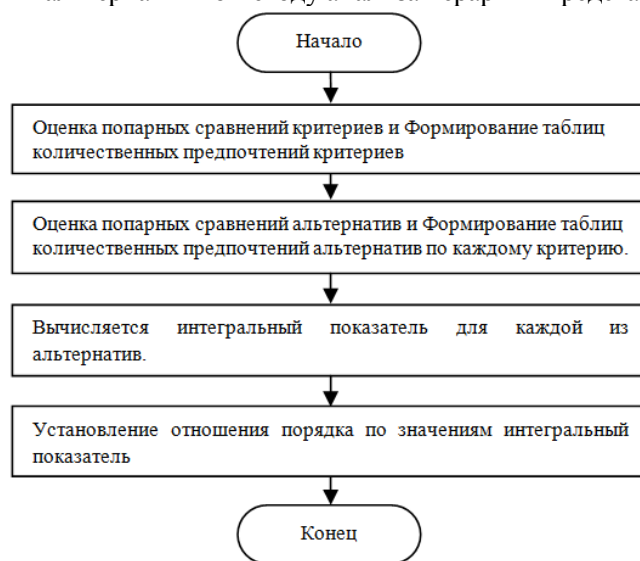


Рис. 1. Алгоритм выбора оптимальных альтернатив по методу анализа иерархий

Рассмотрим метод анализа иерархий на конкретном следующем примере.

**Пример.** Входные данные состоят из множества альтернатив  $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$  и четырех критериев, которые представляются в табл. 4.

Таблица 4

Исходное множество

Показатели Устройства	$e_1$ – чувствительность μV (25 kHz) ↓	$e_2$ – работа без перезарядки (час) ↑	$e_3$ – количество каналов ↑	$e_4$ – цена (рубли) ↓
$a_1$ – IC – 4088	0,2	15	69	5960
$a_2$ – ТК-2307	0,25	8	32	5960
$a_3$ – VX-231	0,25	8	16	6355
$a_4$ – ТК-2360M	0,25	9	16	7000
$a_5$ – CP040 UHF3	0,2	10	16	7000

*Примечание.* В названии показателей указана направленность показателей – знак ↓ – направленность на минимум, знак ↑ – направленность на максимум.



**Решение:**

*Шаг 1:* построить таблицу количественных предпочтений критериев.

Определим приоритет критериев по требованиям потребителей и также мнения экспертов. В этом примере, анализируя и оценивая критерии, решили, что  $e_4$  (цена) по сравнению с  $e_2$  (работа без перезарядки) имеет умеренное превосходство (значение  $e_{42} = 3$ ),  $e_4$  по сравнению с  $e_1$  (чувствительность) имеет существенное превосходство (значение  $e_{41} = 5$ ), и  $e_4$  по сравнению с  $e_3$  (количество каналов) имеет существенное превосходство (значение  $e_{43} = 5$ ). Критерий  $e_2$  по сравнению с  $e_1$  и  $e_3$  имеет умеренное превосходство (значение  $e_{21} = 3$  и  $e_{23} = 3$ ). В результате мы получаем следующую матрицу (табл. 5).

Таблица 5

**Матрица сравнения критериев**

Критерий	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
$e_1$	1	1/3	1	1/5
$e_2$	3	1	3	1/3
$e_3$	1	1/3	1	1/5
$e_4$	5	3	5	1

Вычислив значения собственных векторов и нормированных весов критериев по приведенным выше формулам, получим следующую матрицу результатов (табл. 6).

Таблица 6

**Количественные предпочтения критериев**

Критерий	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	Собственный вектор	Вес
$e_1$	1	1/3	1	1/5	0.508	0.096
$e_2$	3	1	3	1/3	1.316	0.250
$e_3$	1	1/3	1	1/5	0.508	0.096
$e_4$	5	3	5	1	2.943	0.558
Сумма: 5.275						

*Шаг 2:* построим таблицу количественных предпочтений альтернатив по каждому критерию.

Анализируя, учитывая, оценивая и сравнивая значение каждого из критериев, мы узнали, что:  $a_1$  и  $a_5$  имеют равную важность,  $a_2$ ,  $a_3$  и  $a_4$  тоже имеют равную важность. Критерий  $a_1$  и  $a_5$  по сравнению с  $a_2$ ,  $a_3$  и  $a_4$  имеют умеренное превосходство (значение балла 3). Мы получим результаты (табл. 7).

Таблица 7

**Сравнение по критерию  $e_1$  – чувствительность**

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$a_1$	1	3	3	3	1
$a_2$	1/3	1	1	1	1/3
$a_3$	1/3	1	1	1	1/3
$a_4$	1/3	1	1	1	1/3
$a_5$	1	3	3	3	1

По аналогии мы получили следующие результаты (табл. 8–10).

Таблица 8

**Сравнение по критерию  $e_2$  – работа без перезарядки**

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$a_1$	1	7	7	6	5
$a_2$	1/7	1	1	1/2	1/3
$a_3$	1/7	1	1	1/2	1/3
$a_4$	1/6	2	2	1	1/2
$a_5$	1/5	3	3	2	1

Таблица 9

Сравнение по критерию  $e_3$  – количество каналов

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$a_1$	1	5	7	7	7
$a_2$	1/5	1	3	3	3
$a_3$	1/7	1/3	1	1	1
$a_4$	1/7	1/3	1	1	1
$a_5$	1/7	1/3	1	1	1

Таблица 10

Сравнение по критерию  $e_4$  – цена

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
$a_1$	1	1	3	7	7
$a_2$	1	1	3	7	7
$a_3$	1/3	1/3	1	5	5
$a_4$	1/7	1/7	1/5	1	1
$a_5$	1/7	1/7	1/5	1	1

Вычислив собственные векторы и веса для критериев по приведенным выше формулам, получим следующую матрицу результатов (табл. 11–14).

Таблица 11

Критерий « $e_1$  – чувствительность»

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	Собственный вектор	Вес
$a_1$	1	3	3	3	1	1.933	0.3332
$a_2$	1/3	1	1	1	1/3	0.644	0.1112
$a_3$	1/3	1	1	1	1/3	0.644	0.1112
$a_4$	1/3	1	1	1	1/3	0.644	0.1112
$a_5$	1	3	3	3	1	1.933	0.3332
Сумма: 5.798							

Таблица 12

Критерий « $e_2$  – работа без перезарядки»

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	Собственный вектор	Вес
$a_1$	1	7	7	6	5	4.300	0.5857
$a_2$	1/7	1	1	1/2	1/3	0.473	0.0645
$a_3$	1/7	1	1	1/2	1/3	0.473	0.0645
$a_4$	1/6	2	2	1	1/2	0.803	0.1093
$a_5$	1/5	3	3	2	1	1.292	0.1760
Сумма: 7.341							

Таблица 13

Критерий « $e_3$  – количество каналов»

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	Собственный вектор	Вес
$a_1$	1	5	7	7	7	4.4345	0,5938
$a_2$	1/5	1	3	3	3	1.4011	0,1877

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	Собственный вектор	Вес
$a_3$	1/7	1/3	1	1	1	0,5439	0,0728
$a_4$	1/7	1/3	1	1	1	0,5439	0,0728
$a_5$	1/7	1/3	1	1	1	0,5439	0,0728
Сумма: 7,4673							

Таблица 14

**Критерий « $e_4$  – цена»**

Альтернатива	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	Собственный вектор	Вес
$a_1$	1	1	3	7	7	2,7130	0,3707
$a_2$	1	1	3	7	7	2,7130	0,3707
$a_3$	1/3	1/3	1	5	5	1,2267	0,1676
$a_4$	1/7	1/7	1/5	1	1	0,3327	0,0455
$a_5$	1/7	1/7	1/5	1	1	0,3327	0,0455
Сумма: 7,3181							

**Шаг 3:** вычисляется интегральный показатель  $R_i$  для каждой из альтернатив  $a_i$ ,  $i = \overline{1,5}$ :

$$R_i = \sum_{h=1}^m w_h \gamma_{hi}; m = \overline{1,4} \quad [2].$$

$$R_1 = 0,096 * 0,3332 + 0,25 * 0,5857 + 0,096 * 0,5938 + 0,558 * 0,3707 = 0,44226;$$

$$R_2 = 0,096 * 0,1112 + 0,25 * 0,0645 + 0,096 * 0,1877 + 0,558 * 0,3707 = 0,25167;$$

$$R_3 = 0,096 * 0,1112 + 0,25 * 0,0645 + 0,096 * 0,0728 + 0,558 * 0,1676 = 0,12731;$$

$$R_4 = 0,096 * 0,1112 + 0,25 * 0,1093 + 0,096 * 0,0728 + 0,558 * 0,0455 = 0,07037;$$

$$R_5 = 0,096 * 0,3332 + 0,25 * 0,1760 + 0,096 * 0,0728 + 0,558 * 0,0455 = 0,10836.$$

Следовательно, порядок альтернатив будет иметь следующий вид:

$$\langle a_1, a_2, a_3, a_5, a_4 \rangle$$

Итак, альтернатива  $a_1$  – оптимальная.

Использование метода анализа иерархий позволит получить рациональное решение задачи выбора сканирующих приемников и трансиверов.

**Литература**

1. Шуршев В.Ф., Буй Л.В. Методика выбора сканирующих приемников и трансиверов по основным характеристикам // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. – 2013. – № 2. – С. 45–51.
2. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: Учеб. пособие. – Новочеркасск: Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2002. – 267 с.

УДК 512.54

**О СВОБОДНОЙ ДОПОЛНЯЕМОСТИ ПОДГРУПП ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ ГРУПП**

**А.П. Горюшкин**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

В статье устанавливается свободная дополняемость конечно порожденных подгрупп бесконечного индекса в гиперболических группах, не являющихся почти абелевыми.

Подгруппу  $H$  группы  $G$  называют свободно дополняемой, если в группе  $G$  существует такая нетривиальная подгруппа  $Q$ , что  $gp(H, Q) = H * Q$ .

В [1] получены необходимые и достаточные условия существования свободной дополняемости квазивыпуклых подгрупп бесконечного индекса в гиперболической группе.

Естественно, что подгруппы почти абелевой группы не могут быть свободно дополняемы.

Покажем, что в гиперболической группе, не являющейся почти абелевой, и заданной представлением

$$G = \langle a_1, b_1, \dots, a_n, b_n, c_1, \dots, c_t, d_1, \dots, d_s; c_1^{\gamma_1}, \dots, c_t^{\gamma_t}, [a_1, b_1] \dots [a_n, b_n] c_1 \dots c_t, d_1 \dots d_s \rangle, (*)$$

где  $[a_i, b_i] = a_i^{-1} b_i^{-1} a_i b_i$ ;  $n, s, t \geq 0$ ;  $\gamma_i > 1$ , и любая конечно порожденная нетривиальная подгруппа бесконечного индекса свободно дополняема.

Это утверждение является следствием теоремы 1.

**Теорема 1.** Пусть  $G$  – свободное произведение двух групп  $A$  и  $B$  с объединенной подгруппой  $U$ , причем один из множителей является нетривиальным свободным произведением, отличным от группы диэдра,  $U$  удовлетворяет условию максимальности для подгрупп, и  $H$  – конечно порожденная подгруппа бесконечного индекса в  $G$ . Тогда в группе  $G$  существует бесконечно порожденная подгруппа  $Q$  такая, что подгруппа, порожденная подгруппами  $H$  и  $Q$ , является свободным произведением  $H * Q$ .

**ДОКАЗАТЕЛЬСТВО.** Пусть  $G = A *_U B$  удовлетворяет условию теоремы, и  $H$  – конечно порожденная подгруппа бесконечного индекса в группе  $G$ .

Если  $H$  окажется в сопряжении подгруппы  $U$ , то поскольку индекс  $U$  в  $A$  бесконечен, то, тем более, бесконечен индекс в  $A$  подгруппы, лежащей в  $U$ .

Конечно порожденная подгруппа бесконечного индекса в свободном произведении, отличном от бесконечной диэдральной группы, обладает свойством свободной дополняемости [2]. Более того, дополняющий множитель всегда содержит свободную группу ранга два.

Итак, можно считать, что  $H$  не лежит в сопряжении подгруппы  $U$ . Кроме того, бесконечность индекса  $[G: H]$  влечет бесконечность  $[G: (H, U)]$ . Из теоремы 1.7 из [3] следует бесконечность индекса  $[A: (U, U)]$ .

Далее воспользуемся обозначениями из [3]. Пусть  $S$  – множество элементов из группы  $A *_U B$ , причем каноническая форма элемента  $s$  из  $S$  имеет вид

$$s = s_{1(s)} g_{2(s)} \dots g_{n(s)}.$$

Определим множество  $\bar{t}_X(S)$ , зависящее от  $S$  и от  $X$  ( $X = A$  или  $X = B$ ), по правилу:

$$\bar{t}_X(S) = \{x \in X \mid x \equiv g_{n(s)} \pmod{(U, U)}; s \in S \setminus (A \cup B)\}.$$

Теперь для подходящего элемента  $g$  из  $G$  множество  $\bar{t}_B(H^g)$  пусто, а  $\bar{t}_A(H^g) = \{U a_0 U\}$ , где  $a_0$  – любой, наперед заданный элемент из  $A \setminus U$ .

Можно считать, что подгруппа  $H$  уже обладает этим свойством, то есть  $g = 1$ , и, кроме того, элемент  $a_0$  из  $A \setminus U$  можно выбрать так, что подгруппа  $R = gp(U, a_0)$  имела бесконечный индекс в подгруппе  $A$ .

Для каждого элемента  $d$  из  $D = A \cap H$  и каждого  $t$  из  $\bar{t}_A(H)$  произведение  $td$  снова принадлежит множеству  $\bar{t}_A(H)$ , равному по предположению  $U a_0 U$ . Другими словами, каждый элемент  $d$  из  $D$  можно представить в виде

$$d = u_1 a_0^{-1} u_2 a_0 u_3,$$

где  $u_1, u_2, u_3$  – подходящие элементы из  $U$ .

Отсюда следует, что  $D$  содержится в  $R$ . По теореме 1.8 из [3] найдется такая бесконечная подгруппа  $Q$  из  $A$ , что

$$gp(R, Q) = R * Q.$$

Покажем, что подгруппа  $\bar{H}$ , порожденная подгруппами  $H$  и  $Q$ , является их свободным произведением  $H * Q$ .

Для этого нужно установить, что если  $p$  – элемент из  $\overline{H}$ , являющийся произведением вида

$$p = p_1 p_2 \dots p_n, \quad (**)$$

где  $n \geq 1$ , а  $p_i$  – неединичные элементы, выбранные поочередно из подгрупп  $Q$  и  $H$ , то  $p \neq 1$ .

Если все те элементы  $p_i$  из (2.1), которые входят в  $H$ , являются одновременно и элементами из  $A$  (т.е. принадлежат пересечению  $D$ ), то элемент  $p$  принадлежит свободному произведению  $Q * D$ , и (2.1) является нормальной формой элемента  $p$  относительно разложения  $Q * D$ .

Поэтому можно считать, что не все  $p_i$  из разложения (\*\*) являются элементами из  $A$ . Рассмотрим тогда вместо (\*\*) другое разложение элемента  $p$ ,

$$p = q_1 q_2 \dots q_k, \quad \text{где } 1 \leq k < n, \quad (***)$$

полученное из (\*\*) некоторой группировкой множителей  $p_i$ . А именно: элемент  $q_j$  – это некоторый  $p_i$ , если  $p_i \in H \setminus A$ , либо же  $q_j$  является произведением

$$p = p_\alpha p_{\alpha+1} \dots p_\beta,$$

где  $1 \leq \alpha < \beta \leq n$ , и все множители  $p_\alpha, p_{\alpha+1}, \dots, p_\beta$  принадлежат  $A$ , но элемент  $p_{\alpha-1}$  (в случае, когда  $\alpha > 1$ ) и элемент  $p_{\beta+1}$  (в случае, когда  $\beta < n$ ) не принадлежат  $A$ .

Таким образом, в разложении (\*\*\*) множители оказываются поочередно выбранными из  $H \setminus A$  и свободного произведения  $Q * R$ . При этом если  $q_j$  – элемент из  $Q * R$ , то он не входит в свободный множитель  $R$ .

Это значит, что для каждых элементов  $r_1, r_2$  из  $R$  произведение  $r_1 q_j r_2$  также не принадлежит подгруппе  $R$ .

С другой стороны, если  $h \in H \setminus A$  и  $h = h_1 h_2 \dots h_m$  – его каноническая форма, то, так как  $\bar{i}_A(H) \subseteq R$ , получаем, что из  $h_m \in A$  следует  $h_m \in R$  (и из  $h_1 \in A$  следует  $h_1 \in R$ ).

Следовательно, каноническая форма элемента  $p$  имеет, самое меньшее,  $k$  слогов, т.е. в частности,  $p \neq 1$ .

Таким образом,  $H_2 = H * Q$ ; и утверждение доказано.

**ТЕОРЕМА 2.** Если  $G$  – дискретная группа, сохраняющих ориентацию движений гиперболической плоскости,  $G$  – не почти абелева и неизоморфна группам с представлением

$$\langle a_1, b_1, \dots, a_n, b_n; ([a_1, b_1] \dots [a_n, b_n])^k \rangle \text{ или } \langle a, b; a^n, b^m (ab)^k \rangle,$$

где  $k > 1$ , и  $H$  – конечно порожденная подгруппа группы  $G$ , то в  $G$  существует бесконечно порожденная подгруппа  $Q$  такая, что подгруппа  $H_1$ , порожденная подгруппами  $H$  и  $Q$ , является свободным произведением  $H * Q$ .

**ДОКАЗАТЕЛЬСТВО.** Если в группе с представлением (\*)  $s > 0$ , то  $G$  является свободным произведением циклических групп (а бесконечная группа диэдра почти абелева).

Если  $s = 0$ , представление (\*) становится представлением вида

$$G = \langle a_1, b_1, \dots, a_n, b_n, c_1, \dots, c_t; c_1^{r_1}, \dots, c_t^{r_t}, [a_1, b_1] \dots [a_n, b_n] c_1 \dots c_t \rangle.$$

Теперь, если  $n > 0$  и  $t > 1$ , то группу  $G$  можно представить в виде

$$G = gp(a_1, b_1, \dots, a_n, b_n) *_U gp(c_1, \dots, c_t),$$

где  $U = gp([a_1, b_1] \dots [a_n, b_n]) = gp(c_1^{-1} c_{t-1}^{-1} \dots c_1^{-1})$ .

Аналогично и в случае  $n > 1$  и  $t = 0$ , и тогда, когда  $n = 0$ ,  $t > 3$ .

В последнем случае может оказаться, что  $G$  является свободным произведением двух групп диэдра с объединенной циклической подгруппой,

$$G = \langle c_1, c_2, c_3, c_4 \mid c_1^2, c_2^2, c_3^2, c_4^2, c_1 c_2 c_3 c_4 \rangle.$$

Но такая группа  $G$  – почти абелева: подгруппа  $gp(c_1 c_2 (c_1 c_3)^2)$  – абелева и имеет конечный индекс в  $G$ .

Если  $s = n = 0$ ,  $t \leq 2$ , то группа  $G$  конечна.

Таким образом, все гиперболические группы, кроме случаев, когда в (\*)  $s = 0, n > 0, t = 1$  или  $s = 0, n = 0, t = 3$ , подпадают под условия теоремы 1.

### Литература

1. Дудкин Ф.А., Свиридов К.С. Дополнение подгруппы гиперболической группы свободным множителем // Алгебра и логика. – 2013. – Т. 52. – № 3. – С. 332–351.
2. Горюшкин А.П. О конечно порожденных подгруппах свободного произведения двух групп с объединенной подгруппой // Уч. зап. Иванов. пед. ин-та. – Иваново. – 1972. – Вып. 117. – С. 11–43.
3. Горюшкин А.П. Группы, разложимые в свободное произведение (строение и применение) – Pal. Acad. Publ. – Саарбрюккен, 2012. – 142 с.

УДК 519.876.5:621.39

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

А.В. Жирнова

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань*

В статье приведены модели деятельности телекоммуникационного предприятия. Объектом исследования является организационная система управления телекоммуникационной компанией. Применены принципы системного и информационного моделирования, разработаны модели бизнес-процессов, семантическая и математическая модель управления телекоммуникационным предприятием.

Отрасль связи является важнейшей составляющей экономики страны. А средствам связи отводится особая роль в формировании единого информационного пространства.

Телекоммуникационное предприятие является сложнейшей организационно-технической системой, управление которым представляет собой сложную задачу. Система управления телекоммуникационной компанией характеризуется такими свойствами, как сложность, многокомпонентность, разнородность, стохастичность, множеством взаимодействующих связей между элементами всей системы управления. Большинство сложностей по предоставлению телекоммуникационных услуг связано с получением точной и своевременной информации от всех участников процесса. Это требует координации действий различных подразделений телекоммуникационной компании. Информационное обеспечение процессов управления телекоммуникационной компанией содержит информацию о внутренней и внешней среде рынка телекоммуникационных услуг, информацию, необходимую для формирования и реализации управленческих решений, информацию для планирования его деятельности.

Современный подход в области управления экономическими объектами основан на системном подходе, который позволяет структурировать определенную проблему на анализе имеющейся информации, затем установить взаимосвязи составляющих проблемы, дать, где это возможно, количественные оценки, после этого применить аппарат математического или иного моделирования и выбора наилучших решений [1].

К основным производственным процессам телекоммуникационного предприятия относятся процессы, необходимые для производства и реализации телекоммуникационных услуг. На рис. 1 представлена схема жизненного цикла телекоммуникационных услуг на основе стандарта ISO-9004-1:1994.



Рис. 1. Основные процессы на основе схемы жизненного цикла услуг телекоммуникационного предприятия по ISO 9004-1:1994

Однако ISO 9004-1:1994 не позволяет отобразить взаимодействие между этими процессами. Для отображения взаимосвязи между процессами в организации целесообразно использовать схему IDF0. Схема IDF0 позволяет наглядно структурировать процессы организации и графически отобразить взаимодействие между этими процессами. Особенно важно, что в нотации IDF0 при помощи специальных стрелок можно показывать управленческие воздействия, что дает возможность описывать систему управления процессами и организацией. В соответствии с нотацией IDF0 была построена детализированная диаграмма бизнес-процесса по предоставлению услуги подключения к сети Интернет (рис. 2).

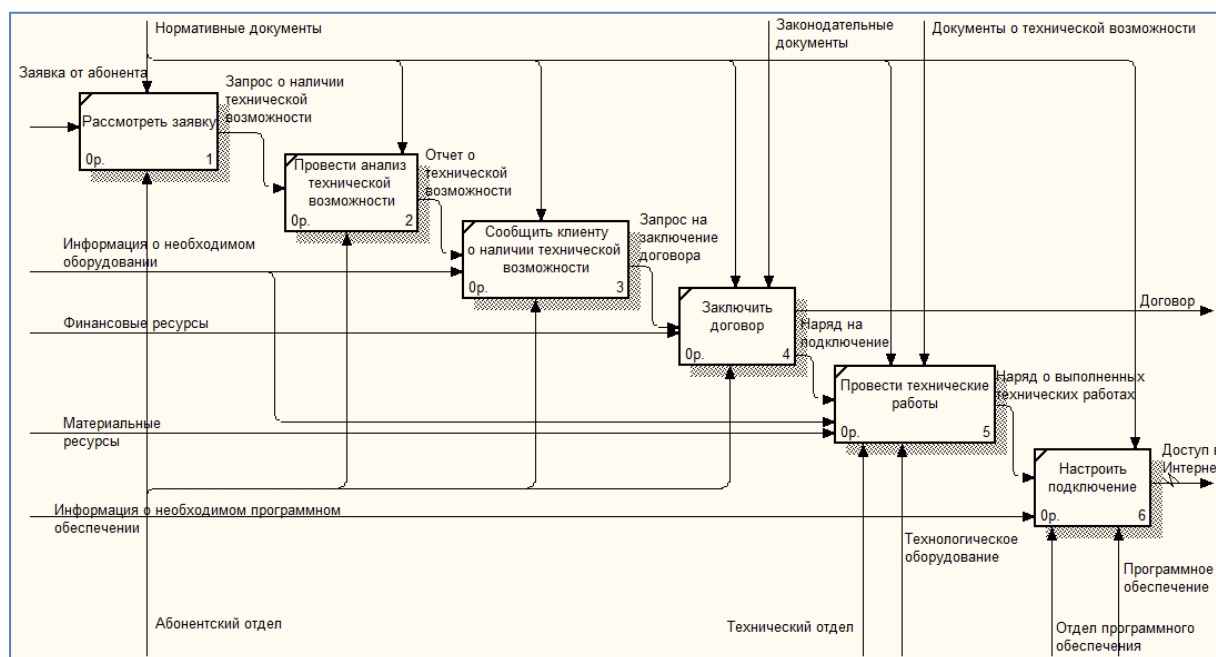


Рис. 2. Детализированная диаграмма бизнес-процесса по предоставлению услуги доступа к сети Интернет

Процессный подход в управлении организации является одним из этапов создания системы поддержки принятия решений в управлении телекоммуникационным предприятием, которая

позволит эффективно принимать управленческие решения при планировании и распределении ресурсов предприятия: трудовых, финансовых, технических и др.

Разработанные модели: модель телекоммуникационного предприятия согласно стандарта ISO-9004-1:1994 и модель бизнес-процесса в нотации IDF0 позволяют избавиться от абстракции исходного объекта моделирования и перейти к его информационному описанию, отражающему цели исследования.

На основе детализированной диаграммы бизнес-процесса в нотации IDF0 (рис. 2.) разработана семантическая модель процесса предоставления телекоммуникационных услуг, описывающая предметную область объекта управления в виде кортежа:

$$PI = \langle BP, IP, DR, WR, TO, FI \rangle, \quad (1)$$

где  $B = \{b_i / i = 1 \dots n\}$  – множество бизнес процессов;  $IP$  – множество информационных потоков;  $D = \{d_j / j = 1 \dots m\}$  – множество документов,  $d_j = \{v_d^j, r_d^j\}$ ,  $v_d^j$  – вид документа,  $r_d^j$  – реквизиты документа;  $W = \{w_k / k = 1 \dots l\}$  – множество трудовых ресурсов,  $w_k = \{s_w^k, q_w^k\}$ ,  $s_w^k$  – вид трудовых ресурсов,  $q_w^k$  – количество;  $T = \{t_z / z = 1 \dots p\}$  – множество технологического оборудования,  $t_z = \{q_t^z, h_t^z, e_t^z\}$ ,  $q_t^z$  – вид технологического оборудования,  $h_t^z$  – технические характеристики оборудования,  $e_t^z$  – количество единиц технологического оборудования;  $F = \{f_b / b = 1 \dots c\}$  – множество финансовых ресурсов,  $f_b = \{a_f^b, o_f^b\}$ ,  $a_f^b$  – источник финансовых ресурсов,  $o_f^b$  – объем ресурса.

С целью повышения эффективности управления телекоммуникационным предприятием при принятии решений была разработана иерархическая структура целей управления телекоммуникационной компанией (рис. 3). Для определения иерархической системы целей телекоммуникационной компании проведен анализ внутренней и внешней среды компании. Анализ проводился на примере крупнейшего телекоммуникационного предприятия Астраханской области АФ ОАО «Ростелеком».

Структура дерева целей отражает структуру решаемой проблемы. Глобальная цель определяется наряду с целями других подразделений на основе глобальной цели управления организации  $Q_0$  путем ее распределения по подразделениям или подсистемам в виде квот или долей в виде некоторой операции отображения

$$Q_0 \xrightarrow{\forall I} \{Q_i^I\} \quad (2)$$

Обозначим глобальную цель через  $Q_0$ , набор локальных целей первого иерархического уровня – через  $\{Q_i^I\}$ , второго – через  $\{Q_i^{II}\}$  и т.д. Иерархическая структура целей в системе запишется так:

$$Q_0 \rightarrow \{Q_i^I\} \rightarrow \{Q_i^{II}\} \dots \quad (3)$$

Разработанная структура целей управления телекоммуникационной компанией (рис. 3) показывает, что глобальной целью системы управления является оптимальное управление телекоммуникационным предприятием. Формирование глобальной цели состоит из шести локальных целей  $Q_0 = \{Q_1^I, Q_2^I, Q_3^I, Q_4^I, Q_5^I, Q_6^I\}$ . Где каждая из частных целей  $\{Q_i^I\}$  – цель некоторой подсистемы или некоторого подразделения организации. Каждую цель следует уточнить по типу конечного продукта  $Q_1^{II}, Q_2^{II}, Q_3^{II}, Q_4^{II}, Q_5^{II}, Q_6^{II}$ . Набор локальных целей сам имеет иерархическое строение и в той или иной степени соответствует общей иерархии в системе. Для любой из локальных целей можно указать, в какую цель более высокого уровня она входит. Согласование локальных целей обычно является сложной, плохо формализуемой процедурой. Одним из наиболее универсальных методов исследования сложных систем является системный подход [2]. Системный подход позволяет свести задачу (или систему) высокой размерности к связанным (соединенным) по определенным правилам более простым задачам (подсистемам или блокам) [3]. Для формализации представления структуры всех разнородных ресурсов, включенных в кортеж



$PI$ , предлагается использовать математическую модель на основе матрицы ресурсов, которая в общем виде имеет следующий вид:

$$R = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n-1,1} & R_{n-1,2} & \dots & R_{n-1,n} \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{n,n} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

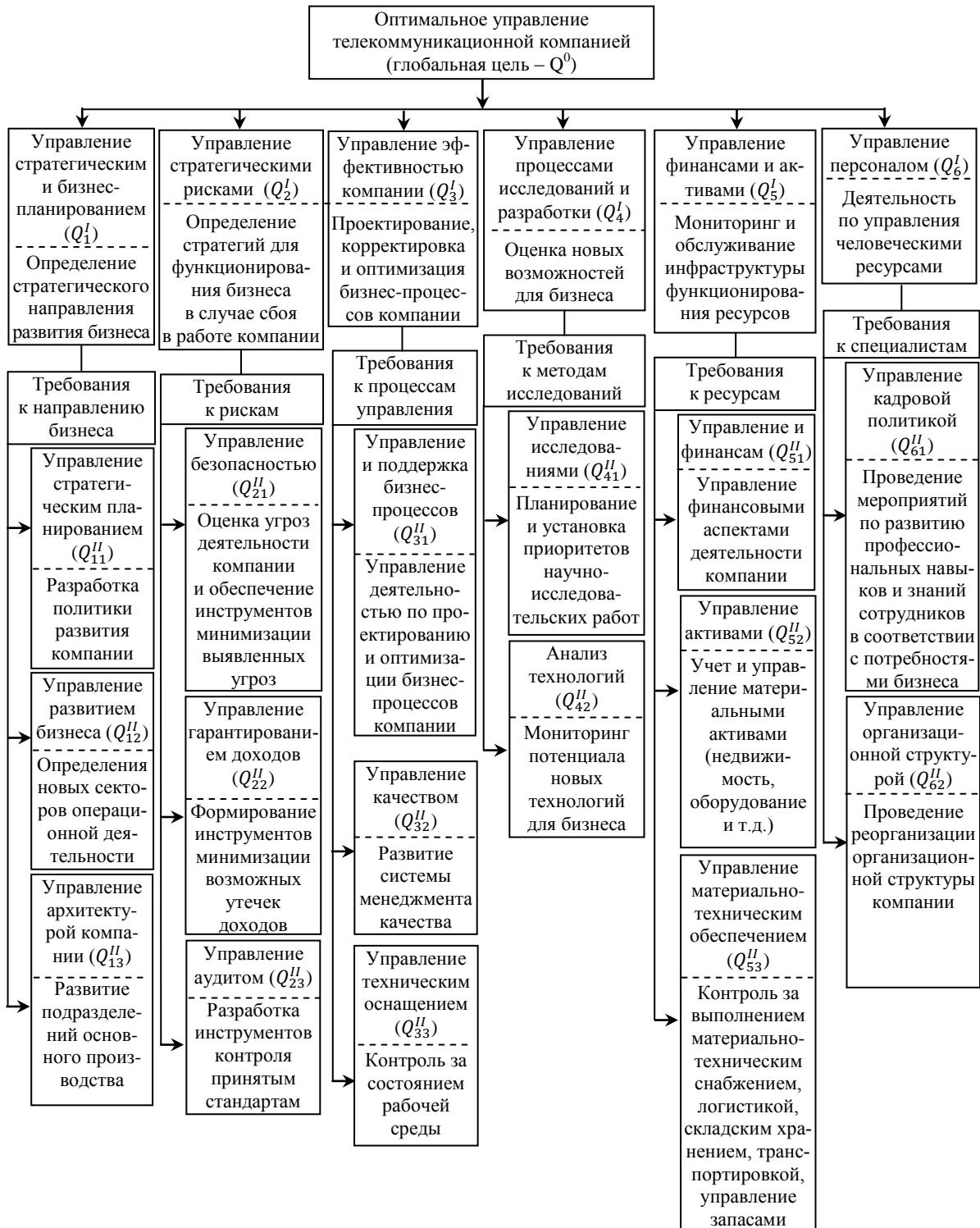


Рис. 3. Иерархическая структура целей телекоммуникационной компании

Диагональные элементы матрицы отражают ресурсы  $R_{ij}$  элементов множества  $PI$ , недиагональные – ресурсы  $R_{ji}$  интерфейсов между этими элементами связей между ними, причем  $R_{ij} \neq R_{ji}$  в общем случае. Естественно принять, что на диагонали представлены ресурсы только реальных элементов, т.е. ни один из диагональных элементов не равен нулю. Некоторые из недиагональных элементов вполне могут быть равными нулю.

Математическая модель управления телекоммуникационной компанией может быть представлена в виде совокупности:

$$MC = \langle TC, ITC, OTC, FTC, PV \rangle, \quad (5)$$

где  $TC$  – объект моделирования (в данной модели под объектом моделирования рассматривается процесс управления телекоммуникационной компанией);  $ITC$  – входные параметры модели, включают параметры элементов семантической модели предоставления телекоммуникационных услуг;  $OTC$  – выходные параметры (эффективные управленческие решения, целевая функция, минимизирующая трансформационные издержки);  $FTC$  – функция перевода (алгоритмы поиска оптимального решения по заданным критериям выбора);  $PV$  – правила вывода.  $PV = \{ki, pm, ss\}$ ,  $ki$  – критерии информации,  $pm$  – правила менеджмента,  $ss$  – соответствие стандартам.

Разработанная структура целей показывает, что глобальной целью является оптимальное управление телекоммуникационной компанией. Структура целей системы управления телекоммуникационной компанией уточнила значимые задачи, включающие оперативное управление стратегическим и бизнес-планированием, эффективностью компании и рисками, процессами исследований, финансовыми и трудовыми ресурсами.

Разработанные модели бизнес-процессов, семантическая и математические модели, а также иерархическая структура целей позволяют перейти к созданию системы поддержки принятия решений для эффективного управления телекоммуникационной компанией.

### Литература

1. Резников Н.П., Демина Е.В. Менеджмент в телекоммуникациях. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
2. Костров А.В., Александров Д.В. Уроки информационного менеджмента: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 304 с.
3. Чернышов В.Н. Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие / В.Н. Чернышов, А.В. Чернышов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с.

УДК 517.953

### СОЛИТОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЕВЯТОГО ПОРЯДКА

И.А. Ильин<sup>1,2</sup>, И.В. Ильина<sup>3</sup>, А.С. Пережогин<sup>2</sup>, Д.С. Нощенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга,  
Петропавловск-Камчатский,

<sup>2</sup>Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
Паратунка, Камчатский край

<sup>3</sup>Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский

В работе рассмотрена классификация дифференциальных уравнений в частных производных девятого порядка, имеющих решения в виде солитона. Установлены соотношения между коэффициентами дифференциального уравнения, обеспечивающими наличие решения заданного порядка сингулярности решения и членов уравнения. Результаты приведены в виде соотношений, накладываемых на коэффициенты.

В работе [1] авторами проведена классификация дифференциальных уравнений  $1 + 1$  в частных производных седьмого порядка по пространственной переменной, имеющих односолитонные решения вида

$$u(x, t) = k(D_x)^s \log(f_n(x, t)), \quad (1)$$

где стоящая под знаком логарифма функция (функция Хироты) имеет вид:

$$f_n(x, t) = 1 + \exp(pt - qx + r) + \exp(2(pt - qx + r)) + \dots + \exp(n(pt - qx + r)) \quad (2)$$

( $n = 1, 2, 3$ ),

$s$  – порядок сингулярности предполагаемого решения на сингулярном многообразии при исследовании уравнения на прохождение теста Пенлеве.

Подробное изложение соответствующей методики приведено, например, в [2].

Заметим, что решений с  $f_n(x, t)$  при  $n > 3$  для уравнений 9 порядка не существует.

В 1995 г. Nuseir в работе [3] разработала упрощенный вариант метода Хироты и применила его к решению нелинейных уравнений 4–5 порядков. Этот метод использовался нами в качестве отправной точки исследования.

Целью работы является классификация уравнений  $1 + 1$  девятого порядка по пространственной переменной указанного типа на группы, имеющие односолитонные решения заданного вида (1). При этом рассматривались уравнения, в которых присутствуют все члены соответствующего порядка сингулярности  $E$  и только они.

Установлено, что уравнения имеют односолитонные решения только при наличии определенных связей между значениями коэффициентов при нелинейных членах уравнений. Это обусловлено тем, что существование солитона возможно только тогда, когда сжатие и диссипация компенсируют друг друга, оставляя форму бегущей волны неизменной. Эффекты взаимодействия солитонов в настоящей работе не рассматриваются.

Ниже приводятся соответствующие различным значениям  $s$  и  $E$  уравнения, формы решения и условия существования этих решений в виде соотношений между числовыми коэффициентами при членах уравнений. Масштабный множитель  $k$  может быть произвольным. Для всех уравнений выполняется дисперсионное соотношение  $p = q^9$ .

1. Случай  $s = 1, E = 10$ , уравнение имеет вид:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} + a_2 u(x, t)^8 \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) + a_3 u(x, t)^7 \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) + a_4 u(x, t)^6 \left( \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} \right) + \\ & + a_5 u(x, t)^6 \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right)^2 + a_6 u(x, t)^3 \left( \frac{\partial^6 u(x, t)}{\partial x^6} \right) + a_7 u(x, t)^4 \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) + \\ & + a_8 u(x, t)^4 \left( \frac{\partial^5 u(x, t)}{\partial x^5} \right) + a_9 u(x, t)^2 \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial^5 u(x, t)}{\partial x^5} \right) + a_{10} u(x, t)^2 \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) \times \\ & \times \left( \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} \right) + a_{11} u(x, t) \left( \frac{\partial^8 u(x, t)}{\partial x^8} \right) + a_{12} u(x, t) \left( \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} \right) \left( \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} \right) + \\ & + a_{13} u(x, t) \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} \right) \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) + a_{14} \left( \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} \right) \left( \frac{\partial^5 u(x, t)}{\partial x^5} \right) + \\ & + a_{15} \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} \right) + a_{16} \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right)^5 + a_{17} \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \times \\ & \times \left( \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} \right) \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) + a_{18} \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right)^2 \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right)^2 + a_{19} u(x, t)^{10} + \frac{\partial^9 u(x, t)}{\partial x^9} = 0. \end{aligned}$$

1.1. Существует решение в виде

$$u(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} \log(1 + \exp(pt - qx + r)).$$

Условия разрешимости имеют вид

$$\begin{aligned}
 a_2 &= \frac{-\frac{27}{1784}a_5 + \frac{1757}{1784}a_3}{k} - \frac{210}{223} \frac{a_4}{k^2} - \frac{5}{446} \frac{a_7}{k^3} - \frac{165}{223} \frac{a_8}{k^4} + \frac{3}{446} \frac{a_9 + \frac{144}{223}a_6}{k^5} + \frac{3}{446} \frac{a_{12}}{k^6} \\
 a_{10} &= \frac{2429}{892}(a_5 + a_3)k^4 - \frac{2306}{223}a_4k^3 + \frac{392}{223}a_7k^2 - \frac{8470}{223}a_8k - \frac{592}{223}a_9 + \frac{6723}{223}a_6 - \frac{146}{223} \frac{a_{12}}{k} \\
 a_{11} &= -\frac{27}{1784}(a_5 + a_3)k^6 + \frac{13}{223}a_4k^5 - \frac{5}{446}a_7k^4 + \frac{58}{223}a_8k^3 + \left(\frac{3}{446}a_9 - \frac{79}{223}a_6\right)k^2 + \frac{3}{446}ka_{12} \\
 a_{13} &= \frac{25473}{892}(a_5 + a_3)k^4 - \frac{24703}{223}a_4k^3 + \frac{4965}{223}a_7k^2 - \frac{118310}{223}a_8k - \frac{4763}{223}a_9 + \frac{171612}{223}a_6 - \frac{1195}{223} \frac{a_{12}}{k} \\
 a_{14} &= \frac{27}{1784}(a_5 + a_3)k^6 - \frac{13}{223}a_4k^5 + \frac{5}{446}a_7k^4 - \frac{58}{223}a_8k^3 - \left(\frac{3}{446}a_9 - \frac{79}{223}a_6\right)k^2 - \\
 &\quad - \frac{3}{446}ka_{12} + \frac{510}{k} \\
 a_{15} &= -\frac{5859}{1784}(a_5 + a_3)k^5 + \frac{2821}{223}a_4k^4 - \frac{1085}{446}a_7k^3 + \frac{12586}{223}a_8k^2 + \left(\frac{651}{446}a_9 - \frac{17143}{223}a_6\right)k - \\
 &\quad - a_{17} + \frac{205}{446}a_{12} + \frac{720}{k^2} \\
 a_{16} &= -\frac{893}{1784}(a_5 + a_3)k^3 + \frac{240}{223}a_4k^2 + \frac{165}{446}a_7k - \frac{5259}{223}a_8 - \left(\frac{7235}{446}a_9 - \frac{2384}{223}a_6\right) \frac{1}{k} - \\
 &\quad - \frac{99}{446} \frac{a_{12}}{k^2} + \frac{8640}{k^4} \\
 a_{18} &= -\frac{7409}{892}(a_5 + a_3)k^4 + \frac{7275}{223}a_4k^3 - \frac{1562}{223}a_7k^2 + \frac{38736}{223}a_8k + \frac{2855}{223}a_9 - \frac{58636}{223}a_6 - \\
 &\quad - \frac{267}{223} \frac{a_{12}}{k} + \frac{9720}{k^3} \\
 a_{19} &= 0.
 \end{aligned}$$

Здесь и ниже не приведенные в условиях разрешимости параметры могут быть произвольными.

1.2. Существует решение в виде

$$u(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} \log(1 + \exp(pt - qx + r) + \exp(2(pt - qx + r))).$$

Условия разрешимости имеют вид

$$\begin{aligned}
 a_2 &= -\frac{64497177367701480375280}{66587877006395487^8}, & a_3 &= -\frac{930651182609246788072752}{332939385081977437^7}, \\
 a_4 &= -\frac{57536606266230778695494}{332939385081977437^6}, & a_5 &= -\frac{89955964989610178128556}{66587877006395487^7}, \\
 a_6 &= \frac{135181332798342749872}{2946366230105997^3}, & a_7 &= -\frac{185781489694498389878790}{66587877006395487^5}, \\
 a_8 &= \frac{23667228550825872042882}{332939385081977437^4}, & a_9 &= -\frac{12959221691647718390561}{332939385081977437^3}, \\
 a_{10} &= -\frac{147589025563169107464937}{332939385081977437^3}, & a_{11} &= \frac{4007817153907755403}{332939385081077437}, \\
 a_{12} &= -\frac{6419442136425390288644}{332939385081077437^2}, & a_{13} &= \frac{30920402100338033581144}{66587877006395487^3}, \\
 a_{14} &= -\frac{20987725798088604582}{332939385081077437}, & a_{15} &= -a_{17} + \frac{150787831526340903860}{66587877006395487^2},
 \end{aligned}$$

$$a_2 = -\frac{18458013039528571593008}{6658787700639548k^4}, \quad a_{18} = \frac{4434917716501372264226}{6658787700639548k^3}, \quad a_{19} = 0.$$

1.3. Не существует решения в виде

$$u(x,t) = k \frac{\partial}{\partial x} \log(1 + \exp(pt - qx + r) + \exp(2(pt - qx + r)) + \exp(3(pt - qx + r))).$$

2. Случай  $s = 2$ ,  $E = 11$ , уравнение имеет вид:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + a_2 u(x,t)^4 \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) + a_3 u(x,t)^3 \left( \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial x^3} \right) + a_4 u(x,t)^2 \left( \frac{\partial^5 u(x,t)}{\partial x^5} \right) + \\ & + a_5 u(x,t)^2 \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right) + a_6 u(x,t) \left( \frac{\partial^7 u(x,t)}{\partial x^7} \right) + \\ & + a_7 u(x,t) \left( \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial x^3} \right) + a_8 u(x,t) \left( \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^4} \right) \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) + \\ & + a_9 u(x,t) \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^3 + a_{10} \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right)^2 \left( \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial x^3} \right) + a_{11} \left( \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) + \\ & + a_{12} \left( \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial^6 u(x,t)}{\partial x^6} \right) + a_{13} \left( \frac{\partial^3 u(x,t)}{\partial x^3} \right) \left( \frac{\partial^4 u(x,t)}{\partial x^4} \right) + \frac{\partial^9 u(x,t)}{\partial x^9} = 0. \end{aligned}$$

2.1. Существует решение в виде

$$u(x,t) = k \frac{\partial^2}{\partial x^2} \log(1 + \exp(pt - qx + r)).$$

Условия разрешимости имеют вид

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{3a_5 + 9a_3 + a_9}{k} - \frac{180a_4 + 30a_8 + 18a_7}{k^2} + \frac{5040a_6}{k^3} \\ a_{10} &= -\frac{a_5 + a_3 + a_9}{4} k - 12a_4 - \frac{9}{2} a_8 - \frac{3}{2} a_7 + \frac{-48a_{13} + 462a_6}{k} + \frac{50400}{k^2} \\ a_{11} &= -\frac{a_5 + a_3 + a_9}{4} k + 11a_4 + \frac{7}{2} a_8 + \frac{1}{2} a_7 + \frac{-36a_{13} - 336a_6}{k} + \frac{25200}{k^2} \\ a_{12} &= -a_{13} - a_6 - \frac{1020}{k}. \end{aligned}$$

2.2. Существует решение в виде

$$u(x,t) = k \frac{\partial^2}{\partial x^2} \log(1 + \exp(pt - qx + r) + \exp(2(pt - qx + r))).$$

Условия разрешимости имеют вид

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{10922a_9}{821k} + \frac{650664a_7 + 310260a_8}{821k^2} - \frac{109560780a_6}{821k^3} + \frac{14451245640}{821k^4} \\ a_3 &= \frac{9851}{2463} a_9 + \frac{186861a_7 + 87735a_8}{821k} - \frac{31326120a_6}{821k^2} + \frac{4155920910}{821k^3} \\ a_4 &= \frac{1}{18} a_9 k + \frac{7}{2} a_7 + \frac{3}{2} a_8 - 560 \frac{a_6}{k} + \frac{828990}{k^2} \\ a_5 &= -\frac{11242}{2463} a_9 - \frac{166359a_7 + 77685a_8}{821k} + \frac{28493220a_6}{821k^2} - \frac{3567076110}{821k^3} \\ a_{10} &= -\frac{1006}{2463} a_9 k - \frac{23550}{821} a_7 - \frac{12510}{821} a_8 - \frac{3936765a_6}{821k} - \frac{5108335200}{821k^2} \\ a_{11} &= \frac{4879}{14778} a_9 k + \frac{19865}{1624} a_8 + \frac{37569}{1642} a_7 - \frac{3295565a_6}{821k} + \frac{4226620950}{821k^2} \end{aligned}$$

$$a_{12} = \frac{2}{7389}a_9k^2 + \left(\frac{51}{3284}a_7 + \frac{25}{3284}a_8\right)k - \frac{8425}{1642}a_6 + \frac{4026825}{821k}$$

$$a_{12} = -\frac{2}{7389}a_9k^2 - \left(\frac{51}{3284}a_7 + \frac{25}{3284}a_8\right)k + \frac{6783}{1642}a_6 - \frac{4864245}{821k}.$$

2.3. Существует решение в виде

$$u(x, t) = k \frac{\partial^2}{\partial x^2} \log(1 + \exp(pt - qx + r) + \exp(2(pt - qx + r)) + \exp(3(pt - qx + r))).$$

Условия разрешимости имеют вид

$$a_2 = \frac{135603624c}{17k^4}, \quad a_3 = \frac{840144640}{17k^3}, \quad a_4 = \frac{32366544}{17k^2}, \quad a_5 = -\frac{1742838960}{17k^3}, \quad a_6 = \frac{213272}{51k},$$

$$a_7 = \frac{106129840}{17k^2}, \quad a_8 = -\frac{185863544}{17k^2}, \quad a_9 = \frac{825363120}{17k^3}, \quad a_{11} = -\frac{14786260}{k^2}, \quad a_{12} = -\frac{507170}{51k},$$

$$a_{13} = \frac{80626}{17k}.$$

Отмечаем, что это единственное уравнение в заданном классе с точностью до множителя  $k$ .

3. Случай  $s = 3, E = 12$ , уравнение имеет вид

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} + a_2 u(x, t)^4 + a_3 u(x, t)^2 \left( \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} \right) + a_4 u(x, t) \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) +$$

$$+ a_5 u(x, t) \left( \frac{\partial^6 u(x, t)}{\partial x^6} \right) + a_6 \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right)^3 + a_7 \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial^5 u(x, t)}{\partial x^5} \right) +$$

$$+ a_8 \left( \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} \right) \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) + a_9 \left( \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} \right)^2 + \frac{\partial^9 u(x, t)}{\partial x^9} = 0.$$

3.1. Существует решение в виде

$$u(x, t) = k \frac{\partial^3}{\partial x^3} \log(1 + \exp(pt - qx + r)).$$

Условия разрешимости имеют вид

$$a_2 = -\frac{12a_4}{k} - \frac{1440 + 2268a_9 + 1692a_7}{k^2} + \frac{3540240}{k^3}$$

$$a_3 = -a_4 - \frac{180 + 228a_9 + 192a_7}{k} + \frac{397440}{k^2}$$

$$a_5 = -1 - a_9 - a_7 + \frac{2040}{k}$$

$$a_6 = \frac{32a_9 + 68a_7}{k} - \frac{44160}{k^2}.$$

Решений другого типа нет.

4. Случай  $s = 4, E = 13$ , уравнение имеет вид

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} + a_2 u(x, t)^2 \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) + a_3 u(x, t) \left( \frac{\partial^5 u(x, t)}{\partial x^5} \right) + a_4 \left( \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right) \left( \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} \right) +$$

$$+ a_5 \left( \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} \right) + \frac{\partial^9 u(x, t)}{\partial x^9} = 0.$$

4.1. Существует решение в виде

$$u(x, t) = k \frac{\partial^4}{\partial x^4} \log(1 + \exp(pt - qx + r)).$$

Условия разрешимости имеют вид

$$a_2 = \frac{252000}{k^2}, \quad a_3 = \frac{1800}{k}, \quad a_4 = \frac{1800}{k}, \quad a_5 = \frac{420}{k}.$$

Отмечаем, что в заданном классе это уравнение также единственно с точностью до множителя  $k$ . Решений другого типа в этом классе сингулярности нет.

5. При  $s \geq 5$  уравнения классифицируемого типа решений не имеют.

### Литература

1. Ильин И.А., Ильина И.В., Пережогин А.С., Ноценко Д.С. Солитонные решения дифференциальных уравнений седьмого порядка // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Четвертой всерос. науч.-практ. конф. (23–25 апреля 2013 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2013. – Ч. 1. – С. 11–18.

2. Conte R., Magri F., Musette M., Satsuma J., Winternitz P. Direct and Inverse Methods in Nonlinear Evolution Equations Lectures Given at the C.I.M.E. Summer School Held in Cetraro, Italy, September 5–12. – 1999. – С. 278.

3. Nuseir A. Symbolic Computation of Exact Solutions of Nonlinear Partial Differential Equations Using Direct Methods. Thes. DPh, Colorado School of Mines. – Colorado. – 1995. – 126 с.

УДК 004.9:378.147

## ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ, ПРИНЦИПЫ ПОДГОТОВКИ И ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНИКОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ В ВЫСШЕМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

Н.Л. Недвигина

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

Данная статья посвящена основным этапам разработки, анализу достоинств и недостатков, программному сопровождению, форме и структуре, дополнительным возможностям, основным принципам подготовки и создания электронного учебника.

Стремительный процесс компьютеризации образования на основе современных компьютерных систем, поступающих в учебные заведения страны, открывает в образовании путь электронным учебникам. Электронные учебники начинают занимать все большее место в жизни высших учебных заведений. На сегодняшний день идет активный процесс по созданию электронных учебников в гипертекстовой форме и их внедрения в учебный процесс. Электронный учебник можно определить как совокупность графической, текстовой, цифровой, речевой, музыкальной, видео, фото и другой информации, а также печатной документации пользователя. Электронное издание может быть исполнено на любом электронном носителе, а также опубликовано в компьютерной сети. Как и в создании любых сложных систем, при подготовке электронного учебника решающим для успеха является талант и мастерство авторов. Тем не менее существуют устоявшиеся формы электронных учебников, точнее, конструктивных элементов, из которых может быть построен учебник.

Современные электронные учебники должны обеспечивать творческую работу студента с объектами изучения и с моделями систем взаимодействующих объектов. Именно творческая работа, лучше в рамках проекта, сформулированного преподавателем, способствует формированию и закреплению комплекса навыков и умений у студентов. Электронный учебник должен быть адаптируемым к учебному процессу. То есть позволять учитывать особенности конкретного образовательного учреждения, конкретной специальности, конкретного студента. Для этого необходима соответствующая авторская среда. Такая среда, например, обеспечивает включение дополнительных материалов в электронную энциклопедию, позволяет пополнять задачник, готовить раздаточные материалы и методические пособия по предмету. Фактически, это подобие инструмента, с помощью которого создается сам электронный учебник. Традиционно электронные учебники вербальны по своей природе. Они излагают теорию в текстовой или графической

форме. Это является наследием полиграфических изданий. Но в электронном учебнике возможно реализовать методический прием «делай, как я». Такая среда наделяет электронный учебник чертами живого преподавателя [1].

Основные этапы разработки электронного учебника: выбор источников, разработка оглавления и перечня понятий, переработка текстов в модули по разделам, реализация гипертекста в электронной форме, разработка компьютерной поддержки, отбор материала для мультимедийного воплощения, реализация звукового сопровождения, визуализация материала.

Использование электронных учебных пособий в образовательном процессе вуза позволяет более глубоко изучить материал, ознакомиться более подробно с интересующими или трудными темами. Богатый и красочный иллюстративный материал в электронном пособии позволяет наглядно продемонстрировать теоретическую информацию во всем ее многообразии и комплексности. При использовании электронных учебных пособий происходит не только репродуктивная деятельность студентов, но и абстрактно-логическая, что способствует лучшему осознанию и усвоению учебного материала. Очень важен тот факт, что студент имеет возможность и на лекции, и на практических занятиях, и в процессе самостоятельной работы пользоваться одним и тем же электронным ресурсом, использование которого в образовательном процессе формирует целостный образ изучаемого предмета. Можно сделать вывод, что электронный учебник должен, сохраняя все возможности обычных учебников, обладать принципиально новыми, по сравнению с ними, качествами, включающими элементы гипермедиа и виртуальной реальности, обеспечивающими высокий уровень наглядности, иллюстративности и высокой степени интерактивности, обеспечивать новые формы структурированного представления больших объемов информации и знаний, возможности эффективного поиска требуемой информации [2]. В настоящее время среди основных требований при создании электронных учебников для образовательного процесса: научности, доступности, проблемности, большое внимание уделяется наглядности обучения: чувственному восприятию изучаемых объектов. Наглядность обучения при использовании компьютерных программ имеет некоторые преимущества перед обучением с использованием традиционных учебников. В программах с мультимедийным представлением информации появляется возможность создания не только зрительных, но и слуховых ощущений. Электронные учебники существенно повышают качество самой визуальной информации, она становится ярче, красочнее, динамичней. Появляется возможность наглядно-образной интерпретации существенных свойств не только тех или иных реальных объектов, но даже и научных закономерностей, теорий, понятий.

#### **Электронные учебники в формате Word, PowerPoint**

Нет нужды представлять документы в этих распространенных форматах. С их помощью можно легко и быстро подготовить качественное электронное учебное пособие со встроенной системой самоконтроля.

#### **Электронные учебники в формате Acrobat**

Имеется прекрасно зарекомендовавший себя формат PDF электронных документов от компании с мировым именем Adobe Systems. Для чтения электронных учебников в этом формате применяется свободно распространяемая программа Acrobat Reader. Для создания же электронных учебников используется программа Acrobat с широкими возможностями, вполне доступная образовательным организациям. Многие млн электронных документов в мире выполнены именно в формате PDF.

В настоящее время существует много свободно распространяющихся программ-оболочек, с помощью которых можно создать наглядный, красочный и интересный для студентов электронный учебник.

#### **Кому и зачем нужен электронный учебник?**

##### **1. Для самостоятельной работы студентов:**

облегчает понимание изучаемого материала за счет иных, нежели в печатной учебной литературе, способов подачи материала: индуктивный подход, воздействие на слуховую и эмоциональную память;

- допускает адаптацию в соответствии с потребностями студента, уровнем его подготовки, интеллектуальными возможностями и амбициями;
- освобождает от громоздких вычислений и преобразований, позволяя сосредоточиться на сути предмета, рассмотреть большее количество примеров и решить больше задач;
- предоставляет возможности для самопроверки на всех этапах работы;



– выполняет роль наставника, предоставляя неограниченное количество разъяснений, повторений, подсказок.

2. На практических занятиях:

– позволяет преподавателю проводить занятие в форме самостоятельной работы за компьютерами, оставляя за собой роль руководителя и консультанта;

– позволяет преподавателю с помощью компьютера быстро и эффективно контролировать знания студентов, задавать содержание и уровень сложности контрольного мероприятия;

– позволяет использовать компьютерную поддержку для решения большего количества задач, освобождает время для анализа полученных решений и их графической интерпретации [3].

Электронный учебник по конкретному учебному предмету может содержать материал нескольких уровней сложности. При этом он будет весь размещен на одном лазерном компакт-диске, содержать иллюстрации и анимацию к тексту, многовариантные задания для проверки знаний в интерактивном режиме для каждого уровня. Наглядность в электронном учебнике значительно выше, чем в печатном. Электронный учебник обеспечивает многовариантность, многоуровневость и разнообразие проверочных заданий, тестов. Электронный учебник позволяет все задания и тесты давать в интерактивном и обучающем режиме. При неверном ответе можно давать верный ответ с разъяснениями и комментариями. Многие электронные учебники являются по своей структуре открытыми системами. Их можно дополнять, корректировать, модифицировать в процессе эксплуатации. В соответствии с требованиями к автоматизированным обучающим системам, таким как наличие обучающей части, возможность корректировки и дополнения материала, наличие части для самопроверки, а также в соответствии с особенностями усвоения учебного материала студентами, формируется цель – разработать программное обеспечение электронного интерактивного учебника.

Для реализации цели необходимо выполнить ряд задач: разработать требования к программному обеспечению, разработать программное приложение, разработать учебный материал, разработать тестовую информацию, разработать выходную таблицу результатов.

Сформулируем принципы разработки современных электронных учебников:

– представление информации с использованием всего спектра мультимедиа-данных: текста, графики, аудио, видео, анимации;

– развитые возможности поиска и навигации в сочетании с обширной информационно-справочной информацией;

– объективная и всесторонняя система контроля знаний;

– возможности интерактивной связи студента и преподавателя с использованием сетевых технологий.

**Достоинства электронного учебника:**

– Повышается производительность труда преподавателя.

– Работа с электронными учебниками активизирует самостоятельное мышление студентов.

– Индивидуальный темп обучения. Под этим подразумевается не только «индивидуализация» по времени, так как обучение при данной системе подчинено жестким временным рамкам, но и вариантность развернутости учебного материала, учет типа памяти, темперамента и мышления студента.

– Режим электронных конференций позволяет эффективно производить чтение проблемных лекций.

– Электронный учебник восприимчив к новой информации, оперативно можно вводить нововведения, связанные с реформированием общественно-политической, экономической жизнью.

– Осуществление широкого контроля учебной деятельности, в том числе и самостоятельной работы обучающихся.

– Приобщение к использованию современных информационных технологий как обучающихся, так и преподавателей.

– Использование мультимедийных возможностей, позволяющее сделать содержание более наглядным, понятным.

– Возможность снабдить учебный материал динамическими рисунками, использование которых позволяет студенту экспериментировать, рассматривать изучаемое явление с разных сторон.

– Возможность моделировать.

– Возможность быстро и эффективно тестировать или как-нибудь иначе проверять знания студентов.

– Возможность организовывать самостоятельную работу студентов, давать подсказки, справки и многое другое.

– Использование гипертекстовых ссылок, позволяющее мгновенно отыскать нужное понятие, в считанные доли секунды «перелистать» многие страницы изучаемого текста [1].

Пожалуй, одно из самых главных достоинств – возможность организовывать виртуальную лабораторную работу, которую по тем или иным причинам невозможно провести в реальной обстановке.

Электронный учебник аккумулирует в себе все основные дидактические, методические, научные и информационно-справочные материалы, необходимые преподавателям для подготовки и проведения всех видов и форм занятий, а также слушателям для самостоятельного изучения учебных тем или подготовки к занятиям, проводимым под руководством преподавателя, и получения дополнительных информационно-справочных сведений по учебной дисциплине. Кроме того, он предоставляет возможность слушателям качественно решать задачи самоконтроля усвоения материалов по учебной дисциплине, а преподавателям – объективно осуществлять текущий и итоговый контроль за успеваемостью студентов. Возможность построения простого и удобного механизма навигации в пределах электронного учебника. В печатном издании таких возможностей две: оглавление и колонтитулы, иногда к ним также относят глоссарий. Однако для практической реализации этих возможностей необходимо листать страницы учебника. В электронном пособии используются гиперссылки и фреймовая структура или карты-изображения, что позволяет, не листая страниц, быстро перейти к нужному разделу или фрагменту и при необходимости также быстро возвратиться обратно. При этом не требуется запоминать страницы, на которых были расположены соответствующие разделы. Развитый поисковый механизм не только в пределах электронного учебника, но и вне его. В частности, по гипертекстовым ссылкам можно перемещаться по тексту издания, просматривать рисунки, обращаться к другим изданиям, ссылки на которые имеются в нем (литература и пр.), даже написать электронное письмо автору пособия с просьбой объяснить те или иные положения учебника. При использовании сетевых обучающих структур возможно обсудить положения учебника с другими студентами (в электронном читальном зале), оставаясь на своем рабочем месте. Возможность адаптации изучаемого материала к уровню знаний студента, следствием чего является улучшение восприятия и запоминания информации. Адаптация основана на использовании слоистой структуры издания, причем в соответствии с результатами тестирования студенту предоставляется слой, соответствующий уровню его знаний. Главное преимущество электронного учебника – это возможность интерактивного взаимодействия между студентом и элементами учебника. Уровни ее проявления изменяются от низкого и умеренного при перемещении по ссылкам до высокого при тестировании и личном участии студента в моделировании процессов. Если тестирование подобно собеседованию с преподавателем, то участие в моделировании процессов можно сопоставить с приобретением практических навыков в процессе производственной практики в реальных или приближенных к ним условиях производства. С внедрением электронных учебников изменяются и функции библиотеки. В этом случае ее роль играет электронный читальный зал, оборудованный компьютерами, объединенными в локальную сеть, которая связана с текстовой базой данных – хранилищем электронных учебников. Все читатели такой библиотеки без всякой очереди и ожидания могут самостоятельно выбирать и читать любые электронные учебники, в том числе и одинаковые, автоматически тиражируемые для них в любом количестве экземпляров [1].

Таким образом, существует большое количество преимуществ электронного учебника над печатным, поэтому проблема создания качественного электронного учебника является актуальной в настоящее время проблемой.

#### **В чем состоят недостатки электронного учебника?**

Пожалуй, единственным недостатком электронного учебника является неудобство чтения текстов с экрана монитора, хотя любую его часть в любой момент можно распечатать, а также современные мониторы и компьютерные программы делают чтение с экрана все более комфортным. Необходимость специального дополнительного оборудования для работы с ним, прежде всего – компьютера с соответствующим программным обеспечением и качественным монитором, а иногда дополнительно также дисковод для компакт-дисков и/или сетевой карты или модема для работы в локальной или глобальной сети; непривычность, нетрадиционность электронной формы представления информации и повышенной утомляемости при работе с монитором.

### Структура электронного учебника

Простейшим электронным учебником может являться конспект лекций преподавателя, набранный им самим (или даже студентами с целью размножения хорошего конспекта в большом числе экземпляров при минимальных затратах) и размещенный на студенческом сервере или на другом общедоступном электронном узле. Однако такой учебник, по существу, ничем не отличается от размноженного печатным методом конспекта и в нем никак не использованы специфические возможности электронного издания. Какие же это дополнительные возможности? Попробуем их перечислить. Можно выделить главные из них и дополнительные. К главным особенностям можно причислить: возможность построения простого и удобного механизма навигации в пределах электронного учебника; развитый поисковый механизм в пределах электронного учебника, в частности, при использовании гипертекстового формата издания; возможность встроенного автоматизированного контроля уровня знаний студента; возможность специального варианта структурирования материала; возможность адаптации изучаемого материала учебника к уровню знаний обучаемого, следствием чего является резкий рост уровня мотивации обучаемого; возможность адаптации и оптимизации пользовательского интерфейса под индивидуальные запросы обучаемого. К дополнительным особенностям электронного учебника по сравнению с печатным следует отнести: возможность включения специальных фрагментов, моделирующих течение многих физических и технологических процессов; возможность включения в состав учебника фрагментов видеофильмов для иллюстрации определенных положений учебника.

Электронное пособие для достижения максимального эффекта должно быть составлено несколько иначе по сравнению с традиционным печатным пособием: главы должны быть более короткие, что соответствует меньшему размеру компьютерных экранных страниц по сравнению с книжными, затем каждый раздел, соответствующий рубрикам нижнего уровня, должен быть разбит на дискретные фрагменты, каждый из которых содержит необходимый и достаточный материал по конкретному узкому вопросу. Как правило, такой фрагмент должен содержать один-три текстовых абзаца (абзацы также должны быть короче книжных) или рисунок и подпись к нему, включающую краткое пояснение смысла рисунка. Таким образом, студент просматривает не непрерывно излагаемый материал, а отдельные экранные фрагменты, дискретно следующие друг за другом. Изучив данный экран, студент нажимает кнопку «Следующий», размещенную обычно ниже текста, и получает следующий фрагмент материала. Если он видит, что не все понял или запомнил из предыдущего экрана, то нажимает расположенную рядом с первой кнопкой «Предыдущий» и возвращается на один шаг назад. Дискретная последовательность экранов находится внутри (и в пределах) наименьшей структурной единицы, позволяющей прямую адресацию, т. е. внутри параграфа или подпараграфа содержится один или несколько фрагментов, последовательно связанных друг с другом гипертекстовыми связями. На основе таких фрагментов проектируется слоистая структура учебного материала, которая содержит: слой, обязательный для изучения; слой для более подготовленных пользователей; слой для более глубокого изучения определенных разделов; вспомогательные слои; специальный слой «Основные понятия и определения»; дополнительный слой рекомендаций по применению полученных знаний. Такая организация учебного материала обеспечивает дифференцированный подход к обучаемым в зависимости от уровня их подготовленности, результатом чего является более высокий уровень мотивации обучения, что приводит к лучшему и ускоренному усвоению материала [4].

Важнейшим положительным фактором является использование при отображении признака цветности. Цветом могут выделяться следующие фрагменты: текстовые заголовки; блоки определенного текста; графика и иллюстрации; цветом же рекомендуется выделять все гипертекстовые ссылки, независимо от того, относятся ли они к текстовому или графическому фрагменту учебника. Цвет – притягательный фактор, он играет важную роль в распознавании информационных фрагментов, не говоря уж о его субъективной привлекательности для большинства пользователей компьютеров. Однако следует тщательно подбирать цветовые оттенки, в частности, стремясь к гармоничному их сочетанию, не вызывающему негативных эмоций у читателя. Языковые качества электронного текста также значительно отличаются от соответствующих характеристик печатного текста. В электронных изданиях следует использовать преимущественно короткие четкие предложения и сжатые параграфы, позволяя пользователю предельно быстро просмотреть экран, отыскивая нужную информацию. Познавательная ценность электронного

текста измеряется тремя характеристиками: первоначальная реакция пользователя на текст; привлекательность текста; его ясность.

### **Проблема ориентации и перемещения пользователя внутри электронного издания**

Ориентация студента в учебнике достигается несколькими путями. Прежде всего, как и в печатном издании, с помощью заголовков. Рубрикация электронного учебника должна характеризоваться большей глубиной (большим числом уровней), чем печатного. Целесообразно, чтобы каждый (или почти каждый) экран содержал заголовок раздела. Выше уже упоминалось, что разделы электронного учебника должны быть достаточно короткими, каждый раздел должен содержать исчерпывающую информацию по одному конкретному вопросу. Другой вариант ориентации связан с использованием в электронном учебнике колонтитулов (как и в печатном пособии). Колонтитул может быть предусмотрен на каждой экранной странице и позволяет контролировать название изучаемой главы и параграфа, т. е. пользователь не теряет ориентации в учебнике.

### **Какие подходы следует избрать при создании и использовании электронных средств обучения?**

При создании и использовании электронных средств обучения можно выделить три основных подхода: педагогический, информационный и личностно-ориентированный. Педагогический подход основан на необходимости реализации в учебном процессе различных дидактических целей (характер представления окружающей действительности, организация разнообразных видов учебно-познавательной деятельности, осуществление мотивационных, учебно-воспитательных и контрольно-корректирующих функций). Информационный подход направлен на создание своеобразной обучающей среды, в которой при использовании определенных педагогических технологий происходит процесс познания, интеллектуального развития. Личностно-ориентированный подход нацелен на соответствующие качества личности обучающихся, которые развиваются в ходе специально организуемой деятельности. Таким образом «Электронный учебник (ЭУ) – это обучающая программная система комплексного назначения, обеспечивающая непрерывность и полноту дидактического цикла процесса обучения: предоставляющая теоретический материал, обеспечивающая тренировочную учебную деятельность и контроль уровня знаний, а также информационно-поисковую деятельность, математическое и имитационное моделирование с компьютерной визуализацией и сервисные функции при условии осуществления интерактивной обратной связи» [2].

### **Что положено в основу построения электронного учебника?**

Гипертекст и гипермедиа.

Гипертекстовая структура получила исключительно широкое распространение в основном в информационно-справочных системах в различных областях знания. Такие программы обеспечивают электронный просмотр больших объемов иерархически организованной текстовой и графической информации. Гипертекстовая структура обеспечивает быстрый поиск информации по различным признакам. Гипертекст – это информационный массив, на котором заданы и автоматически поддерживаются связи между выделенными элементами. В виде гипертекста может быть представлена любая слабо формализованная совокупность текстов или изображений. Гипертекстовая форма представления информации является следствием эволюции средств общения людей между собой, и гипертекст соответствует природе мышления человека. Гипертекст в обобщенном смысле – это интерактивная информационная система, созданная на основе множества естественных и искусственных языков, гибких аппаратных и программных средств, позволяющих пользователю динамично и творчески взаимодействовать с изменяемым информационным массивом с целью получения нового для себя знания. Все большее распространение получают также системы гипермедиа. Под гипермедиа понимается способ организации мультимедиа. Мультимедиа предполагает объединение в компьютерной системе нескольких средств предоставления информации, а именно: текст, звук, графика, мультипликация, видео, пространственное моделирование. Гипермедиа состоит из узлов, которые являются основными единицами хранения информации и могут включать в себя страницы текста, графику, звуковую информацию, видеоклип или целый документ [4]. Взаимное согласование голоса лектора, музыкального и шумового сопровождения с визуальным рядом способно обеспечить образное восприятие учебного материала, эмоциональное воздействие на студента, что дает не только более глубокие и «долгоживущие» знания, но сопряжено с гораздо меньшей нагрузкой на зрение обучаемого.

**Какие дидактические принципы должны быть положены в основу электронного учебника?**

Это принцип наглядности, доступности, систематичности и последовательности, связи теории с практикой, научности, сознательности и активности, прочности знаний, выбора студентами индивидуальной образовательной траектории, ситуативности обучения, интерактивности. Электронные учебники могут дополняться презентациями, видеороликами, Flash-роликами. Презентации могут быть выполнены в любом формате, но должны быть понятными, не слишком яркими и анимированными. Хорошо если есть аудиокомментарии, так как в этом случае используются два способа восприятия информации. Если в ЭУ есть видеоролик, то нужно проверить звук и изображение.

**Из чего должен состоять электронный учебник?**

Помимо компонентов обычного учебника, а также иллюстраций и мультимедиа, электронный учебник должен включать вариативную и инвариантную часть. К инвариантной части относятся фундаментальные образовательные объекты и косвенно – основные технологии деятельности, которыми должны овладевать ученики в ходе работы с ЭУ. Фундаментальные образовательные объекты – это реальные и идеальные сущности, концентрирующие в себе познавательную и образовательную область (в определенной мере это основы образовательных стандартов, установленных на научно-педагогической основе). Технологии деятельности обычно выражают структурой учебного материала, предлагаемыми в ЭУ формами и видами деятельности учащихся, особенностями предлагаемых заданий, гипертекстовыми возможностями связанных между собой страниц. Вариативная часть ЭУ – это конструируемое преподавателем содержание этого учебника.

Основными пользователями ЭУ являются студенты. Большинство из них будет обучаться по ЭУ самостоятельно, вдали от университета и с минимальной поддержкой преподавателя. Поэтому контент (содержание) электронного учебника должен быть разработан так, чтобы студент имел возможность получить желаемые знания, обучаясь согласно своему личному ритму жизни. Т.е. при оценке качества в первую очередь нужно ответить на вопрос: может ли студент, используя предлагаемый учебный курс, учиться самостоятельно и при этом эффективно [3]. Таким образом, при оценке качества ЭУ нужно обратить внимание на контент курса и на удобство с точки зрения пользователя (элементы дизайна, навигации).

Форма электронного учебника – блочная. Это означает, что отдельные блоки могут заменяться, добавляться или изменяться в ходе обучения. В отличие от «бумажных» учебников замена электронных блоков не сопряжена с существенными затратами по переизданию. Содержание каждого отдельного блока электронного учебника включает в себя: раздел или тему, содержащую учебный материал, сгруппированный вокруг фундаментальных образовательных объектов; набор ключевых проблем по данной теме разного типа и назначения: научные решенные и нерешенные проблемы, учебные, организационные, технические и иные проблемы; лучшие работы студентов прошлых лет вместе с текстами-первоисточниками ученых и специалистов на эти же темы; новые работы студентов, лучшие из которых отбираются и включаются в виде отдельных частей изучаемого блока; задания и упражнения для студентов следующих типов: предваряющие изучение раздела, вводящие в круг вопросов; по составлению индивидуальной программы занятий по разделу; направленные на создание личных творческих результатов по ключевым проблемам; на сопоставление своих работ с аналогами; на усвоение образовательных стандартов; обеспечивающие необходимый тренинг и закрепление материала; на выполнение индивидуальных и коллективных творческих работ; на осознание, анализ деятельности и полученных результатов; на самооценку работы [1].

**Заключение**

Как показывает анализ, большинство студентов уже на ранних стадиях учебы прекрасно осознают необходимость применения компьютера в своей профессиональной деятельности. Эффект познания усиливается, если учебные задачи, решаемые в рамках информационных технологий обучения, связаны с практической деятельностью будущего специалиста или представляют интерес в его сегодняшней учебной работе. Все современные образовательные технологии направлены в т.ч. и на то, чтобы приучить студентов работать самостоятельно, так как именно самостоятельность дает возможность успешно адаптироваться к работе, в т.ч. и связанной с бы-

стро меняющимися технологиями. Таким образом, одна из задач обучения состоит в том, чтобы научить и приучить студента самостоятельно работать с учебной (а затем производственной и научной книгой), в частности с электронной. Но особенно важно такое умение при заочном обучении, когда общение студента с преподавателем приобретает эпизодический характер. Современная разновидность заочного обучения – дистанционная подготовка специалистов или дистанционное обучение – преимущественно основано на самостоятельной работе студента. В связи с этим и возникла необходимость в создании качественных электронных учебников.

### Литература

1. Буторина Т.С., Ширишов Е.В. Дидактические основы использования информационно-педагогических технологий в подготовке электронного учебника // Электронные учебники и учебно-методические разработки в открытом образовании: Тез. докл. семинара (7 сентября 2000 г., г. Москва). – М.: Изд-во МЭСИ, 2000. – 140 с.
2. Зайнутдинова Л.Х. Создание и применение электронных учебников. – Астрахань: ООО "ЦНТЭП", 2003. – 364 с.
3. Зимица О.В., Кириллов А.И. Печатные и электронные учебники в современном высшем образовании: Теория, методика, практика. – М.: Изд-во МЭИ, 2003.
4. Красильникова В.А. Информационные и коммуникационные технологии в образовании: Учеб. пособие / В.А. Красильникова. – М.: ООО «Дом педагогики», 2006. – 231 с.

УДК 514.742.4

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ СРЕДСТВАМИ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА

А.А. Ригель

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

В статье рассматривается комплексный потенциал плоского векторного поля как аппарат моделирования плоских векторных полей с одной и несколькими точечными особенностями. Средствами электронного математического пакета Maple произведено построение изотермических сетей полей источников и вихрей, мультиполей, их решеток и композиций.

Комплексный анализ находит широкое применение в исследовании и описании стационарных плоскопараллельных *лапласовых* (т.е. потенциальных и соленоидальных) векторных полей.

Рассмотрим плоскопараллельное гармоническое поле  $\vec{F}(x; y) = P(x; y)\vec{i} + Q(x; y)\vec{j}$ , определенное в некоторой односвязной области [1–3]. Поскольку оно потенциально, то существует скалярная функция  $U(x; y)$ , называемая *скалярным потенциалом* поля (*потенциалом скоростей*), определенная с точностью до постоянного слагаемого, такая, что

$$\vec{F}(x; y) = \text{grad}U, \quad \vec{F}(x; y) = \frac{\partial U}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{j}.$$

Рассмотрим теперь гармонически-сопряженную функции  $U(x; y)$  функцию  $V(x; y)$ , такую, что

$$\vec{F}(x; y) = \frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} - \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j} = \text{rot}(V\vec{k}).$$

Эта функция, также определенная с точностью до постоянного слагаемого, называется *векторным потенциалом* поля, или *функцией тока*, или *силовой функцией*.

Линии уровня этих функций (*эквипотенциальные и силовые линии*) удобны для визуализации многих видов гидромеханических и электромагнитных полей и протекающих в них процессов.

Построим аналитическую в рассматриваемой области комплексную функцию

$$W(z) = U(x; y) + iV(x; y),$$

называемую *комплексным потенциалом* данного векторного поля. Комплексный потенциал обладает свойством аддитивности, что позволяет легко моделировать композиции различных полей.

Запишем теперь данное плоское векторное поле в комплексной форме

$$f(z) = P(x; y) + iQ(x; y)$$

и поставим ему в соответствие комплексно-сопряженную функцию

$$\overline{f(z)} = P(x; y) - iQ(x; y).$$

Разложим ее в окрестности точки  $z = z_0$  в ряд Лорана:

$$\overline{f(z)} = \sum_{n=0}^{\infty} c_n (z - z_0)^n + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{c_{-m}}{(z - z_0)^m}.$$

Комплексный потенциал может быть найден, как первообразная этой функции.

Правильной части этого разложения, являющейся функцией, аналитической в окрестности рассматриваемой точки, соответствует некоторое лапласово поле, а главной части – суперпозиция мультиполей.

Рассмотрим некоторые частные случаи [1].

1. Если точка  $z = z_0$  – полюс первого порядка, т.е.  $\overline{f(z)} = \frac{c_{-1}}{z - z_0}$ , то в зависимости от коэффициента  $c_{-1}$  ей могут соответствовать комплексные потенциалы вида  $W(z) = \pm \frac{Q}{2\pi} \ln(z - z_0)$  или

$W(z) = \pm \frac{G}{2\pi i} \ln(z - z_0)$ . Первый из них описывает поле точечного источника или стока мощности  $Q$ , помещенного в точку  $z = z_0$ . Второй потенциал описывает плоское поле положительного или отрицательного вихря интенсивности  $G$ , также помещенного в эту точку. (Примером такого поля может служить магнитное поле, создаваемое проводником, по которому течет постоянный электрический ток).

В силу аддитивности комплексного потенциала, легко получить потенциал вихреисточника:

$$W(z) = \frac{Q - iG}{2\pi} \ln(z - z_0).$$

Построим эквипотенциальные и силовые линии рассмотренных полей [4]. (Здесь и далее эквипотенциальные линии обозначены жирными красными линиями, линии тока – тонкими синими).

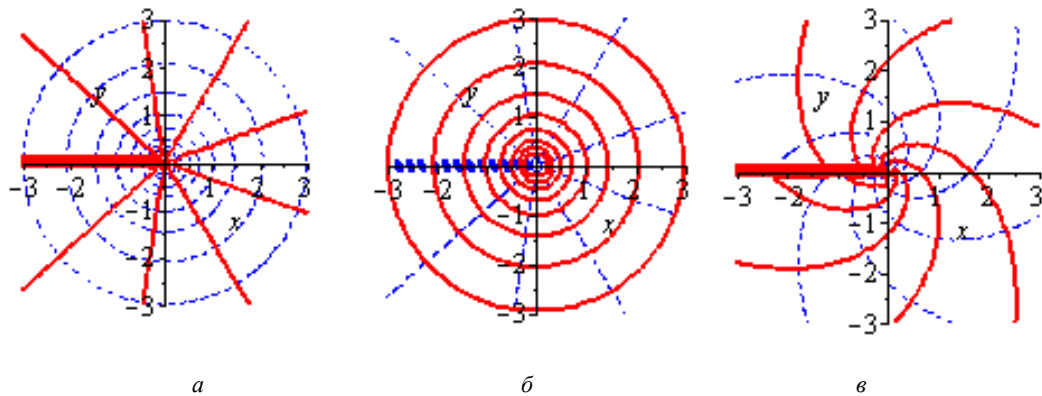


Рис. 1. Эквипотенциальные и силовые линии векторных полей с одной точечной особенностью: а – поле источника (стока), б – поле вихря, в – поле вихреисточника

2. Пусть теперь точка  $z = z_0$  – полюс второго порядка, т.е.  $\overline{f(z)} = \frac{c_{-2}}{(z - z_0)^2}$ . В этом случае она называется *диполем* с *моментом*  $d = 2\pi c_{-1}$ . Комплексный потенциал поля диполя, найденный как первообразная, имеет вид:  $W(z) = \frac{c}{z - z_0}$  [1, 3, 5].

3. Если же  $z = z_0$  – полюс третьего порядка, то комплексный потенциал  $W(z) = \frac{c}{(z - z_0)^2}$  определяет поле *квадруполя*, помещенного в эту точку и имеющего *момент*  $q = 2\pi c_{-2}$ .

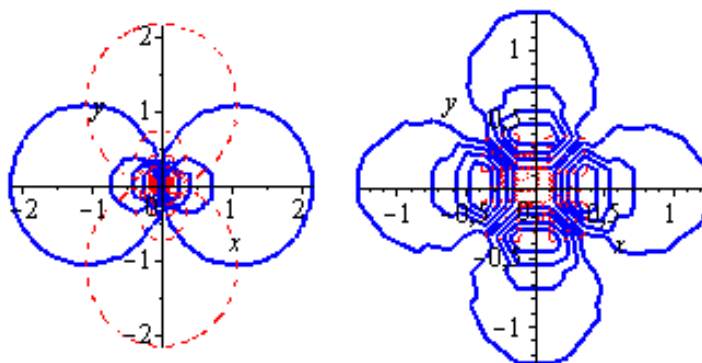


Рис.2. Поле диполя и поле квадруполя

Смоделируем теперь векторное поле с двумя и более точечными особенностями [1, 3].

1. Пусть в точки  $z = z_1$  и  $z = z_2$  помещены одноименные или разноименные заряды мощностей  $Q_1$  и  $Q_2$  соответственно. Комплексный потенциал такого поля, представляющего собой композицию полей, создаваемых этими зарядами, имеет вид

$$W(z) = \pm \frac{Q_1}{2\pi} \ln(z - z_1) \pm \frac{Q_2}{2\pi} \ln(z - z_2)$$

Эквипотенциальные и силовые линии таких полей приведены на рис. 3.

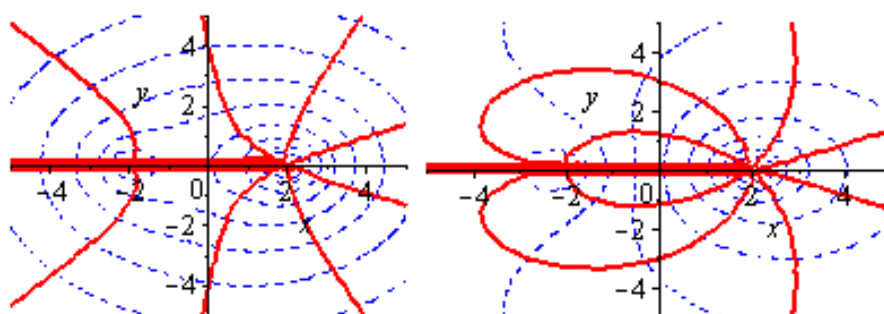


Рис. 3. Поле двух одноименных и двух разноименных зарядов

Отметим также, что поле диполя также можно трактовать, как композицию полей двух разноименных зарядов, расположенных на малом расстоянии друг от друга. Квадруполь же является объединением в одной точке двух диполей с противоположными моментами.

2. Рассмотрим магнитное поле, создаваемое двумя параллельными тонкими проводниками с постоянным током, перпендикулярными комплексной плоскости и пересекающимися ее в точках  $z = z_1$  и  $z = z_2$ . Если токи одинаково направлены, то комплексный потенциал создаваемого ими поля:

$$W(z) = \frac{G_1}{2\pi i} \ln(z - z_1) + \frac{G_2}{2\pi i} \ln(z - z_2).$$



Если же токи противоположно направлены, то

$$W(z) = \frac{G_1}{2\pi i} \ln(z - z_1) - \frac{G_2}{2\pi i} \ln(z - z_2).$$

Отметим, что вид изотермической сети сохранился, но эквипотенциалы и линии тока поменялись ролями [4].

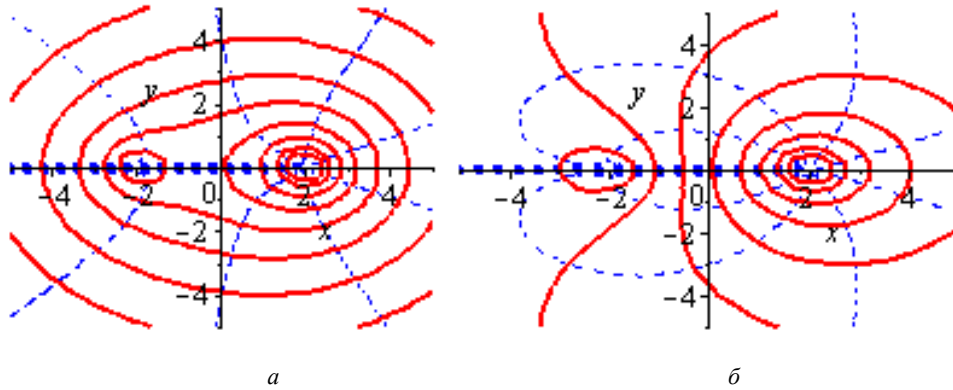


Рис. 4. Магнитное поле двух параллельных проводников: а – однонаправленные токи, б – противоположно направленные токи

Комплексный потенциал позволяет моделировать и поля так называемых *решеток точечных особенностей* [3].

Пусть, например, в точках  $z = n \cdot z_0$  расположены точечные одноименные заряды одинаковой интенсивности. Тогда комплексный потенциал такой решетки представим в виде суммы

$$W(z) = \frac{Q}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \ln(z - n \cdot z_0).$$

Потенциал решетки разноименных зарядов имеет схожий вид:

$$W(z) = \frac{Q}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-1)^n \ln(z - n \cdot z_0).$$

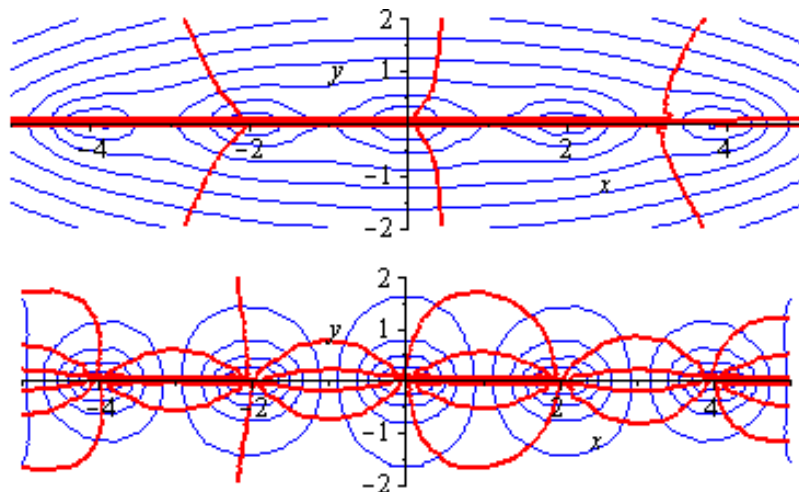


Рис. 5. Фрагмент поля решетки одноименных и разноименных зарядов

Аналогичным образом строятся вихревые решетки и суперпозиции полей решеток.

Наконец, исследуем воздействие внешнего однородного поля на некоторые уже рассмотренные поля [1].

1. Поместим, например, тонкий проводник, перпендикулярный комплексной плоскости, по которому течет постоянный ток силы  $I$ , во внешнее однородное магнитное поле напряженностью  $H_0$ , описываемое комплексным потенциалом  $W_0(z) = H_0 z$ . Используя аддитивность потенциала, получаем

$$W(z) = \frac{I}{2\pi i} \ln(z - z_0) + H_0 z.$$

2. В завершение исследуем влияние оси диполя на изотермическую сеть [3]. Ось диполя может быть ориентирована сонаправленно или противоположно направленно с направлением поля. Имеем два типа комплексных потенциалов:

$$W(z) = z \pm \frac{c}{z - z_0}.$$

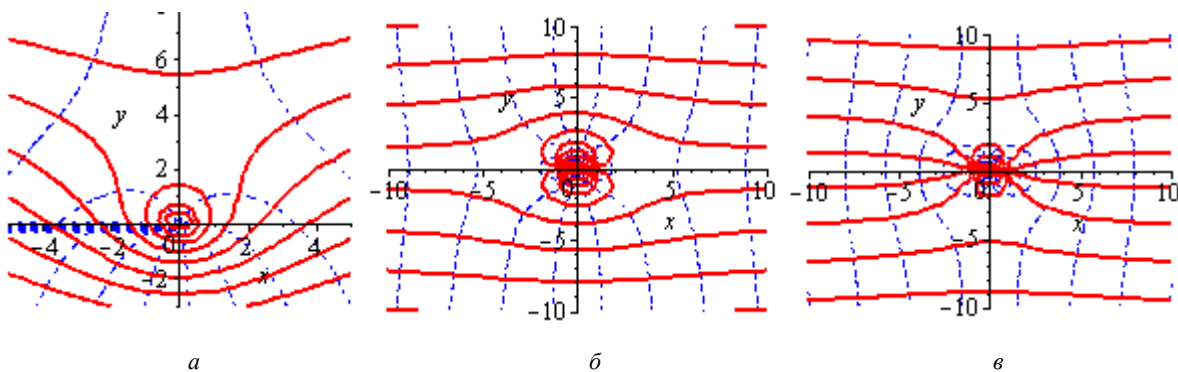


Рис. 6. Влияние внешнего однородного поля на поля с точечными особенностями:  
 а – магнитное поле проводника в однородном магнитном поле, б – диполь с сонаправленной  
 внешнему полю осью, в – диполь с противоположно направленной внешнему полю осью

### Литература

1. Морозова В.Д. Теория функций комплексного переменного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
2. Гаврилов В.Р., Иванова Е.Е., Морозова В.Д. Кратные и криволинейные интегралы. Элементы теории поля. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
3. Иванов В.И., Попов В.Ю. Конформные отображения и их приложения. – М.: Едиториал УРСС, 2002.
4. Дьяконов В. Maple7, учеб. курс. – СПб.: Питер, 2002.
5. Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. – М.: Астрель, 2003.

УДК 519.86

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БОФА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ВЫБОРЕ ПОСТАВЩИКА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ

К.Х. Фам, И.Ю. Квятковская

Астраханский государственный технический университет,  
 Астрахань

В работе рассмотрена методика решения задачи выбора наиболее предпочтительного поставщика телекоммуникационных услуг по заданным показателям. Определены задачи выбора, альтернативами, в которых являются различные поставщики. Предложенный подход может быть использован при разработке программ повышения конкурентоспособности телекоммуникационных компаний.

В настоящее время рынок телекоммуникационных услуг (ТКУ) активно развивается, что также связано с появлением новых компаний, участвующих в процессе предоставления ТКУ. Проблема выбора поставщика ТКУ по техническим параметрам, экономическим и другим показателям, соответствующим требованиям потребителей, является актуальной задачей для потребителей.

Целью данной работы является применение метода Бофа [1, 2] для решения задачи оптимизации при выборе поставщика ТКУ, определение наиболее предпочтительного поставщика по заданным показателям. Данный метод может использоваться для оценки любого множества объектов по множеству показателей в случае принятия решений при многих критериях в условиях определенности.

Определим объект (поставщик ТКУ) как альтернативу в задаче многокритериального принятия решения. Для выбора объектов все показатели, характеризующие различные стороны этого процесса, должны быть сведены в систему [3]. Положим, всего имеется  $n$  объектов, каждый из которых характеризуется значениями  $m$  показателей. Значение  $j$ -го показателя для выбора  $i$ -го объекта будем обозначать  $k_{ji}$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Метод включает следующие шаги:

1. Отобрать оптимальное количество показателей. Обозначим показатели  $k_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ .
2. Проранжировать показатели по важности в соответствии с предпочтениями ЛПР. Обозначим ранги показателей  $\lambda_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ .
3. Определить весовые коэффициенты каждого показателя  $w_j$  по формуле (1) и затем нормировать их по формуле (2):

$$w_j = 1 - \frac{\lambda_j - 1}{m}, \quad (1)$$

$$\tilde{w}_j = \frac{w_j}{\sum_{s=1}^m w_s}, \quad s = \overline{1, m}. \quad (2)$$

4. Проранжировать объекты по важности в соответствии с предпочтениями ЛПР по каждому показателю. Обозначим значения показателей для объектов  $k_{ji}$ , ранги объектов по показателям  $r_{ji}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$ , где  $n$  – количество объектов.

5. Определить весовые коэффициенты каждого объекта по каждому показателю.

Весовые коэффициенты объектов по каждому показателю  $\tilde{C}_{ji}$  определяются по формуле (3) и затем нормируются по формуле (4):

$$C_{ji} = 1 - \frac{r_{ji} - 1}{n}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

$$\tilde{C}_{ji} = \frac{C_{ji}}{\sum_{i=1}^n C_{ji}}. \quad (4)$$

Таким образом, для расчета весовых коэффициентов используются отношения порядка между объектами. Однако использование порядковой информации может привести к утрате части полезной информации. При необходимости учета количественной информации весовые коэффициенты показателей рассчитываются по формуле (5), если большие значения показателей предпочтительнее меньших, или по формуле (6), если меньшие значения предпочтительнее больших. При этом этап 4 (ранжирование объектов по каждому показателю) опускается.

$$\tilde{C}_{ji} = \frac{P_{ji}}{\sum_{i=1}^n P_{ji}}, \quad (5)$$

$P_{ji}$  – значение показателя  $j$  для объекта  $i$ .

$$\tilde{C}_{ji} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{P_{ji}}}. \quad (6)$$

6. Рассчитать значения обобщенного показателя для каждого объекта  $G_i$ .

$$G_i = \sum_{j=1}^m \tilde{w}_j \cdot \tilde{C}_{ji}. \quad (7)$$

7. Проранжировать объекты в соответствии со значениями обобщенных показателей и/или определить лучший объект.

**Пример**

Требуется выбрать лучший объект. Для сравнения объектов были выбраны показатели:

- $k_1$  – время выполнения начального подключения потребителя к сети (день);
- $k_2$  – доля успешных вызовов потребителя (%);
- $k_3$  – скорость установлений соединения (секунда);
- $k_4$  – качество передачи речи (балл);
- $k_5$  – степень удовлетворенности (балл).

Исходные данные представлены в табл. 1, ранжирование показателей по важности – в табл. 2.

Таблица 1

Исходные данные

Показатели	Объекты (Поставщики)				
	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$
Время выполнения начального подключения потребителя к сети ( $k_1$ )	3	6	2	4	3
Доля успешных вызовов потребителя ( $k_2$ )	96	90	98	95	80
Скорость установлений соединения ( $k_3$ )	2.5	2	1	3	3.5
Качество передачи речи ( $k_4$ )	5	4	4	5	3
Степень удовлетворенности ( $k_5$ )	4	3	5	3	4

Таблица 2

Ранги показателей

Ранг ( $\lambda_j$ )	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$
	2	5	4	3	1

Определение весовых коэффициентов показателей и нормирование их значений:

$$w_1 = 1 - \frac{\lambda_1 - 1}{5} = 1 - \frac{2 - 1}{5} = \frac{4}{5}, \quad w_2 = 1 - \frac{\lambda_2 - 1}{5} = 1 - \frac{5 - 1}{5} = \frac{1}{5}, \quad w_3 = \frac{2}{5}, \quad w_4 = \frac{3}{5}, \quad w_5 = 1.$$

$$\tilde{w}_1 = \frac{w_1}{\sum_{p=1}^5 w_p} = \frac{\frac{4}{5}}{1 + \frac{4}{5} + \frac{3}{5} + \frac{2}{5} + \frac{1}{5}} = \frac{4}{15}, \quad \tilde{w}_2 = \frac{1}{15}, \quad \tilde{w}_3 = \frac{2}{15}, \quad \tilde{w}_4 = \frac{3}{15}, \quad \tilde{w}_5 = \frac{1}{3}.$$

Ранжирование объектов по каждому показателю.

Объекты сравниваются по каждому показателю и результаты заносятся в табл. 3,  $R_{ji}$  – ранг объекта с номером  $i$  по показателю с номером  $j$ .

Ранги объектов по показателям

Показатели	Объекты ( $O_i$ )				
	$O_1$	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$
$k_1$	$r_{11} = 2$	4	1	3	2
$k_2$	2	4	1	3	5
$k_3$	3	2	1	4	5
$k_4$	1	2	2	1	3
$k_5$	2	3	1	3	2

Определение весовых коэффициентов объектов по каждому показателю и нормирование полученных значений.

Вычислим значения показателя по всем объектам. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Значения показателя

$C_{11}=4/5$	$2/5$	1	$3/5$	$4/5$
$4/5$	$2/5$	1	$3/5$	$1/5$
$3/5$	$4/5$	1	$2/5$	$1/5$
1	$4/5$	1	$4/5$	$3/5$
$4/5$	$3/5$	1	$3/5$	$4/5$

Здесь, например:  $C_{11} = 1 - \frac{r_{11} - 1}{5} = 1 - \frac{2 - 1}{5} = \frac{4}{5}$ ,  $C_{12} = 1 - \frac{r_{12} - 1}{5} = 1 - \frac{4 - 1}{5} = \frac{2}{5}$ .

Пронормируем полученные значения:

$$\tilde{C}_{11} = \frac{C_{11}}{\sum_{k=1}^5 C_{jk}} = \frac{\frac{4}{5}}{\frac{4}{5} + \frac{2}{5} + 1 + \frac{3}{5} + \frac{4}{5}} = \frac{2}{9}, \quad \tilde{C}_{12} = \frac{C_{12}}{\sum_{k=1}^5 C_{jk}} = \frac{\frac{2}{5}}{\frac{4}{5} + \frac{2}{5} + 1 + \frac{3}{5} + \frac{4}{5}} = \frac{1}{9},$$

$$\tilde{C}_{13} = \frac{C_{13}}{\sum_{k=1}^5 C_{jk}} = \frac{1}{18} = \frac{5}{18}, \quad \tilde{C}_{14} = \frac{C_{14}}{\sum_{k=1}^5 C_{jk}} = \frac{\frac{3}{5}}{\frac{4}{5} + \frac{2}{5} + 1 + \frac{3}{5} + \frac{4}{5}} = \frac{1}{6}, \quad \tilde{C}_{15} = \frac{C_{15}}{\sum_{k=1}^5 C_{jk}} = \frac{\frac{4}{5}}{\frac{4}{5} + \frac{2}{5} + 1 + \frac{3}{5} + \frac{4}{5}} = \frac{2}{9}$$

$$\tilde{C}_{21} = \frac{C_{21}}{\sum_{k=1}^5 C_{jk}} = \frac{\frac{4}{5}}{\frac{1}{5} + \frac{2}{5} + 1 + \frac{3}{5} + \frac{4}{5}} = \frac{4}{15}, \quad \tilde{C}_{31} = \frac{3}{15}, \quad \tilde{C}_{41} = \frac{5}{21}, \quad \tilde{C}_{51} = \frac{4}{19}.$$

Значения остальных весовых коэффициентов объектов по показателям вычисляются аналогично.

Расчет значений обобщенного показателя для объектов:

$$G_1 = \sum_{j=1}^5 \tilde{w}_j * \tilde{C}_{j1} = \tilde{w}_1 * \tilde{C}_{11} + \tilde{w}_2 * \tilde{C}_{21} + \tilde{w}_3 * \tilde{C}_{31} + \tilde{w}_4 * \tilde{C}_{41} + \tilde{w}_5 * \tilde{C}_{51} =$$

$$= \frac{4}{15} * \frac{2}{9} + \frac{1}{15} * \frac{4}{15} + \frac{2}{15} * \frac{3}{15} + \frac{3}{15} * \frac{5}{21} + \frac{1}{3} * \frac{4}{19} = 0.22.$$

Аналогично вычисляем  $G_2 = 0.16$ ,  $G_3 = 0.27$ ,  $G_4 = 0.18$ ,  $G_5 = 0.17$

Итоговое ранжирование объектов представляет порядок: Объект 3 (0,27) > объект 1 (0,22) > объект 4 (0,18) > объект 5 (0,17) > объект 2 (0,16). Таким образом, наиболее предпочтительный поставщик по заданным показателям – объект 3.

### Заключение

Такой подход может быть применен, например, для сравнения различных хозяйствующих субъектов, предоставляющих телекоммуникационные услуги: сотовых компаний и их филиалов.

### Литература

1. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х.Х. Райфа: Пер. с англ. / Под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
2. Теория принятия решений подготовки дипломированных специалистов по специальности 351500 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lib2.podelise.ru/docs/71191/index-7790-1.html?page=4>
3. Квятковская И. Ю. Система показателей оценки качества телекоммуникационных услуг и метод их оценки / И.Ю. Квятковская, К.Х. Фам // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 2. – С. 98–103.

УДК 519.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

**А.А. Чермошенцева, М.О. Карноушенко**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский*

Рассмотрены основные принципы построения разностных схем. Отмечены проблемы, возникающие при численном решении задачи теплопроводности. Исследованы вопросы устойчивости разностных схем.

Применение численных методов к решению задачи теплопроводности связано с дискретизацией, что позволяет осуществить расчет за конечное число операций. Дискретизацию можно проводить, разбивая на фрагменты либо пространство, либо вещество. В первом случае строится так называемая эйлерова сетка, чаще всего неподвижная декартова, и расчет сводится к определению параметров в ячейках этой сетки, т.е. фиксированных областях пространства. Второй подход состоит в том, что рассматриваются частицы вещества и рассчитывается изменение их параметров в течение времени. Разбиение на частицы может производиться с помощью построения сетки, обычно криволинейной, за изменением ячеек сетки необходимо следить в процессе счета. Такая сетка называется лагранжевой. Лагранжева сетка удобна в том случае, когда имеется много контактных границ, которые можно выделить линиями лагранжевой сетки и в дальнейшем это выделение сохранять в процессе счета, что существенно влияет на точность всей задачи. Кроме того, лагранжеву сетку легко строить неравномерной, выбирая более мелкие ячейки в тонких слоях, а также используя в двумерных задачах сильно вытянутые ячейки там, где это определяется геометрией и характером рассматриваемого объекта.

Решение задачи теплопроводности представляет собой функции пространственно-временных координат. При численном решении дискредитируется пространство и время, и вычисляются некие сеточные функции, определяемые конечным числом параметров. Рассмотрим для вычисляемых параметров соотношение между введенной сеточной функцией  $u(x)$  и искомой функцией  $U(x)$  непрерывного аргумента.

Сложность сравнения между сеточной функцией и искомой функцией непрерывного аргумента заключается, прежде всего, в том, что эти функции принадлежат разным функциональным пространствам. Существует два способа приведения их к общему виду. Первый заключается в

том, что сеточная функция дополняется до некоторой функции непрерывного аргумента. Например, строится ломанная, соединяющая значения сеточной функции в узлах отрезками прямыми, что соответствует линейной интерполяции функции между узлами. Для случая, когда значения сеточной функции определены в центрах ячеек, ее дополняют кусочно-постоянной функцией. После этого сеточную функцию можно сравнивать с искомой функцией, используя определенные функциональные нормы. Обычно используются норма непрерывных функций (норма  $C$ )

$$\|f(x)\|_C = \max_x |f(x)|$$

или же среднеквадратическая (энергетическая норма) норма  $L_2$  [1, 2]:

$$\|f(x)\|_{L_2} = \sqrt{\int f(x)^2 dx}.$$

С помощью этих норм можно определить погрешность представления искомой функции сеточной. Малость погрешности в равномерной норме означает, что искомое решение во всех точках близко к найденной сеточной функции.

Другой способ сравнения рассматриваемых функций использует преобразование функции  $U(x)$  в сеточную функцию  $u(x)$  (проектирование на сетку) [1, 3], после чего можно использовать нормы сеточного пространства:

$$\Delta u_C = \|u_i - U(x_i)\|_C = \max_i |u_i - U(x_i)|,$$

$$\Delta u = \|u_i - U(x_i)\| = \sqrt{\frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m (u_i - U(x_i))^2}.$$

В практических задачах функция  $U(x)$  обычно бывает неизвестна, поэтому подобные оценки как в функциональных, так и в сеточных нормах, чаще используются в теоретических рассуждениях, чем на практике.

Результат сравнения зависит от того, какой подход используется. Так, если значения сеточной функции совпадают со значениями непрерывной функции в тех же точках, то сеточные нормы погрешности равны нулю, тогда как нормы в пространстве функций отличны от нуля и зависят от способа восполнения. Если сеточную функцию, совпадающую с непрерывной в середине отрезка длины  $h$ , восполнять постоянной, то погрешность на концах отрезка составит величину порядка

$$u_i - U(x) \gg \frac{|U'(x)|}{2} \cdot h.$$

Соответственно этому погрешность на равномерной сетке можно оценить величиной

$$\Delta u_C = \|u(x) - U(x)\|_C \approx \text{const} \cdot h,$$

где константа выражается через максимум производной.

Для среднеквадратической нормы погрешность выражается аналогично, но константа будет пропорциональной среднему значению производной. Константа чаще всего бывает неизвестной, но в оценках важно, что погрешность зависит от шага сетки  $h$  и уменьшается вместе с ним.

В случае кусочно-линейного восполнения погрешность можно оценить, используя свойства полиномов Лагранжа:

$$\Delta u_C = \|u(x) - U(x)\|_C \approx \text{const} \cdot h^2,$$

где константа зависит от второй производной и не всегда поддается оценке.

При уменьшении шага сетки погрешность стремится к нулю быстрее (пропорционально  $h^2$ ). В отличие от константы показатель степени  $h$  (порядок аппроксимации) обычно удается оценить. Это является одним из важных способов исследования разностных схем. Порядок аппроксимации зависит от способа восполнения, от применяемой нормы, от равномерности сетки и других факторов.

Для реализации численного расчета задачи теплопроводности кроме дискретизации функций необходима замена дифференциальных уравнений конечно-разностными уравнениями. При этом также возникают проблемы оценки допустимой погрешности, или точности аппроксимации.

Значения сеточной функции имеют два индекса для одномерного случая, при этом нижний индекс характеризует точку пространственной сетки, верхний – временной. Для двумерного и трехмерного случая нижний индекс содержит два и три значения соответственно. Простейший способ построения разностных уравнений основан на замене производных конечными разностями.

Возьмем постоянными шаг временной сетки  $t$  и пространственной –  $h$ , тогда основные используемые одномерные схемы имеют вид:

явная схема

$$\frac{u_k^{n+1} - u_k^n}{\tau} = \frac{u_{k+1}^n - 2u_k^n + u_{k-1}^n}{h^2};$$

неявная схема

$$\frac{u_k^{n+1} - u_k^n}{\tau} = \frac{u_{k+1}^{n+1} - 2u_k^{n+1} + u_{k-1}^{n+1}}{h^2};$$

симметричная схема

$$\frac{u_k^{n+1} - u_k^n}{\tau} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{u_{k+1}^n - 2u_k^n + u_{k-1}^n}{h^2} + \frac{u_{k+1}^{n+1} - 2u_k^{n+1} + u_{k-1}^{n+1}}{h^2} \right).$$

Явная схема позволяет шагами по времени вычислить все требуемые значения сеточной функции, если заданы начальные (при  $n = 0$ ) и граничные (при  $k = 0$  и  $k = m$ ) значения этой функции. Неявная и симметричная схемы требуют на каждом шаге по времени решения системы линейных уравнений.

При разложении в ряд искомой функции в окрестности выбранной опорной точки необходимо учитывать, что в уравнении теплопроводности искомая функция зависит от двух независимых переменных  $x$  и  $t$ . Для явной схемы в качестве опорной точки удобно взять точку  $u_k^n = U$ , тогда

$$u_k^{n+1} = U + \frac{\partial U}{\partial t} \cdot \tau + \frac{1}{2!} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \tau^2 + \dots$$

$$u_{k\pm 1}^n = U \pm \frac{\partial U}{\partial x} \cdot h + \frac{1}{2!} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} h^2 \pm \frac{1}{3!} \cdot \frac{\partial^3 U}{\partial x^3} h^3 + \frac{1}{4!} \cdot \frac{\partial^4 U}{\partial x^4} h^4 + \dots$$

Ограничиваясь тремя слагаемыми для  $u_k^{n+1}$  и пятью для  $u_{k\pm 1}^n$ , подставим эти выражения в разностное уравнение, получим невязки.

Для явной схемы:

$$L = \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \cdot \tau - \frac{1}{12} \cdot \frac{\partial^4 U}{\partial x^4} \cdot h^2.$$

Невязка в данном случае зависит от шагов сетки как по  $t$ , так и по  $x$ , и имеет по этим шагам соответственно первый и второй порядок.

Для неявной схемы аналогично:

$$L = \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \cdot \tau - \frac{1}{12} \cdot \frac{\partial^4 U}{\partial x^4} \cdot h^2.$$

В случае симметричной схемы разложение удобно вести в окрестности полуцелой по времени точки, сохраняя один лишний член в этом направлении, т.е.:

$$u_k^{n+\frac{1}{2}} = U + \frac{\partial U}{\partial t} \cdot \frac{\tau}{2} + \frac{1}{2!} \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \cdot \left(\frac{\tau}{2}\right)^2 + \frac{1}{3!} \cdot \frac{\partial^3 U}{\partial t^3} \cdot \left(\frac{\tau}{2}\right)^3,$$



тогда невязка имеет следующий вид:

$$L = \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{1}{24} \cdot \frac{\partial^3 U}{\partial t^3} \cdot \tau^2 - \frac{1}{12} \cdot \frac{\partial^4 U}{\partial x^4} \cdot h^2$$

и второй порядок по каждой переменной.

В отличие от явной неявная схема требует решения системы уравнений на каждом шаге по времени, что усложняет программирование и удорожает счет. А для многомерных задач реализация неявных схем еще сложнее.

Явная схема не всегда неустойчива и для ее применения необходимо следить за соотношением временного и пространственного шагов (критерий устойчивости) [5, 6]. Неустойчивость является внутренним свойством разностной схемы и не зависит от того, какое дифференциальное уравнение эта схема аппроксимирует.

При исследовании устойчивости обычно считают погрешность малой, что позволяет, пренебрегая малыми второго порядка, линеаризовать схему и тем самым рассматривать линейные однородные преобразования, тогда исследования сводятся к исследованию норм или спектра линейных операторов.

Для явной схемы счет идет шагами по времени, поэтому при исследовании устойчивости необходимо проследить за изменением погрешности при переходе на очередной шаг. Пусть на  $n$ -м шаге погрешность задана во всех пространственных точках и равна  $\Delta u_k^n$ . Тогда, на следующем шаге погрешность будет равна

$$\Delta u_k^n = \frac{\tau}{h^2} \Delta u_{k+1}^n + \left(1 - \frac{2\tau}{h^2}\right) \Delta u_k^n + \frac{\tau}{h^2} \Delta u_{k-1}^n.$$

Если  $\frac{\tau}{h^2} \leq 0,5$ , то все коэффициенты в правой части положительны и их сумма равна единице. Уравнение удовлетворяет принципу максимума [1, 3–6]. Предположим, что все компоненты погрешности на  $n$ -м шаге не превосходят некоторого числа  $M$ , тогда вся правая часть не превосходит этого числа. Следовательно, погрешность на  $(n + 1)$ -м шаге также не превзойдет этого числа:  $\Delta u_k^n < M$ . Аналогичное свойство имеет место и для ограничения снизу:  $m < \Delta u_k^n$ . Оно также переносится на следующий шаг:  $m < \Delta u_k^{n+1}$ . Таким образом, погрешность при любом числе шагов по времени остается ограниченной:  $m < \Delta u_k^{n+s} < M$ , то есть явная схема является устойчивой при условии, что  $\frac{\tau}{h^2} \leq 0,5$ .

Здесь не учитывается влияние граничных условий, поскольку для неустойчивой схемы никакие граничные условия ее не исправят. Но если схема устойчива в своих внутренних точках, то она чаще всего устойчива в целом.

Отметим, что реальное уравнение теплопроводности содержит коэффициенты теплоемкости  $C_v$ , теплопроводности  $k$ , а также плотность  $\rho$ . Вместе с шагами по времени и пространству они образуют безразмерную комбинацию, которую называют числом Куранта:

$$Cur = \frac{k\tau}{\rho C_v h^2},$$

т.е. условие устойчивости явной схемы при этом имеет вид  $Cur \leq 0.5$ . Число Куранта характеризует физическую задачу, независимо от разностной схемы. Величины  $\tau$  и  $h$  при этом определяют масштабы разрешимости задачи. Если в тепловых задачах тепло передается посредством диффузии в газах или по средствам передачи энергии колебаний атомов от одной части тела к другой в твердых телах, то поскольку оба процесса протекают достаточно медленно, число Куранта невелико и применение явной схемы обычно не вызывает проблем. А при рассмотрении задач ядерного взрыва, когда перенос энергии осуществляется квантами рентгеновского диапазона и  $\gamma$ -лучами, коэффициент теплопроводности  $k$  достаточно велик и курант зачастую достигает значений  $10^5$  и больше [4]. Применение неявной или какой-нибудь другой устойчивой схемы в этих условиях становится неизбежным. Кроме того, в различных частях задачи в один и тот же момент времени плотность, температура и зависящий от них коэффициент теплопроводности мо-

гут сильно отличаться, так что курант принимает значения от величин порядка единицы и меньше до сотен тысяч. Разностная схема должна обеспечить точный счет во всем этом диапазоне чисел Куранта.

#### Литература

1. *Калиткин Н.Н.* Численные методы. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
2. *Чермошенцева А.А., Плотникова И.С.* Численные схемы решения двумерного уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах. // Вестник КамчатГТУ. – 2011. – № 15. – С. 21–25.
3. *Власова Е.А., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н.* Приближенные методы математической физики. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2001. – 700 с.
4. *Загускин В. Л.* Методы расчета задач механики сплошной среды. – Ростов: Изд-во РГУ, 1979. – 88 с.
5. *Годунов С.К., Рябенский В.С.* Введение в теорию разностных схем. – М.: Физмагиз, 1962.
6. *Самарский А.А., Гулин А.В.* Устойчивость разностных схем. – М.: Наука, 1973. – 415 с.

**Ответственный за выпуск Я.В. Ганич**

**НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ, ИННОВАЦИИ:  
ПУТИ РАЗВИТИЯ**

*Материалы*

*Пятой всероссийской научно-практической конференции  
(18–20 марта 2014 г.)*

***Часть I***

В авторской редакции  
Технический редактор О.А. Лыгина  
Верстка, оригинал-макет О.А. Лыгина

Подписано 14.04.2014 г.  
Формат 61\*86/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman  
Авт. л. 28,69. Уч.-изд. л. 29,05. Усл. печ. л. 28,71  
Тираж 100 экз. Заказ № 122

Издательство  
Камчатского государственного технического университета

Отпечатано полиграфическим участком издательства КамчатГТУ  
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35