

№ 7 (204), вып. 34/1
Июнь 2015

НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1995 г.

Журнал входит
в Перечень ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий,
выпускаемых в Российской Федерации,
в которых рекомендуется публикация
основных результатов диссертаций
на соискание ученых степеней
доктора и кандидата наук

Учредитель:
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего профес-
сионального образования «Белгородский
государственный национальный исследова-
тельский университет»

Издатель:
НИУ «БелГУ»

Издательский дом «Белгород»

Адрес редакции, издателя, типографии:
308015 г. Белгород, ул. Победы, 85

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации средства массовой
информации ПИ № ФС 77-50062 от 29 мая 2012 г.
Выходит 4 раза в год.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
ЖУРНАЛА**

Главный редактор

О.Н. Полухин,
ректор НИУ «БелГУ», доктор
политических наук, профессор

Зам. главного редактора

И.С. Константинов,
проректор по научной
и инновационной работе НИУ «БелГУ»,
доктор технических наук, профессор

Научный редактор

В.М. Московкин,
профессор кафедры мировой экономики
НИУ «БелГУ», доктор географических наук

Ответственный секретарь:

О.В. Шевченко,
зам. начальника УНИИ НИУ «БелГУ»,
кандидат исторических наук

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
СЕРИИ ЖУРНАЛА**

Заместители главного редактора

Е.Г. Жиликов,
доктор технических наук, профессор
(НИУ «БелГУ»)

О.А. Ломовцева,
доктор экономических наук, профессор
(НИУ «БелГУ»)

Ответственный секретарь

А.А. Черноморец,
кандидат технических наук, доцент

Члены редколлегии

В.П. Волчков, доктор технических наук,
профессор (Московский технический
университет связи и информатики)

НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ

Белгородского государственного университета

Экономика Информатика

**Belgorod State University
Scientific Bulletin**

Economics Information technologies

СОДЕРЖАНИЕ

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

Сущность и экономическое содержание социально-экономической политики региона. **О.К. Слинкова, Н.Ю. Масленникова 5**

Сущность проектного подхода в управлении региональными системами. **Д.В. Алтухов 13**

Инновационные технологии оценки неравномерности социально-экономического развития муниципальных образований.

Л.Р. Кузьмина, А.В. Плякин 18

Пространственно-временное развитие Белгородской агломерации в условиях глобальных процессов урбанизации. **Н.В. Чугунова, Т.А. Полякова, С.А. Игнатенко, Н.В. Лихневская 23**

ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Комплексный интегральный показатель конкурентоспособности розничной торговой сети. **Г.В. Михеев 30**

Роль государственно-частного взаимодействия при регулировании оборота земель сельскохозяйственного назначения в целях эффективного территориального планирования. **А.Н. Цапков 36**

ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

Об инвестиционном потенциале в региональном развитии.

Н.А. Череповская 46

Рыночное сопровождение коммерциализации результатов интеллектуальной деятельности вуза **С.Н. Прядко 52**

АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА

Перспективы развития электронной коммерции в России.

Е.С. Сорокина, О.А. Глазунова 58

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Метод формирования рентгеновского мультиизображения изделия микроэлектроники с неоднородной структурой.

М.С. Григоров, О.О. Басов 67

Применение методов глобальной оптимизации для поиска предельных границ рудных месторождений. **Д.В. Петров 73**

Эвристический компьютерный алгоритм вычисления кратных корней нелинейного уравнения. **М.Ф. Тубольцев, С.И. Маторин, О.М. Тубольцева 78**

Новая концепция программного обеспечения статистической обработки информации на основе прогностической функции теории вероятностей. **В.В. Савченко 84**

В.Д. Дмитриенко, доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ»)

О.В. Ившиков, заслуженный деятель науки РФ, доктор экономических наук, профессор (Волгоградский государственный университет)

В.И. Капалин, доктор технических наук, профессор (Московский государственный институт электроники и математики (технический университет))

Н.И. Корсунов, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный)

О.П. Литовка, доктор географических наук, профессор (Институт проблем региональной экономики РАН, г. Санкт-Петербург)

С.И. Маторин, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

О.П. Овчинникова, доктор экономических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

Э. Полтон, доктор экономических наук, профессор (Университет Святого Георгия, Лондон)

Понятовска – Яки М., доктор экономики, профессор (Варшавская высшая школа экономики, Польша)

И.Е. Рисин, заслуженный деятель науки РФ, доктор экономических наук, профессор (Воронежский государственный университет)

В.Г. Рубанов, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова)

Статьи представлены в авторской редакции.

Оригинал-макет *Н.А. Гапоненко*
E-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

Подписано в печать 01.06.2015
Формат 60×84/8
Гарнитура Georgia, Impact
Усл. п. л. 23,71
Заказ 166
Цена свободная
Тираж 1000 экз.
Дата выхода 19.06.2015.

Подписной индекс в Объединённом каталоге
«Пресса России» – 18078

Оригинал-макет подготовлен и тиражирован
в Издательском доме «Белгород»
Адрес: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85

Компьютерное исследование процесса регенерации воздуха в изолирующем дыхательном аппарате. **А.В. Майстренко, Н.В. Майстренко, О.И. Ерохин 89**
Обобщенный субполосный анализ на основе унитарных преобразований. **А.А. Черноморец, Е.В. Болгова, Д.А. Черноморец 97**
Анализ применения конкретных групп в каскадном методе. **В.В. Румбешт, А.З. Ядута 105**

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

Эволюционный синтез систем на основе заданной элементной базы компонентов. **Д.А. Петросов, В.А. Ломазов, Д.А. Басавин 116**

О создании системы поддержки принятия решений на основе модифицированного метода анализа иерархий. **Д.Г. Фурцев 125**
Сервис автоматизации составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека, как электронная услуга населению. **Р.А. Лунев, В.Н. Волков, А.А. Стыгчук, А.С. Бычкова 132**

Обзор моделей управляемых производственных процессов поточных линий производственных систем. **О.М. Пузнастый 137**
Нейросетевая модель работы человека-оператора в системе «человек-дисплей». **В.М. Дуденков, Н.М. Новикова 153**
Системно-объектное имитационное моделирование транспортных и технологических процессов. **С.И. Маторин, А.Г. Жихарев, Н.О. Зайцева 159**

Система поддержки принятия решений при выполнении проектов. **Н.В. Путивцева, С.В. Игрунова, Т.В. Зайцева, Е.В. Нестерова, О.П. Пусная 170**

Принятие решений при выборе структурно-компоновочной схемы оборудования для субтрактивной обработки с нанометровой точностью. **В.В. Ломакин, А.Н. Афонин, Р.Г. Асадуллаев, М.В. Лифиренко 175**

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Оценка вероятностно-временных характеристик доставки данных в беспроводной самоорганизующейся сети.

К.А. Польщиков 183
О повышении точности спектрального анализа фонем при использовании звуковых редакторов. **И.А. Сидоренко, П.А. Кускова 188**

О сегментации речевых сигналов на однородные отрезки. **Е.Г. Жияков, С.П. Белов, А.С. Белов, А.А. Фирсова 194**

Сведения об авторах 200

№ 7 (204), Issue 34/1

June 2015

SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

Founded in 1995

The Journal is included into the list of the leading peer-reviewed journals and publications coming out in the Russian Federation that are recommended for publishing key results of the theses for Doktor and Kandidat degree-seekers.

Founder:

Federal state autonomous educational establishment of higher professional education «Belgorod State National Research University»

Publisher:

Belgorod State National Research University
Belgorod Publishing House

Address of editorial office, publisher, letterpress plant: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)

Mass media registration certificate
ПН № ФС 77-50062 May 29, 2012
Publication frequency: 4 /year

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL

Editor-in-chief

O.N. Poluchin,

Rector of Belgorod State National Research University, Doctor of political sciences, Professor

Deputy editor-in-chief

I.S. Konstantinov,

Vice-Rector on Scientific and Innovative Work of Belgorod State National Research University, Doctor of technical sciences, Professor

Scientific Editor

V.M. Moskovkin,

Professor of World Economy Department of Belgorod State National Research University, Doctor of Geographical Sciences

O.V. Shevchenko,

Deputy Head of Scientific and Innovative Activity Department of Belgorod State National Research University, Candidate of Historical Sciences

EDITORIAL BOARD OF JOURNAL SERIES

Deputies of chief editor:

E.G. Zhilyakov,

Doctor of technical sciences, Professor (Belgorod State National Research University)

O.A. Lomovtseva,

Doctor of economical sciences, Professor (Belgorod State National Research University)

Belgorod State University Scientific Bulletin

Economics Information technologies

НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ Белгородского государственного университета Экономика Информатика

CONTENTS

REGIONAL AND MUNICIPAL ECONOMY

The substance and economic content of socio-economic policy of region. **O.K. Slinkova, N.U. Maslennikova 5**

Essence of design approach in management of regional systems.

D.V. Altuhov 13

Innovative technology of the evaluation of uneven socio-economic development of municipalities.

L.R. Kuzmina, A.V. Plyakin 18

Belgorod agglomeration space-time development in terms of global urbanization processes. **N.V. Chugunova, T.A. Polyakova,**

S.A. Ignatenko, N.V. Lixnevskaya 23

SECTORAL MARKETS AND MARKET INFRASTRUCTURE

Complex integrated indicator of competitiveness of the retail distribution network. **G.V. Mikheev 30**

The role of public and private interaction in the regulation of the turnover of agricultural lands in solving the problems of effective territorial planning. **A.N. Tsapkov 36**

INVESTMENT AND INNOVATIONS

About the investment potential in regional development.

N.A. Cherepovskaya 46

Market support commercialization of intellectual activity of high school. **S.N. Pryadko 52**

ACTUAL TOPIC

Future development of electronic commerce in Russia.

E.S. Sorokina, O.A. Glazunov 58

COMPUTER SIMULATION HISTORY

Method of formation of the x-ray multiimage of the product of microelectronics with non-uniform structure. **M.S. Grigorov,**

O.O. Basov 67

Applying global optimization methods for searching open pit limits.

D.V. Petrov 73

Heuristic computer algorithm of calculation of multiple roots of nonlinear equation. **M.F. Tuboltsev, S.I. Matorin,**

O.M. Tuboltseva 78

The new concept of the software of statistical information processing on the basis of predictive function of probability theory.

V.V. Savchenko 84

Editorial assistant:

A.A. Chernomorets, Candidate of technical sciences, Associate professor (Belgorod National Research University)

Members of editorial board:

V.P. Volchkov, Doctor of technical sciences, Professor (Moscow Technical University of Communications and Informatics)

V.D. Dmitrienko, Doctor of technical sciences, Professor (Kharkov National Technical University)

O.V. Inshakov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of economical sciences, Professor (Volgograd State University)

V.I. Kapalin, Doctor of technical sciences, Professor (Moscow State Institute of Electronics and Mathematics (Technical university))

N.I. Korsunov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of technical sciences, Professor (Belgorod State National Research University)

O.P. Litovka, Doctor of geographical sciences, Professor (Institute of regional economy problems of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg)

S.I. Matorin, Doctor of technical sciences, Professor (Belgorod State National Research University)

O.P. Ovchinnikova, Doctor of economical sciences, Professor (Orel Regional Academy of State Service)

A. Polton Doctor of economical sciences, Professor (St George's University of London)

Małgorzata Poniatowska-Jaksch, Doctor of economy, Professor (Warsaw School of Economics, Poland)

I.E. Risin, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of economical sciences, Professor (Voronezh State University)

V.G. Rubanov, Honoured Science Worker of Russian federation, Doctor of technical sciences, Professor (Belgorod State Technological University named after V.G. Shuhov)

The articles are given in authors' editing.

Dummy layout by *N.A. Gaponenko*
E-mail: chernomorets@bsu.edu.ru

Passed for printing 01.06.2015
Format 60×84/8
Typeface Georgia, Impact
Printer's sheets 23,71
Order 166
Circulation 1000 copies
Date of publishing: 19.06.2015.

Subscription reference in The Russian Press common catalogue – 18078

Dummy layout is replicated at Publishing House "Belgorod", Belgorod State National Research University

Address: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

Computer research of air regeneration process in the rebreather.

A.V. Maystrenko, N.V. Maystrenko, O.I. Erokhin 89
The generalized subband analysis on the basis of unitary transformations. **A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova,**

D.A. Chernomorets 97

Analysis of the application specific groups in the cascade method.

V.V. Rumbesht, A.Z. Yaduta 105

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

Evolutionary synthesis of systems based on a pre assigned element base of components. **D.A. Petrosov, V.A. Lomazov,**

D.A. Basavin 116

About creation of decision support system which based on the modified analytic hierarchy process.

D.G. Furtsev 125

The service of automation of training programs based on the physiological characteristics of the person as electronic service to population. **R.A. Lunev, V.N. Volkov, A.A. Stichuck,**

A.S. Bychkova 132

Review of governance models production lines manufacturing systems. **O.M. Pignasty 137**

Neural network model of the operator in the interface system.

V.M. Dudenkov, N.M. Novikova 153

System-object simulation of transport and technological processes.

S.I. Matorin, A. G. Zhikharev, N.O. Zaitseva 159

Decision making support system in executing the projects.

N.P. Putivzeva, S.V. Igrunova, T.V. Zaitseva,

E.V. Nesterova, O.P. Pusnaya 170

Decision making for selecting of equipment structure-layout scheme for subtractive machining with nanometer precision.

V.V. Lomakin, A.N. Afonin, R.G. Asadullaev,

M.V. Lifirenko 175

INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

Probability-time characteristics estimates of data delivery in the wireless ad hoc network. **K.A. Polshchikov 183**

On improving the accuracy of spectral analysis of phonemes using audio editors. **I.A. Sidorenko, P.A. Kuskova 188**

On segmentation of speech signals on homogeneous pieces.

E.G. Zhilyakov, S.P. Belov, A.S. Belov, A.A. Firsova 194

Information about Authors 200

РЕГИОНАЛЬНАЯ И МУНИЦИПАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 332.14

СУЩНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РЕГИОНА

THE SUBSTANCE AND ECONOMIC CONTENT OF SOCIO-ECONOMIC POLICY OF REGION

О.К. Слинкова, Н.Ю. Масленникова
O.K. Slinkova, N.U. Maslennikova

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85, Victory St., Belgorod, 308015, Russia

E-mail: slinkova@bsu.edu.ru

Аннотация. Перспективы устойчивого, сбалансированного и эффективного развития региона в значительной степени обусловлены проводимой социально-экономической политикой.

Цель реализации социально-экономической политики заключается в стремлении достичь максимального благосостояния общества.

К настоящему моменту учеными накоплен значительный объем знаний по вопросу региональной социально-экономической политики, однако в данной теории имеются некоторые пробелы. Таким образом, возникает необходимость в изучении и исследовании данного вопроса с целью инкорпорации полученного материала к ранее полученным знаниями. Данная цель определяет направления научного поиска.

В данной статье проводится исследование основных аспектов социально-экономической политики регионов. Рассмотрены и выделены основные цели, задачи, принципы, ключевые направления региональной социально-экономической политики. В частности, выделены и проанализированы понятия: «региональная политика», «социальная политика» и «экономическая политика», описан механизм реализации социально-экономической политики, приведены основные элементы нормативно-правовой основы разработки и реализации региональной социально-экономической политики.

Resume. Perspectives for sustainable, balanced and equitable development of the region hugely depend on ongoing socio-economic policy in the region.

To the current moment, scientists have accumulated a considerable volume of knowledge on regional socio-economic policy, however, there are still some gaps in this theory. Therefore, there is a need to explore and study this issue more thoroughly in order to ensure the incorporation of obtained material with the previously learned knowledge. This goal determines the direction of scientific research.

The main aspects of socio-economic policy of the regions are investigated in this article. The main goals, objectives, principles and key areas of regional socio-economic policy are reviewed and determined in this article. In particular, the following concepts are highlighted and analyzed: "regional policy", "social policy" and "economic policy", mechanism for the implementation of socio-economic policy are described, the main elements of a regulatory framework for the development and implementation of regional socio-economic policy are mentioned.

Ключевые слова: регион, региональная политика, социальная политика, экономическая политика, социально-экономическая политика.

Key words: region, regional policy, social policy, economic policy, social and economic policy.



Стабилизация состояния российской экономики, предотвращение чрезмерной дифференциации регионов по уровню социально-экономического развития, создание благоприятных организационных и экономических условий для развития предпринимательства, а также последовательное повышение уровня жизни населения в целом являются важнейшими аспектами модернизации российской экономики и ее устойчивого развития. Выполнение данных задач требует тщательно продуманной, грамотной региональной политики, проводимой на уровне субъектов Российской Федерации.

Несмотря на повышенный интерес к региональной проблематике, к сожалению, на сегодняшний день не разработана единая научно обоснованная теоретическая и методологическая база региональной социально-экономической политики, отсутствует продуманный комплексный подход, соответствующий современным условиям, продиктованным динамично меняющимися реалиями действительности.

Серьезную путаницу вносит отсутствие единого подхода к определению сущности данного понятия, а также его основных составляющих. Нет единства в понимании того, что стоит за словосочетанием «социально-экономическая политика». В законодательных и нормативных актах данный термин встречается нечасто и в основном используется для обозначения общей стратегии или концепции региона. В научной и специализированной литературе понятие «социально-экономическая политика» встречается значительно чаще, но уже как «собирательный образ» основной внутренней политики в обществе. При этом необходимо отметить, что большинство авторов подразумевают под этим термином два, несомненно, взаимосвязанных, но в то же время достаточно самостоятельных направления деятельности органов управления – укрепление экономики и развитие социальной сферы.

Таким образом, в складывающейся ситуации возникает необходимость определения теоретических и методологических основ региональной социально-экономической политики, выделения ее атрибутов, целей, задач, обозначение ключевых направлений, основных принципов и составляющих данной категории.

Для уточнения и более полного понимания сущности понятия «социально-экономическая политика», определения ее роли в развитии региона и реализации государственных интересов целесообразно, по нашему мнению, в данном диалектическом ряду выделить и проанализировать в качестве производных от общей категории, следующие понятия: «региональная политика», «социальная политика» и «экономическая политика».

Остановимся более подробно на термине «региональная политика». В Указе Президента РФ от 03.06.1996 N 803 «Об Основных положениях региональной политики в Российской Федерации» дается следующее определение региональной политики – это система целей и задач органов государственной власти субъектов Российской Федерации по управлению политическим, экономическим и социальным развитием регионов [1].

Такой подход, в частности, используют профессор Вертешева С.М. и профессор Рохчина В.Е., которые в своей работе, посвященной региональной социально-экономической политике, рассматривают региональную политику как совокупность регулирующих документов, целевых установок и механизмов достижения целей в политическом, экономическом и социальном развитии регионов страны [5, с. 14].

Справедливости ради, отметим, что данное понятие вполне адекватно отражает суть региональной политики, однако является, по нашему мнению, весьма общим и кратким.

На наш взгляд, понятие «региональная политика» является комплексным, отражающим все ключевые и важнейшие сферы деятельности органа региональной власти по обеспечению благоприятного климата в регионе, а так же повышению качества жизни населения, улучшению экономического положения территории области.

Можно сказать, что существо региональной политики заключается в том, чтобы максимально использовать в интересах всего общества благоприятные территориальные предпосылки и факторы, минимизировать негативное влияние неблагоприятных природных и экономических условий на социально-экономическое положение региона.

В тесной связи с региональной политикой находится понятие региональная социально-экономическая политика – это совокупность экономических и социальных факторов и явлений, обуславливающих формирование и развитие производительных сил и социальных процессов в пределах конкретных регионов.

Социально-экономическая политика региона, используемая в качестве инструмента реализации стратегии развития государства, позволяет решать стоящие перед ним приоритетные задачи, направленные, в первую очередь, на улучшение индивидуального и общественного восприятия жизни, что говорит о повышении качества жизни граждан и возможности свободного развития человека.

В видовой состав социально-экономической политики региона целесообразно включить следующие элементы: социальную политику и экономическую политику.

В наиболее общем виде экономическая политика определяется как проводимая государством или субъектом управления другого уровня (регионом, муниципалитетом и т.д.) генеральная линия поведения, направленная на придание желаемой траектории протекания экономических процессов и воплощаемая в совокупности предпринимаемых мер, посредством которых достигаются намеченные цели и решаются поставленные задачи [5, с.15].

Что касается данного понятия в рамках регионального аспекта, то экономическая политика региона – это важнейшая составляющая деятельности региональных представительных и исполнительных органов власти по реализации централизованного начала управления, обеспечивающего баланс отраслевых и региональных интересов в решении совокупности проблем функционирования и экономического развития субъекта Российской Федерации.

Экономическая политика региона находит своё воплощение в структуре планируемого регионального бюджета, в целевых региональных программах, в региональном законодательстве и т.д.

Региональная экономическая политика – это сердцевина социально-экономической политики региона. Успешная экономическая политика создает необходимые предпосылки для проведения эффективной социальной политики.

Основной целью экономической политики является обеспечение оптимального функционирования рыночного механизма при разрешении социальных проблем. Экономическая политика не может проводиться без учета таких основополагающих общественных ценностей, как свобода, справедливость, безопасность и прогресс. При проведении экономической политики региональные органы власти должны стремиться к обеспечению стабильности уровня цен, высокой степени занятости, внешнеэкономического равновесия в условиях постоянного и сбалансированного экономического роста [8, с. 519].

Под социальной политикой понимается деятельность субъектов управления различного уровня, направленная на управление социальным развитием общества, на обеспечение материальных и культурных потребностей его членов и на регулирование процессов социальной дифференциации. На региональном уровне социальная политика является одним из средств воспроизводства социальных ресурсов и обеспечения стабильности общественной системы. В поле зрения социальной политики находятся все важнейшие процессы и формы организации жизни людей и общественного производства с точки зрения условий труда, быта, отдыха, социальной защиты и развития личности вообще. Важнейшими задачами социальной политики являются обеспечение целостности общества, его устойчивости, возможности динамичного развития и недопущение социальных конфликтов.

Важно отметить, что перспективная социально-значимая задача в регионе состоит в том, чтобы создать благоприятную обстановку для жизни людей в той мере, в которой это позволяют сделать имеющиеся экономические и природные условия. Также региональная политика в социальной области имеет главной целью существенное повышение качества и уровня жизни населения.

По мнению таких авторов как Ермошина Г.П. и Позднякова В.Я. социальная политика региона определяется потребностью обеспечения жизнедеятельности населения, находящегося в трудных жизненных условиях (дети, люди пожилого возраста, инвалиды и т.д.), развития социальной инфраструктуры (здравоохранения, образования, культуры, жилищно-бытового и коммунального хозяйства и т.д.), социального партнерства между работодателями и работниками и социальной ответственностью управляющего механизма региона перед своим населением [6, 56 с.].

Социальная политика нацелена на развитие человеческого потенциала в регионе, повышение продолжительности жизни, доходов населения и создание других благоприятных условий для жизни граждан.

Таким образом, несмотря на то, что как экономическую, так и социальную политику в регионе можно анализировать отдельно, грань между ними весьма условна, поскольку с точки зрения развития территории и общества их стратегические цели во многом совпадают, обе политики взаимосвязаны и взаимообусловлены. Социальную политику любого региона невозможно рассматривать в отрыве от его экономической политики и наоборот. Вместе данные категории образуют именно то, что определяется как «социально-экономическая политика региона».

В общем виде региональную социально-экономическую политику можно определить как совокупность инструментов, форм, процедур и методов реализации субъектами управления целей и задач, определенных в документах, характеризующих перспективное социально-экономическое развитие территории (концепций, программ, стратегий развития) [5, с. 17].

Исходя из обозначенного определения региональной социально-экономической политики к ее основным признакам необходимо отнести:

- наличие законодательно-нормативной базы проведения политики (региональных нормативных документов, регулирующих общественные отношения в процессе реализации политики);
- адресность деятельности регионального органа власти в заданной сфере (следование фиксированным целям, определенным количественно, качественно и во времени в документах, характеризующих перспективное развитие региона);
- наличие субъекта проведения политики (органа управления, устанавливающего формы, инструменты и процедуры реализации целей, определенных документами, характеризующими перспективное социально-экономическое развитие региона);
- наличие объекта политики (социальных общностей или институтов, реализацией интересов которых занимается субъект политики);
- определенность предмета политики (области или сферы интересов, на которые направлена целесообразная деятельность субъекта политики);
- наличие механизмов (или инструментов) проведения политики (совокупность средств, методов и ресурсов, обеспечивающих выполнение планируемых мероприятий в соответствии с поставленными задачами).

Реализация социально-экономической политики региона предполагает разработку соответствующих документов перспективного развития региона, определяющих основные направления социально-экономического развития. К числу таковых относятся краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные прогнозы, отдельные целевые программы по наиболее актуальным проблемам.

Отталкиваясь от анализа стратегических документов субъектов Российской Федерации, от их структуры и от типовой структуры органов исполнительной власти, реализующих данные документы, в видовом составе социально-экономической политики региона целесообразно выделить два основных проблемных, ключевых блока. К ним относятся: блок социальной политики и блок экономической политики. Необходимо отметить, что в свою очередь каждый из выделенных блоков можно разбить на отдельные составляющие элементы, имеющие собственное содержание, систему целей, задач, объектов и процедур. На рисунке представлена структура социально-экономической политики региона.

Как показано на рисунке, в структуре экономической политики можно выделить такие составляющие, как:

- структурная политика;
- финансовая политика;
- денежно-кредитная политика;
- налоговая политика;
- инвестиционная политика;
- политика поддержки малого и среднего предпринимательства.

В структуре социальной политики можно выделить следующие ключевые составляющие:

- политика содействия занятости населения;
- политика социальной защиты населения;
- жилищная политика;
- образовательная политика;
- экологическая политика;
- молодежная политика;
- политика в области здравоохранения;
- политика в области культуры.

Важно отметить, что основные цели, задачи, приоритетные направления отдельных видов социальной и экономической политики региона формируются и определяются исходя из основных положений региональных плановых документов, целевых программ, концепций развития, регламентирующих социально-экономическое развитие региона и в полной степени отражающих региональные особенности.

Составной частью региональной социально-экономической политики является механизм ее реализации. В целом, структура механизма реализации любой политики включает в себя совокупность средств, методов и ресурсов, обеспечивающих выполнение планируемых мероприятий в соответствии с поставленными задачами. Сущность механизма реализации состоит в целенаправленном воздействии структур представительной и исполнительной власти, регионального сообщества на все субъекты хозяйствования. Механизм реализации социально-экономической политики предполагает разработку:

- принципов реализации;
- регулирующих документов;
- плана мероприятий.



Рис. Структура социально-экономической политики региона
Fig. The structure of socio-economic policy of the region

Формирование и реализация региональной социально-экономической политики основывается на базисных положениях, которые заключаются в принципах государственного управления.

По нашему мнению, основными базовыми принципами, на которых должен строиться механизм реализации региональной политики, являются: законность, объективность, управляемость, обоснованность, гибкость, гласность и организованность. Данные принципы и правила применимы ко всем видам политик, проводимым как на федеральном, так и на региональном уровне. Вместе с тем, важно выделение специальных, ключевых принципов, отражающих специфику социально-экономической политики, проводимой на региональном уровне.

Региональная социально-экономическая политика должна осуществляться на основе синхронизации следующих принципов:

- разграничения полномочий между федеральными органами государственной власти и органами государственной власти субъектов Российской Федерации;
- согласованности интересов всех участников региональной социально-экономической политики - общества, государственной власти и корпоративного сектора, что обеспечит заинтересованность и скоординированность их деятельности в рамках её реализации;
- соответствия принимаемых в регионе управленческих решений общей стратегии развития страны;
- сочетания экономического развития территории с социальными преобразованиями;
- сокращения дифференциации в уровне и качестве жизни населения региона с помощью эффективных механизмов экономической и социальной политики, обеспечивающих развитие человеческого потенциала;
- применения механизмов стимулирования органов исполнительной власти и органов местного самоуправления к эффективному осуществлению их полномочий и созданию максимально благоприятных условий для комплексного социально-экономического развития территорий;
- государственной поддержки приоритетных проектов регионального развития и инициатив органов местного самоуправления и бизнеса;
- активизации человеческого потенциала, расширения возможностей личности, формирования у граждан установки на социальную активность и мобильность.



Необходимо отметить, что принципы региональной социально-экономической политики должны нейтрализовать негативную сторону политики, связанную с использованием власти в интересах узких групп, и создавать условия для реализации ее позитивной стороны, связанной с использованием власти в качестве объединяющего начала, позволяющего направить разнообразные интересы и устремления в единое русло.

Региональные органы управления разрабатывают и реализуют собственно региональную социально-экономическую политику, которая представляет собой комплекс мер по достижению целей и приоритетов развития региона, согласие по которым достигнуто региональным сообществом посредством принятия и утверждения соответствующих документов представительным органом власти региона. Сегодня многие субъекты Российской Федерации имеют документы своего стратегического развития, именуемые региональными концепциями, стратегиями, программами социально-экономического развития. Именно в этих документах сформированы стратегические цели, задачи, направления и механизмы реализации социально-экономической политики региона [5, с. 5].

Необходимо отметить, что правовой основой, базой региональной политики является Конституция Российской Федерации, которая определяет систему стабильных ограничений, в пределах которых осуществляется разработка региональной социально-экономической политики. В соответствии с Конституцией РФ, региональное управление наделено самостоятельностью и всем объемом полномочий, необходимых и достаточных для решения вопросов комплексного социально-экономического развития территории. Законотворческий процесс в сфере региональной политики должен быть направлен на гармонизацию отношений между федеральным центром и субъектами Российской Федерации. Конституция РФ создает для этого необходимые предпосылки, являясь основой для разработки механизма регулирования федеративных отношений [1].

Региональные органы управления выступают главным субъектом разработки и реализации региональной социально-экономической политики, осуществляемой совместно с федеральными органами управления, другими заинтересованными в ее реализации субъектами управления и хозяйствования в пределах, установленных законодательством.

Безусловно, успешность выработки и реализации общероссийской стратегии устойчивого развития в сильнейшей степени зависит от ее региональной конкретизации и непосредственно связана со стратегиями территориального социально-экономического развития отдельных субъектов РФ. Стратегии развития регионов представляют собой комплекс управленческих документов и правовых актов, принятых органами государственной власти и направленных на эффективное управление, обеспечение роста валового регионального продукта, капитализацию активов территории и повышение благосостояния граждан. В частности, в стратегии развития определяются основные направления экономического и социального развития территории, а также соответствующие управленческие решения, которые обеспечивают выбор наиболее эффективных путей достижения поставленных целей, преимущественную ориентацию планов на решение социальных задач, обеспечение сбалансированного роста экономики, повышение уровня и качества жизни населения.

В свою очередь, основу разработки стратегии социально-экономического развития составляют стратегические направления, цели и задачи развития Российской Федерации, определенные Президентом и Правительством РФ, Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации, документы и материалы министерств регионального и экономического развития Российской Федерации, федеральные отраслевые стратегии.

Стратегия развития региона определяет целевые ориентиры, количественные и качественные индикаторы социально-экономического развития территории, выражающиеся в достижении и закреплении лидерских позиций и создании условий и механизмов, позволяющих обеспечить опережающие темпы развития экономики, сформировать комфортную среду для жизни человека, обеспечить духовное благополучие населения.

Важнейшим элементом нормативно-правовой основы разработки и реализации региональной социально-экономической политики является Указ Президента РФ «Об основных положениях региональной политики в Российской Федерации» [2].

Отдельные аспекты методологии проведения региональной политики представлены в Федеральном законе «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» [3]. Он, в частности, предусматривает разработку и осуществление мер по обеспечению комплексного социально-экономического развития субъекта, разработку и реализацию программ социально-экономического развития.

Ключевое место в системе документов, определяющих перспективы развития региона,

принадлежит концепции его социально-экономического развития. Данный документ разрабатывается на основе долгосрочного прогноза и включает следующие основные разделы:

1. Оценка уровня социально-экономического развития и потенциала региона, характеристика выполнения ранее установленных целей и задач политики.
2. Анализ ключевых проблем и рисков развития региона.
3. Приоритетные и целевые направления и ориентиры, цели, задачи политики на среднесрочный и долгосрочный период, механизм ее реализации.
4. Анализ предполагаемых результатов и возможных последствий реализации концепции.

Важно также отметить, что в ряде регионов – субъектов РФ приняты законы, в той или иной мере регламентирующие работы по нормативному регулированию разработки и реализации социально-экономической политики. Во многом они дублируют основные положения Федерального закона РФ от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» [4].

Не менее важное значение для устойчивого развития региона приобретают и региональные программы, в которых регионы определяют цели и направления своего экономического и социального развития, формы межрегионального взаимодействия при обязательном учете количественных и качественных параметров, задаваемых стратегией социально-экономического развития Российской Федерации, федеральными целевыми программами.

В целом можно констатировать, что в регионах России на сегодняшний день сформирована достаточная нормативно-правовая база для разработки и реализации региональной социально-экономической политики.

План мероприятий по реализации региональной социально-экономической политики разрабатывается на основе положений основных документов стратегического развития субъекта РФ с учетом основных направлений деятельности Правительства Российской Федерации и включает комплекс организационных, правовых, экономических, социальных и других мероприятий. Данный комплекс, а также перечень государственных программ субъекта РФ, должен в полной мере обеспечивать реализацию социально-экономической политики, долгосрочных целей развития региона, содействующих росту благосостояния его жителей, формированию социально ориентированной экономики, способствующей повышению качества жизни населения.

В зависимости от ключевых составляющих региональной социально-экономической политики все мероприятия можно разделить на отдельные направления, в рамках которых могут быть реализованы проекты, стратегии, программы и т.д. Отдельное место в плане мероприятий по реализации социально-экономической политики региона занимают управленческие мероприятия, связанные с постановкой целей, планированием, организацией, контролем, мониторингом.

В заключение следует отметить, что в последние годы все большее внимание уделяется не только подъему различных отраслей экономики в регионах, повышению уровня благосостояния граждан, социальной защите населения, но и тому, как эти процессы сделать взаимосвязанными, т.е. чтобы рост экономики сопровождался улучшением социальной ситуации, а социальная обстановка эффективно воздействовала бы на протекание экономических процессов.

Таким образом, поставив своей целью анализ понятия «социально-экономическая политика региона», мы выявили и обосновали ее цели, задачи, ключевые направления, принципы и составляющие, получили взаимно подтверждающие и дополняющие данные, в полной степени раскрывающие сущность данной категории.

Резюмируя сказанное, отметим, что понимание и принятие во внимание основных теоретических аспектов социально-экономической политики региона является необходимым условием точного определения векторов развития региона и выработки грамотных управленческих решений региональными органами власти.

Список литературы References

1. Конституция Российской Федерации: (с учетом поправок, внесенных Законами Российской Федерации о поправках к Конституции Российской Федерации от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ) // Справочно-правовая система «Консультант Плюс»: [Электронный ресурс] / Компания «Консультант Плюс».

Constitution of the Russian Federation (as amended by the Law of the Russian Federation on amendments to the Constitution of the Russian Federation of 30.12.2008 N 6-FKZ from 30.12.2008 N 7-FCL, from 05.02.2014 N 2-FKZ from 07/21/2014 N-11 FCL) // Law assistance system "Consultant Plus": [electronic resource] / company "Consultant Plus».

2. Указ Президента РФ от 03.06.1996 N 803 «Об Основных положениях региональной политики в



Российской Федерации» // Справочно-правовая система «Консультант Плюс»: [Электронный ресурс] / Компания «Консультант Плюс».

The decree of the President of the Russia Federation from 03.06.1996 N 803 «About substantive provisions of a region policy in the Russian Federation» // Law assistance system «Consultant Plus»: [electronic resource] / company «Consultant Plus».

3. Российская Федерация. Законы. Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации: федеральный закон от 06.10.1999 N 184-ФЗ (ред. от 03.02.2015) // Справочно-правовая система «Консультант Плюс»: [Электронный ресурс] / Компания «Консультант Плюс».

Federal law of the Russian Federation. from 06.10.1999 N 184-FZ (version dated 03.02.2015). About general principles of the organization of legislative (representative) and executive bodies of the government of subjects of the Russian Federation // Law assistance system «Consultant Plus»: [electronic resource] / company «Consultant Plus».

4. Российская Федерация. Законы. О стратегическом планировании в Российской Федерации: федеральный закон от 28.06.2014 N 172-ФЗ // Справочно-правовая система «Консультант Плюс»: [Электронный ресурс] / Компания «Консультант Плюс».

Federal law of the Russian Federation. from June 28, 2014 of No. 172-FZ. About strategic planning in the Russian Federation // Law assistance system «Consultant Plus»: [electronic resource] / company «Consultant Plus».

5. Вертешева, С.М. Региональная социально-экономическая политика: разработка, реализация, оценка эффективности (учебно-методическое пособие) / С.М. Вертешева, проф. В.Е. Рохчина. – СПб.: СПб ГПУ, 2003. – 320 с.

Vertesheva, S.M. Regional social and economic policy: the development, implementation, performance evaluation (textbook) / S.M. Vertesheva, prof. V.E. Rohchina. - SPb.: SPb GPU, 2003. - 320 p.

6. Ермошина, Г.П. Региональная экономика: учеб. пособие / Г.П. Ермошина, В.Я. Поздняков. – Издательство: ИНФРА-М, 2009. – 576 с.

Yermoshina, G.P. Regional economy: textbook. Manual / G.P. Yermoshina, V.Y. Pozdnyakov. - INFRA-M, 2009. - 576 p.

7. Иншакова, Е.И. Устойчивое развитие макрорегиона: методические и теоретические аспекты исследования / Е.И. Иншакова, А.В. Самохин // Вестник ВолГУ. 2008. № 1(3). С. 2 – 6.

Inshakova, E.I. Sustainable macro-region: methodological and theoretical aspects of the study / E.I. Inshakova, A.V. Samohin // Bulletin of Volgograd. - 2008. № 1 (3). P. 2 - 6.

8. Федоров, Н.В. Прогнозирование социально-экономического развития регионов Российской Федерации / Н.В. Федоров, Л.П. Кураков. – М.: Пресс-сервис, 1998. – 688 с.

Fedorov, N.V. Predicting the socio-economic development of regions of the Russian Federation / N.V. Fedorov, L.P. Kurakov. - M.: Press Service, 1998. - 688 p.

9. Фещенко, Н.В. Формирование и развитие региональной социальной политики: монография / Н.В. Фещенко, Т.А. Елисеева – Хабаровск.: ДВГУПС, 2008. – 120 с.

Feshenko, N.V. Formation and development of regional social policy: monograph / N.V. Feshenko, T.A. Eliseev. - Khabarovsk.: FESTU, 2008. - 120 p.

УДК 332.1:005.08

**СУЩНОСТЬ ПРОЕКТНОГО ПОДХОДА
В УПРАВЛЕНИИ РЕГИОНАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ**
ESSENCE OF DESIGN APPROACH IN MANAGEMENT OF REGIONAL SYSTEMS

Д.В. Алтухов
D.V. Altuhov

Агропромышленная группа БВК, 309182, Белгородская область, г.Губкин ул. Логовая, 1.
BVK agro-industrial group, 309182, Belgorod region, city Gubkin, Logovaya Street, 1.

E-mail: altuhovdv@mail.ru

Аннотация. В данной статье даются определения терминов – «регион», «система», «региональная система», «проектное управление». Анализируется сущность использования методологии проектного подхода в управлении региональными системами. Выделяются особенности реализации проектного подхода: фазы жизненного цикла, участники, ограничения. Сделан вывод о преимуществах применения проектного подхода в управлении региональными системами.

Resume. Abstract. In this article definitions of terms – "region", "system", "regional system", "project management" are given. The essence of use of methodology of design approach in management of regional systems is analyzed. Features of realization of design approach are marked out: phases of life cycle, participants, restrictions. The conclusion is drawn on advantages of application of design approach in management of regional systems.

Ключевые слова: регион, система, региональная система, проект, управление проектами, фазы жизненного цикла проекта, участники проекта, модель проектного управления.

Key words: region, system, regional system, project, management of projects, phases of life cycle of the project, participants of the project, model of project management.

«Благополучие, слава и цветущее состояние государства от трех источников происходит. Первое - от внутреннего покоя, безопасности и удовольствия подданных, второе - от победоносных действий против неприятеля, с заключением придаточного и славного мира, третье - от взаимного сообщения внутренних избытков с отдаленными народами через купечество»

М.В. Ломоносов

Введение

В экономических условиях, сложившихся в современной России, высказывание М.В. Ломоносова о важности внутренней и внешней торговли, базирующейся на перепроизводстве в ключевых региональных направлениях деятельности, является, безусловно, актуальным. Оно затрагивает такие экономико-производственные аспекты, как выявление конкурентных преимуществ, свойственных каждой рассматриваемой региональной системе, расширение производственной базы, выбор стратегии и методологии управления.

Для российской практики государственного и муниципального управления термин «управление проектами» или «проектное управление» относительно новый, несмотря на то, что некоторые элементы этого методологического подхода используются в системе государственного управления федерального уровня. Так, в качестве примера приводят приоритетные национальные проекты. Но этот опыт далеко не исчерпывающий. Если проанализировать существующие практики на уровне региона, то мы увидим успешное внедрение в системы нижестоящего уровня. В России определены пилотные регионы, где проектное управление является актуальной формой работы, в том числе и Белгородская область. При этом существенная роль в разработке соответствующего методологического аппарата отводится изучению позитивного опыта подобной деятельности в мире. По мнению первого заместителя губернатора Белгородской области – начальника департамента кадровой политики В.А. Сергачева, «выстроенная модель проектного управления, которая сегодня функционирует в Белгородской области, является результатом адаптации существую-



щих принципов и требований современных практик проектного управления зарубежных стран» [Сергачев, 2012].

Однако в любой инновационной деятельности, связанной с внедрением новых управленческих технологий и форм работы, всегда возникает необходимость совершенствования бизнес-процессов и уточнения методов их реализации. Это, в свою очередь, является результатом теоретического анализа и монографических исследований.

Исследование

Рассмотрим основные источники нормативной, методической и научной литературы, опираясь на которые мы формируем понятийный аппарат проектного подхода в государственном и муниципальном управлении.

Понятие «регион» является ключевым в региональной экономике и при этом употребляется довольно многозначно. Рассматривая и анализируя современные научные подходы в географическом, экономическом и социальном аспектах, следует отметить, что существующее многообразие подходов не решает проблемы, связанной с необходимостью учета всей совокупности характеризующих признаков. И в этом контексте наиболее целесообразным представляется комплексный подход к определению региона, представленный в работах академика А.Г. Гранберга [Гранберг, 2003], рассматривающего регион как топологическое понятие. Регионы выделяются из территории в соответствии с определенными целями и задачами. А.Г. Гранберг дает следующее определение: «Регион – это определенная территория, отличающаяся от других территорий по ряду признаков и обладающая некоторой целостностью, взаимосвязанностью составляющих ее элементов». В соответствии с этой точкой зрения, следует учитывать наиболее важные характеристики региона: целостность пространства; общность и единство экономики; комплексность хозяйства; наличие определенного контингента, обладающего соответствующим уровнем образования, квалификацией и традиционно сложившимися навыками производства; выход на рынок с использованием имеющихся ресурсов; народно-хозяйственную специализацию, сложившиеся тип и структуру экономического роста.

В развитии этой позиции приведем высказывание таких известных российских ученых-регионалистов, как А.С. Маршалова и А.С. Новоселов [Маршалова, Новоселов, 1998], которые считают, что «регион» является не только подсистемой социально-экономического комплекса страны, но и относительно самостоятельной его частью с законченным циклом воспроизводства, особыми формами проявления стадий воспроизводства и специфическими особенностями протекания социальных и экономических процессов.

При этом нормативная трактовка понятия «регион», очевидно, является более узкой, используемой в целях организации системы управления, ее упорядоченности и единообразия элементов и взаимосвязей между ними. Так, в соответствии с «Основными положениями региональной политики в Российской Федерации» [Указ Президента РФ], под регионом понимается часть территории Российской Федерации, обладающая общностью природных, социально-экономических, национально-культурных и других условий. Регион может совпадать с границами территории субъекта Российской Федерации, либо объединять территории нескольких субъектов Российской Федерации.

Однако, руководствуясь системным подходом к исследованию, рассмотрим регион как систему, то есть целое, составленное из частей, соединение, определённый порядок, основанный на взаимной связи, объединении частей чего-либо, приводящий к возникновению нового качества системы в целом. Результатом этого становится понятие о региональной системе, представляющей собой совокупность многообразия исторически сложившихся последовательностей внутренних и внешних взаимодействий (во всех сферах жизни: экономической, социально-культурной, общественно-политической), характерных для рассматриваемой территории. Необходимо отметить, что региональные системы могут быть как более низкого – по сравнению с уровнем субъекта федерации – территориального уровня (например, город или муниципальное образование), так и более высокого – «макрорегионального» уровня (например, федеральный округ). В этой связи становится очевидным, что для обеспечения управляемости региональными системами более низкого уровня при необходимости достижения совместных целей систем более высокого уровня (зачастую носящих разовый, ограниченный во времени характер), необходимо применение такого инструмента управления, который будет способен обеспечить координированное, планомерное достижение целей. На современном этапе развития управления как науки эффективным в этом смысле является проектный подход.

Для более четкого понимания сущности управления проектами дадим его определение. Управление (от англ. Management) – это процесс планирования, организации, мотивации и кон-

троля, необходимый для того, чтобы определять и достигать цели организации. Проект (от лат. Projectus — брошенный вперёд) – это временное образование, предназначенное для создания уникальных продуктов, услуг или результатов. Следовательно, управление проектами (Project Management) представляет собой использование знаний, навыков, методов, средств и технологий при выполнении проекта для достижения или превышения ожиданий участников проекта. Необходимость прибегать к проектному управлению возникает, когда выполнение регулярных функций не позволяет сформировать необходимые для достижения целей, выходящих за рамки текущей деятельности, ресурсы.

На рисунке 1 представлены основы требований, предъявляемых к проекту при условии равновесия четырех связанных составляющих – содержание, время, затраты (тройственная ограниченность) и качество [Сайт Project Management Experience].



Рис 1. Тройственная ограниченность проекта
Fig. 1. Triple limitation of the project

Из подобного определения управления проектами понятно, что организационно этот подход реализуется как направленный, протекающий в ограниченный интервал времени, с измеримыми результатами процесс. На основании такого определения можно выделить следующие фазы жизненного цикла проекта (рис. 2) [Новиков, 2007]:

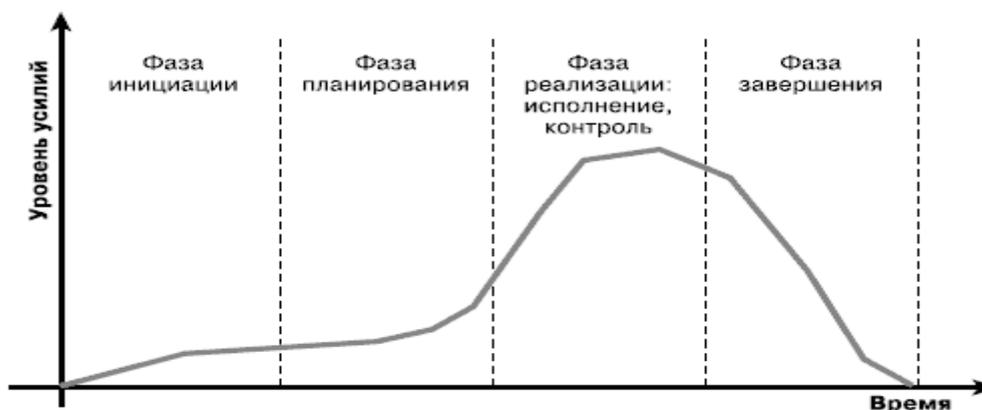


Рис. 2. Фазы жизненного цикла проекта
Fig. 2. Phases of life cycle of the project

Основные акторы процесса:

- заказчик проекта;
- руководитель проекта;
- куратор проекта;
- команда проекта.

Области управления (более детально), контроль над которыми позволяет обеспечить достижение запланированных результатов:

- содержание проекта;
- сроки проекта;
- затраты в проекте;
- риски проекта;
- персонал проекта;



- взаимодействие с заинтересованными сторонами проекта;
- поставки проекта;
- качество проекта;
- обмен информацией в проекте;
- интеграция проекта.

Исходя из перечисленных особенностей, проектный подход представляется эффективным инструментом управления в условиях ограниченности ресурсов и времени достижения целей и имеет ряд преимуществ. Первое принципиальное преимущество состоит в особом взаимодействии экономических субъектов – участников проекта. Особенности взаимодействия обусловлены следующим: а) обязательное согласование интересов участников проекта; б) известный конечный срок завершения проекта; в) организационная и зачастую ресурсная самостоятельность проектных менеджеров. Второе преимущество состоит в том, что проектный подход позволяет наилучшим образом распорядиться ограниченными ресурсами для достижения экономически и социально значимых целей. Третье преимущество выражается в том, что представление проекта как комплекса взаимосвязанных работ с конкретными сроками начала и завершения позволяет получить всестороннюю полноценную экономическую оценку как на этапе разработки проекта, так и в ходе его реализации и по итогам реализации проекта.

Заключение

Поэтапное внедрение проектного подхода в практику деятельности органов власти различных уровней (от национального до муниципального) позволит повысить управляемость и контролируемость всех элементов национальной социально-экономической системы. Проектное управление является тем универсальным инструментом, который способен обеспечить совместное взаимодействие межрегиональных и внутрирегиональных систем, уйти от узкоотраслевых интересов для совместного эффективного решения стратегических задач в масштабах страны и общества в целом. Все вышеперечисленные преимущества проектного управления способны учесть многообразие потенциальных требований стейкхолдеров к результатам социально значимых проектов, целей развития, повышать степень ответственности руководителей и исполнителей, поднять качество финансового планирования на новый уровень.

Список литературы References

1. Указ Президента РФ от 03.06.1996 N 803 «Об Основных положениях региональной политики в Российской Федерации» // СЗ РФ. 1996. № 23. Ст. 2756.
The decree of the Russian President of 03.06.1996 N 803 "About Basic provisions of regional policy in the Russian Federation"//SZ Russian Federation. 1996. No. 23. Art. 2756.
2. ГОСТ Р 54869–2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом. Дата введения 01.09.2012.
GOST R 54869–2011. Design management. Requirements to management of the project. Date of Introduction 01.09.2012.
3. Гранберг, А.Г. Основы региональной экономики / А.Г. Гранберг. - М., Теис, 2003. – 495 с.
Granberg, A.G. Fundamentals of regional economy / A.G. Granberg. - M, Teis, 2003. – 495 p.
4. Львов, Д. Экономические воззрения М.В. Ломоносова / Д. Львов, А. Татаркин, И. Трутнев // Вопросы экономики. 1999. №7.
Lviv, D. Economic views of M.V. Lomonosov / D. Lvov, A. Tatarkin, I. Trutnev // Economy Questions. 1999. №7.
5. Маршалова, А.С. Основы теории регионального воспроизводства / А.С. Маршалова. - М., Экономика, 1998. – 192 с.
Marshalova, A.S. Bases of the theory of regional reproduction / A.S. Marshalova. - M, Economy, 1998. – 192 p.
6. Мескон, М. Основы менеджмента / М. Мескон. - М., Дело, 2004. -800 с.
Meskon M. Management bases / M. Meskon. – M., Business, 2004. – 800 p.
7. Названова, К.В. Современные подходы к определению понятия «регион» [Электронный журнал] / К.В. Названова // Вестник Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. № 1. 2014. – Режим доступа:<http://vestnik-es.vlsu.ru> (25 мая 2015).
Nazvanova, K.V. Modern approaches to definition of the concept «region». Electronic magazine. / K.V. Nazvanova // The bulletin of the Vladimir state university of Alexander Grigoryevich and Nikolay Grigoryevich Stoletovykh. No. 1. – URL: <http://vestnik-es.vlsu.ru> (on May 25, 2015).
8. Новиков, Д.А. Управление проектами: организационные механизмы / Д.А. Новиков. - М., ПМСОФТ, 2007. – 140с.
Novikov, D.A. Project management: institutional arrangements / D.A. Novikov. – M., PMSOFT, 2007. – 140 p.



-
9. Сергачев В.А. Проектное управление в Белгородской области. Бюджет,7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://bujet.ru/article/193742.php> (26 мая 2015).
Sergachev V.A. Project management in the Belgorod region. Budget, 7. Electronic magazine. URL:<http://bujet.ru/article/193742.php> (on May 26, 2015).
10. Руководство к своду знаний по управлению проектами. 2013, - 614с.
The management to the arch of knowledge of management of projects. 2013,614.
11. Сайт Project Management Experience [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pmexperience.org/ru/content/upravlenie-proektami-project-management>.
Site Project Management Experience [http:// pmexperience .org/ru/content/upravlenie-proektami-project-management](http://pmexperience.org/ru/content/upravlenie-proektami-project-management).



УДК 332.12

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ
ОБРАЗОВАНИЙ****INNOVATIVE TECHNOLOGY OF THE EVALUATION
OF UNEVEN SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF MUNICIPALITIES****Л.Р. Кузьмина¹, А.В. Плякин²
L.R. Kuzmina¹, A.V. Plyakin²**¹МБОУ ВПО «Волжский институт экономики, педагогики и права», г. Волжский, e-mail: l.kuzmina69@mail.ru²Волжский гуманитарный институт (филиал) ФГАОУ ВПО "Волгоградский государственный университет", г. Волжский, aplyakin@mail.ru¹Volzhsky Institute of Economics, Pedagogy and law, Volzhsky, Volgograd region²Volzhsky institute of humanities (branch) Volgograd State University, Volzhsky

e-mail:

¹l.kuzmina69@mail.ru²aplyakin@mail.ru

Аннотация. В статье обсуждаются перспективы использования современных неогеографических технологий для управления муниципальным развитием. Растущая популярность последних свидетельствует о приближающемся интеллектуальном переломе в сфере регионального и муниципального управления, в соответствии с которым становится очевидной необходимость кардинальных изменений в процедурах использования статистической информации и картографических данных. Речь идёт о переходе от традиционного восприятия статистических данных (на бумажных носителях) к новому на основе информационных, коммуникационных, геоинформационных и космических технологий. Основу неогеографического инструментария составляют современные геоинформационные системы и данные дистанционного зондирования Земли (спутниковые снимки) как важнейшего результата космической деятельности. Также признаётся перспективной идея создания *виртуального прототипа* региона и входящих в его состав муниципальных образований, способного поднять на качественно новый уровень процесс муниципального социально-экономического планирования и прогнозирования. В первом приближении такой прототип может иметь вид компьютерной модели муниципальных районов, обеспечивающей сведение воедино данных социо-эколого-экономического мониторинга.

Resume. The article discusses perspectives of modern neogeography technologies for management of municipal development. The growing popularity of the latter approaching the intellectual breakthrough in the sphere of regional and municipal management, which becomes obvious the necessity of radical changes in the procedures for the use of statistical information and map data. It is about the transition from the traditional perception of statistics (paper-based) to the new one based on information, communication, geoinformation and space technologies. The basis neogeography toolkit consists of geoinformational system and remote sensing data (satellite imagery) as the most important result of space activities. Satellite imagery and official statistics are the main source of spatial data used in the operation of regional statistical information and analytical systems. The authors acknowledge the promising idea of creating a virtual prototype of the region and its constituent municipalities are able to raise to a qualitatively new level the process of municipal socio-economic planning and forecasting. As a first approximation of such a prototype can be in the form of a municipal areas computer model, providing consolidation of data of socio-ecological-economic monitoring.

Ключевые слова: муниципальный район, неравномерность социально-экономического развития, неогеография, пространственные данные, геоинформационная система, web-картография, дистанционное зондирование Земли.

Keywords: municipal area, the uneven socio-economic development, neo-geography, spatial data, geographic information system, web-mapping, remote sensing.

Внутрирегиональные диспропорции и пространственную неравномерность социально-экономического развития муниципальных образований (городских муниципальных округов, муниципальных районов) во многом определяют перспективы устойчивого развития регионов России. Существующие методики диагностики социально-экономических изменений в муниципальных районах не удовлетворяют современным требованиям при изучении сложных процессов в социальной, экономической и хозяйственной жизни, что объективно снижает качество принимае-

мых решений в сфере реализации региональной социально-экономической политики [Мазурек, 2015]. В связи с этим, требуются новые методологические подходы и внедрение эффективных инновационных информационно-аналитических средств в системах мониторинга муниципального развития.

Заметный вклад в развитие методов оценки пространственной неравномерности экономического развития регионов внесли труды Совета по изучению производительных сил [Гранберг, Штульберг, 2002], а также исследования учёных Института экономики и организации промышленного производства СО РАН [Клисторин, Поздняков, Самков, Суслов, Суспицын, 2007]. Созданный на основе результатов их исследований модельно-методический инструментарий обеспечивает прогнозирование развития многорегиональной системы, обоснование межрегиональной политики, оптимизацию межбюджетных отношений. Основы интегрального прогнозирования, стратегического планирования, национального программирования и макромоделирования отражены в публикациях ряда других российских учёных [Кузык, Кушлин, Тикунов, Яковец, 2009]. Однако, существующие методологические подходы и методический инструментарий не распространяются на сферу экономических взаимодействий муниципального уровня.

Ключевую роль в оценке неравномерности социально-экономического развития муниципальных районов имеют методы, сформированные в рамках статистического и геоинформационного подходов. Статистический подход, основанный на анализе выборок, является широко распространённым, не смотря на существующие проблемы обеспечения органов государственного управления всеобъемлющими статистическими сведениями о состоянии природной среды, экономики и социальной сферы муниципальных образований на территории России. Следует добавить, что эффективная реализация статистического подхода предполагает подбор репрезентативных показателей и индикаторов, позволяющие сформировать объективное представление о различных аспектах социально-экономического развития муниципальных районов и городских муниципальных округов. Для создания и полноценного использования региональных статистических информационно-аналитических систем (РСИАС) в регионах России необходимо дальнейшее совершенствование институциональных основ функционирования органов государственной статистики на основе всестороннего исследования опыта их деятельности, поиска эффективных средств решения проблем реформирования российской статистической системы и учёта особенностей её развития [Олейник, 2008]. По мнению О.С. Олейник, в настоящее время назрел интеллектуальный перелом в сфере регионального и муниципального управления, в соответствии с которым необходимы кардинальные изменения в процедурах предоставления и использования статистической информации. Речь идёт о переходе от традиционного восприятия статистических данных (на бумажных носителях) к новому на основе информационных, коммуникационных и геоинформационных технологий. Современная модель реформирования государственной статистики включает интеграцию в мировую статистическую систему, инновационные нововведения во всех уровнях инфраструктуры с целью обеспечения стабильного функционирования государственной статистической системы.

Большие перспективы для диагностики неравномерности социально-экономического развития муниципальных районов имеет *геоинформационный подход*, существенно дополняющий и расширяющий возможности описанного выше статистического подхода. О перспективах и возможностях использования математико-картографических методов в исследовании проблем территориального развития писали немало в прошлом [Червяков, 1968; Василевский, Медведков, 1976; Карпель, 1980]. Содержание геоинформационного подхода в современном его понимании составляет математико-картографическое моделирование динамики социально-экономического состояния муниципальных районов на платформе геоинформационных систем (ГИС). Трудности внедрения математико-картографических моделей в процесс управления экономическими системами связаны с рядом причин, обусловленных объективной сложностью моделируемых систем и неизбежностью упрощения моделей, снижающих их научную и практическую ценность, трудностью сбора и подготовки исходной информации для последующего анализа. Тем не менее, сложившаяся в настоящее время развитая сеть оказания информационных онлайн-сервисов и услуг, поддерживаемая, в частности, органами государственной статистики, мировыми, отечественными и региональными банками данных, позволяет получить практически значимые результаты.

Решающее значение в проведении математико-картографического моделирования в ГИС имеют концепции и методологические подходы к *дифференциации* видов экономической и хозяйственной деятельности на основе отраслевой классификации различных производств, более детальной классификации предприятий всех форм собственности и функциональных связей в хозяйственных системах: по интенсивности хозяйственных связей, уровню экологичности



производства и образования отходов производства, производственным услугам, структуре занятости населения и т. д. Реализация вышеназванных подходов подводит нас к объективной возможности всестороннего исследования факторной природы регионального экономического пространства, осуществляя наложение, исключение, объединение всех срезов хозяйственной деятельности современного общества с целью управления его социально-экономическим развитием.

Актуальность внедрения геоинформационного подхода обусловлена также тем обстоятельством, что управление муниципальным развитием требует эффективного применения совокупности административно-контрольных, рыночно-ориентированных и финансово-кредитных экономических инструментов на основе современных информационных технологий. Результативность мер по реализации стратегии муниципального социально-экономического развития в значительной степени будет зависеть от конкретного состава и соотношения этих инструментов. В условиях интенсивной хозяйственной деятельности, когда риск негативных последствий принимаемых на региональном уровне административных решений достаточно велик, важно иметь не один инструмент хозяйственного и экономического регулирования, а набор альтернативных и взаимодополняющих друг друга инструментов, обеспечивающих высокую эффективность процесса управления. Инструменты экономического регулирования в конечном итоге должны удовлетворять ряду критериев, в числе которых наиболее важными являются реализуемость и гибкость их практического использования. Это означает, что действующий административно-экономический механизм муниципального управления должен быть в достаточной степени обеспечен ресурсами пространственных данных и современными информационно-методическими средствами их анализа, способными учитывать и оценивать социально-экономические изменения, происходящие на территории муниципальных районов [Плякин, Бодрова, 2013; Орехова, Плякин, 2015].

Важнейшим источником пространственных информационных ресурсов в настоящее время следует признать *результаты космической деятельности*, а именно – данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в виде спутниковых снимков. На основе этих данных возможно создание и оперативное обновление картографической основы для ГИС. Решению проблем оценки социально-экономического состояния территории муниципальных районов способствуют периодически обновляемые данные ДЗЗ. Спутниковые снимки предоставляют актуальную информацию не только об изменении местоположения объектов, но и об изменении их качественных характеристик. В результате тематического дешифрирования спутниковых снимков стала возможной оценка рекреационного потенциала территории, степени деградации природных ландшафтов вследствие хозяйственной деятельности, анализ обеспеченности исследуемой территории природными ресурсами (лесными, почвенными, водными и другими), мониторинг чрезвычайных ситуаций и опасных катастрофических явлений природного и антропогенного происхождения [Копылов, 2008]. В связи с этим, особую значимость приобретает интерпретация мультиспектральных данных, регистрируемых искусственными спутниками Земли (ИСЗ) ресурсного типа, например, Landsat-5 TM. На их основе можно выявить и оценить текущее состояние не только компонентов природной среды, но и элементов хозяйственной, транспортной инфраструктуры. Данные ДЗЗ сегодня стали более доступными и этим объясняется их растущая с каждым годом популярность. Средства Интернета обеспечивают доступ (бесплатный или на возмездной основе) к архивам спутниковых съемок высокого, среднего и низкого пространственного разрешения. Например, на сайте геологической службы США представлен обширный каталог-архив космических снимков различных спутниковых систем.

Дополнительным источником пространственных данных являются веб-картографические сервисы, позволяющих получить бесплатный доступ к спутниковым снимкам высокого разрешения (CNES/SPOT Image, GeoEye, IRS, IKONOS и др.) [Потапов, Потанин, 2009]. Наиболее известными и популярными являются сервисы регулярно обновляемых зарубежных и отечественных картографических сайтов «Bing Maps», «Nokia Maps», «Яндекс Карты», «Космоснимки», «Google Maps». Свободный доступ к высокоточным спутниковым снимкам значительно упрощает процедуру *уточнения границ* природных и хозяйственных систем, а также описания их свойств. Взаимодействие с веб-картографическим сервисом обеспечивает возможность исследования мозаики геометрически откорректированных космических снимков, покрывающих территорию исследуемого региона. Мозаики спутниковых снимков постоянно обновляются, обеспечивая, тем самым, высокую степень актуализации сведений о состоянии территории муниципальных районов.

Следует признать перспективной идею создания *виртуального прототипа* региона и входящих в его состав муниципальных образований, способного поднять на качественно новый уровень процесс муниципального социально-экономического планирования и прогнозирования. В

первом приближении такой прототип может иметь вид компьютерной модели муниципальных районов, обеспечивающей сведение воедино данных социо-эколого-экономического мониторинга [Мостовая, 1996]. Становится очевидным, что виртуальная модель системы муниципальных районов должна иметь картографическую основу [Берлянд, 2003; Поплавский, Свиньин, 2003]. Существующий положительный опыт создания нового класса экономико-математических моделей, в основу которых положен картографический, а если точнее – *неогеографический* способ отображения экономической информации (с помощью спутниковых снимков и ГИС), убеждает нас в возможности получения информации принципиально нового вида, обычно не учитываемой официальной статистикой [Бурцева, 1998; Шаккум, 1999; Панасюк, Пудовик, Зайнуллина, 2004]. Важнейшим достоинством ГИС-технологий является предоставляемая ими возможность выполнения генерализации разнокачественных полей-пространств и формирования новых границ и зон по некоторому набору социально-экономических и экологических показателей [Zeiler, 1999; Mitchell, 1999]. По-видимому, сегодня это – единственный способ агрегирования и визуализации разноразмерной статистической информации, в которой объективно заинтересованы специалисты разных отраслей научного знания и практической деятельности [Потапычев, Панькин, 2003; Goodchild, 2004; Dangermond, 2005].

Список литературы References

1. Берлянт, А.М. Картография, геоинформатика, дистанционное зондирование – пути интеграции / А.М. Берлянт // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2003. 2: 79.
Berljant, A.M. Kartografija, geoinformatika, distancionnoe zondirovanie – puti integracii / A.M. Berljant // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografija. 2003. 2:79.
2. Бурцева, С. Геостатистический подход к пространственно-временному развитию общества / С. Бурцева. Вопросы статистики. 1998, С.51-56.
Burseva, S. Geostatisticheskij podhod k prostranstvenno-vremennomu razvitiju obshhestva / S. Burseva, Voprosy statistiki. 1998, P. 51-56.
3. Василевский, Л.И. Перспективы математических методов в географии. В кн.: Перспективы географии / Л.И. Василевский, Ю.В. Медведков. – Сб. 100. М., 1976. – С. 93-109.
Vasilevskij, L.I. Perspektivy matematicheskikh metodov v geografii. V kn.: Perspektivy geografii / L.I. Vasilevskij, Ju.V. Medvedkov. – Sb. 100. M., 1976. – P.93-109.
4. Гранберг, А.Г. Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование / А.Г. Гранберг, В.И. Суслов, С.А. Суспицын. – Новосибирск, Сиб. науч. изд-во, 2007. – 371 с.
Granberg, A.G. Mnogoregional'nyye sistemy: jekonomiko-matematicheskoe issledovanie / A.G. Granberg, V.I. Suslov, S.A. Suspicyn. – Novosibirsk, Sib. nauch. izd-vo, 2007. – P. 371.
5. Карпель, М.Е. Комплексная оценка территории и пути ее совершенствования в свете системного подхода. Географические науки и районная планировка / М.Е. Карпель. – Сб. 113. М., 1980. – С. 128-139.
Karpel', M.E. 1980. Kompleksnaja ocenka territorii i puti ee sovershenstvovanija v svete sistemnogo podhoda. Geograficheskie nauki i rajonnaja planirovka / M.E. Karpel'. – Sb. 113. M., P. 128-139.
6. Копылов, В.Н. Космический мониторинг окружающей среды: монография. Ханты-Мансийск, Полиграфист, 2008. – 216 с.
Kopylov, V.N. Kosmicheskij monitoring okruzhajushhej sredy: monografija. Hanty-Mansijsk, Poligrafist, 2008. – 216 p.
7. Мазурек, А.М. Инструменты политики выравнивания уровней социально-экономического развития регионов России : дис. ... канд. экон. наук. Белгород, 2015. – 222 с.
Mazurek, A.M. Instrumenty politiki vyravnivanija urovnej social'no-jekonomicheskogo razvitija regionov Rossii : dis. ... kand. jekon. nauk. Belgorod, 2015. – 222 p.
8. Мостовая, И.В. Принципы социально-диагностического анализа социально-экономического развития региона / И.В. Мостовая // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. 1996. 2. С. 59-61.
Mostovaja, I.V. Principy social'no-diagnosticheskogo analiza social'no-jekonomicheskogo razvitija regiona. Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Obshhestvennye nauki. 1996. 2. P.59-61.
9. Олейник, О.С. Информатизация процессов управления развитием региона: общество, статистика, власть / О.С. Олейник. – Волгоград, Изд-во ВолГУ, 2008. – 424 с.
Olejnik, O.S. Informatizacija processov upravlenija razvitiem regiona: obshhestvo, statistika, vlast' / O.S. Olejnik. – Volgograd, Izd-vo VolGU, 2008. – 424p.
10. Орехова, Е.А. Пространственный анализ и оценка потенциала экономического развития муниципальных образований / Е.А. Орехова, А.В. Плякин // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2015. 1(30). С.98-105.
Orehova, E.A. Prostranstvennyj analiz i ocenka potenciala jekonomicheskogo razvitija municipal'nyh obrazovanij / E.A. Orehova, A.V. Pljakin // Biznes. Obrazovanie. Pravo. Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa. 2015. 1(30). P. 98-105.
11. Панасюк, М.В. Использование геоинформационных технологий в оперативном анализе статистических данных / М.В. Панасюк, Е.М. Пудовик, С.Ф. Зайнуллина // Вопросы статистики. 2004. 9. С.64-69.



Panasjuk, M.V. Ispol'zovanie geoinformacionnyh tehnologij v operativnom analize statisticheskikh dannyh / M.V. Panasjuk, E.M. Pudovik, S.F. Zajnullina // Voprosy statistiki. 2004. 9. P. 64-69.

12. Плякин, А.В. Инфраструктура пространственных данных для оценки геоэкологического состояния территории региона / А.В. Плякин, В.Н. Бодрова // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки. 2013. 1. С.59-66.

Pljakin, A.V. Infrastruktura prostranstvennyh dannyh dlja ocenki geojekologicheskogo sostojanija territorii regiona / A.V. Pljakin, V.N. Bodrova // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija 11. Estestvennye nauki. 2013.1. P. 59-66.

13. Поплавский, В.Б. Концепция СРД-модели данных при создании единой информационной системы природопользования (ЕИСП) регионального уровня на основе ГИС-технологий / В.Б. Поплавский, В.Ф. Свиньин // Геоинформатика. 2003. 4. С. 13-19.

Poplavskij, V.B. Konceptija SRD-modeli dannyh pri sozdanii edinoj informacionnoj sistemy prirodopol'zovanija (EISP) regional'nogo urovnja na osnove GIS-tehnologij / V.B. Poplavskij, V.F. Svin'in // Geoinformatika. 2003.4. P.13-19.

14. Потапов, Г.В. Использование API веб-картографических сервисов для доступа к геоданным. Земля из космоса: наиболее эффективные решения / Г.В. Потапов, М.Ю. Потанин. 2009. 3. С.3-7.

Potapov, G.V. Ispol'zovanie API veb-kartograficheskikh servisov dlja dostupa k geodannym. Zemlja iz kosmosa: naibolee jeffektivnye reshenija / G.V. Potapov, M.Ju. Potanin. 2009. 3. P.3-7.

15. Потапычев, С.Н. Геоинформационная система как основа поддержки принятия решений / С.Н. Потапычев, А.В. Панькин // Инновации. 2003. 8 (65).

Potapychev S.N. Geoinformacionnaja sistema kak osnova podderzhki prinjatija reshenij / S.N. Potapychev, A.V. Pan'kin // Innovacii. 2003.8 (65).

16. Червяков, В.А. Картографо-статистические способы определения обобщенных характеристик территорий. Математика в экономической географии / В.А. Червяков. – Сб. 77. М.: 1968. С. 186–195.

Chervjakov, V.A. Kartografo-statisticheskie sposoby opredelenija obobshhennyh harakteristik territorij. Matematika v jekonomicheskoy geografii / V.A. Chervjakov. – Sb. 77. M., 1968. – P.186–195.

17. Шаккум, М.Л. Использование иконических моделей для социально-экономических исследований. Экономика и математические методы / М.Л. Шаккум. – 1999. Т. 35, 2: 21-27.

Shakkum, M.L. Ispol'zovanie ikonicheskikh modelej dlja social'no-jekonomicheskikh issledovanij. Jekonomika i matematicheskie metody / M.L. Shakkum. – 1999. T. 35, 2: 21-27.

18. Dangermond J. GIS helping manage our world. ArcNews, ESRI. Vol. 27. 3: 1-7.

19. Goodchild M.F. 2004. Social sciences: interest in GIS grows. ArcNews. Vol. 26. 1: 1-3.

20. Mitchell A. 1999. The ESRI guide to GIS analysis: Vol. 1: Geographic Patterns & Relationships. ESRI Press, 186.

21. Zeiler M. 1999. Modelling our world. The ESRI guide to geodatabase design. ESRI Press, 199.

22. Сайт геологической службы США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov>.

Sajt geologicheskoy sluzhby SShA. Rezhim dostupa: <http://earthexplorer.usgs.gov>.

УДК 911.375.635

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ БЕЛГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ УРБАНИЗАЦИИ¹**BELGOROD AGGLOMERATION SPACE-TIME DEVELOPMENT IN TERMS OF GLOBAL URBANIZATION PROCESSES****Н.В. Чугунова¹, Т.А. Полякова², С.А. Игнатенко³, Н.В. Лихневская⁴
N.V. Chugunova¹, T.A. Polyakova², S.A. Ignatenko³, N.V. Lixnevskaya⁴**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85, Victory St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail:

¹Chugunova@bsu.edu.ru²Polyakova_t@bsu.edu.ru³Sveta-ignatenko@yandex.ru⁴Myamaretto@yandex.ru

Аннотация. Урбанизация как динамичный, многоплановый процесс отличается исключительной сложностью характера исследования. Развитие городских агломераций, возникающих в результате процессов урбанизации, сопровождается стратификацией в системе населенных пунктов не только между центром и периферией региона, но и между первым и вторым поясами пригородной зоны агломерации.

В данной статье исследована причинно-следственная цепочка пространственно-временных изменений морфологической структуры Белгородской агломерации, определены главный тренд и возможные варианты структурной трансформации агломерации.

Анализ динамики морфологической структуры Белгородской агломерации позволил прийти к выводу, что пространственная организация территории пригородной зоны Белгородской агломерации определяется центр-периферийным положением как движущей силы изменения сети населенных пунктов, их людности, функций. Авторы считают, что эффективность управления территориями определится мерой познания и использования закономерностей пространственного развития систем городского и сельского расселения региона

Resume. Being a dynamic and multifaceted process, urbanization is extremely difficult to research. The development of urban agglomerations, which emerge as a result of urbanization, is accompanied with stratification in the system of localities, not just between the region core and periphery, but within the suburbs, between the first and the second agglomeration stripe. Globalization processes have significantly increased for the last decades, though their effects on the settlement system have not been studied properly yet.

This article deals with the cause-and-effect relationship of space-time development of the morphological structure of Belgorod agglomeration, whereby major trend and possible variants of the agglomeration structural transformation have been defined. The main methods applied in this research include mathematical statistics, comparative geographical method and field survey. Geographical information system technologies have been used as a method of research and visualization of allocation processes with a purpose to analyze the transformations in the allocation of population.

Analysis of the dynamics in morphological structure of Belgorod agglomeration enables to conclude that spatial organization of Belgorod agglomeration suburb area depends on the core-periphery location, which is the driving force of the changes in settlement network, their population rate and functions, with polarization of the social and geographic space being typical of contemporary Belgorod agglomeration settlement system.

The research findings enable to conclude that agglomeration will continue to develop, with a trend towards core becoming denser, and territory and catchment area expanding. The authors believe that the efficiency of territory management will depend on the degree of knowledge and application of the laws of spatial development in urban and rural settlement systems.

Ключевые слова: агломерация, пригородные зоны, субурбанизация, центр, периферия, рост, глобализация.
Key words: agglomeration, suburban zone, suburbanization, center, periphery, growth, globalization.

Постановка задачи

Урбанизация, являясь глобальным чрезвычайно сложным социально-экономическим процессом, постоянно изменяясь во времени и пространстве, приводит к разным результатам своего развития. Опережающий рост городского населения, способствует формированию крупных городов, перерастанию их в городские агломерации. Агломерации, обладая лучшими институтами и человеческим капиталом, экономическим и инвестиционным потенциалами, активизируют раз-

¹ Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ научного проекта №15-13-31001.

витие прилегающих к ним территорий. Вместе с тем, развитие агломераций сопровождается демографической (и социально-экономической) дифференциацией территорий, доминированием центров над периферией, усилением кризисных явлений в периферийных районах. Стратификация в системе населенных пунктов возникает не только между центром и периферией региона, но и в пределах пригородной зоны, между первым и вторым поясами агломерации, оставаясь малоизученной областью исследований в локальных системах расселения. Известно, что в основе интенсивности глубинных процессов урбанизации лежит множество факторов (природных, исторических, социально-экономических, демографических), но недооценивается роль центр-периферийного фактора, центр-периферийных отношений, ставших детерминантом демографических изменений в расселении. Не находит должного отображения в исследованиях и влияние на систему расселения процессов глобализации, значительно выросших в последние десятилетия.

Главные задачи данной статьи мы видели в анализе причинно-следственной цепочки пространственно-временных изменений морфологической структуры Белгородской агломерации, в определении главных трендов и возможных последствий ее развития.

Информационная база, методы исследования.

Информационной базой работы служили материалы переписей населения (1989, 2002, 2010 гг.), текущего учета по Белгородской области, материалы экспедиционных исследований.

В основу исследования положены методы математической статистики, сравнительно-географический, экспедиционный.

Для выявления уровней изменений численности населения муниципальных образований (МО) пригородной зоны мы использовали показатель роста/убыли населения, избрав динамический индекс [Алаев, 1983. С. 122], - относительный показатель, позволивший выразить соотношение величин численности населения на даты переписей, текущего учета и отразить изменения в числе жителей МО. За базу брался показатель численности населения начального периода, обязательное базисное число приравнялось к 100%.

Для анализа трансформации размещения населения воспользовались ГИС-технологиями, позволившими использовать их в качестве метода исследования, а также для визуализации происходящих в расселении процессов. При построении картодиаграмм и сопоставимости результатов по периодам была разработана ступенчатая шкала динамики численности населения. Все поселения в зависимости от индекса роста/убыли были разделены на определенные типы.

К пригородным зонам относили территории, непосредственно окружающие город, наиболее многосторонне и тесно связанные с ним [Ковалев, 1971]. Критериями выделения пригородных зон Белгородской агломерации считали близость к г. Белгороду (для первой зоны радиус в 35 км, для второй - 50 км), интенсивность маятниковых связей, наличие городов-спутников [Чугунова, 2014].

Отметим, что существующая система административно-территориального деления России, группировки статистических данных Росстатом не выделяют в качестве самостоятельной единицы агломерацию, затрудняя проведение исследований.

Основная часть

В результате интегрального действия социально-экономических, исторических, демографических, геополитических факторов сложилась современная система расселения Белгородской области. В ней нашли отражение и закономерности, и особенности процессов урбанизации в регионе. В развитии процессов урбанизации региона участвовали три класса городов - малые, средние, большие или крупные с абсолютным преобладанием малых. В пространственной организации территории, в ее социально-экономическом развитии города играли разную, дифференцированную роль, зависящую от статуса, функциональной структуры, людности, экономико-географического положения и ряда других факторов. В конце XX в. в развитии городов возникли новые тенденции, связанные с проявлением общих закономерностей урбанистических процессов и с изменениями институциональных и социально-экономических условий в стране. Важнейшим трендом развития социально-экономического пространства стала концентрация населения в центрах субъектов РФ, ключевых городах и их пригородах. Новые тенденции способствовали дальнейшему росту населения в больших городах (Белгороде и Старом Осколе), сумевшим успешно адаптироваться к рынку, трансформировать экономику, стать мощными центрами притяжения мигрантов из разных районов области, страны, СНГ.

В результате, в пространственной организации городского расселения региона сформировались системы и подсистемы разного иерархического уровня, с разными аттракторными возможностями концентрации населения, развития поселений, с Белгородской агломерацией в роли лидера (локальной системы первого порядка).



Морфологическая структура Белгородской агломерации

Анализ динамики морфологической структуры Белгородской агломерации позволил выявить устойчивые тенденции в ее развитии - увеличение доли населения пригородной зоны за счет сельского расселения и поселков городского типа, стабилизацию доли города-ядра в структуре агломерации и значительную дифференциацию пригородных районов по темпам роста населения (табл.).

Таблица
Table

Морфологическая структура пригородной зоны Белгородской агломерации. 1989–2014 гг.* (по результатам делимитации границ 2014 г.)
Morphological structure of Belgorod agglomeration suburb area. 1984-2014* (boundaries delimited as of 2014)

Наименование муниципальных районов и городов	Численность населения муниципальных образований: человек и индекс роста/убыли населения					
	1989 г.	2002 г.	2002 к 1989 в %	2014 г.	2014 к 2002 в %	2014 к 1989 в %
Вся агломерация (тыс. чел.)	620,9	678,8	109,3	760,0	111,9	122,4
<i>В том числе:</i>						
г. Белгород (тыс. чел.)	298,2	337,0	113,0	379,5	112,5	127,3
Доля г. Белгорода	48,0	49,6		49,9		
г. Шебекино (тыс. чел.)	44,5	45,1	101,3	43,6	96,7	97,9
Доля г. Шебекино	7,2	6,7		5,8		
Районы	278,2	296,7	106,6	336,9	113,5	121,1
Доля районов:	44,8	48,2		44,3		
<i>Численность районов (тыс. чел.):</i>						
Белгородский	68,8	90,4	131,3	113,8	125,8	165,2
Борисовский	25,0	26,2	104,8	26,3	100,4	105,2
Грайворонский	26,7	31,6	118,4	29,2	92,4	109,4
Корочанский	39,9	33,6	85,4	38,4	114,2	97,6
Прохоровский	29,5	21,8	74,0	28,1	128,6	95,2
Шебекинский	44,6	41,7	93,7	43,7	104,8	98,2
Яковлевский	43,7	51,4	117,6	57,4	111,7	131,4

*Примечание: в состав муниципальных районов включены города районного подчинения (Строитель, Грайворон, Короча) и п.г.т.

(Таблица рассчитана по [Белгородская область в 1999 г., 2000; Статистический бюллетень №3, 2004; Оценка численности..., 2014]).

При этом мы должны отметить, что интенсивность маятниковых поездок из пригородных районов в центр агломерации в 1989 г. была иной, как и состав агломерации и делимитация границ (имела другую конфигурацию). По делимитации 1989 г. на город Белгород с учетом проведенных расчетов в составе агломерации приходилось 70% населения, а агломерация только вступала в фазу интенсивного развития. Процессы субурбанизации были далеки от классического субурбанизационного развития (фордистского города) [Браде, Бурдак, Рудольф. 2003], когда средний класс переезжает жить в пригороды. Незавершенность урбанизации в стране привела к тому, что субурбанизация приобрела специфические российские черты в виде второго дачного жилья горожан. Но ряд исследователей отмечает, что «дача не есть продукт какой-то особой руральной ментальности россиян. Это результат вписывания близкой всем народам тяги к совмещению достоинств городской и сельской жизни в конкретные исторические и географические условия России» [Нефедова, 2013. С. 36]. От западных типов загородного жилья она отличается ярко выраженной сезонностью и использованием земли вокруг дач как средством выживания.

Интеграция России в систему мирохозяйственных связей в конце XX в. стала причиной быстрого развития процессов глобализации, которые во все большей степени проявляются на региональном и локальном уровнях, приводя к трансформации состава и структуры Белгородской агломерации. В XXI веке ее структура постоянно усложняется, отражая эволюционное развитие фаз урбанизации, вступление агломерации в этап интенсивного развития пригородов, формирования классической субурбанизации, появления первых элементов структурной субурбанизации [Chugunova, Polyakova, Likh-



nevskaya, 2013], постсубурбанизационного развития (постфордистского города) с переносом отдельных учреждений и предприятий вторичного и третичного секторов из ядра в пригороды.

Выросли роль и место Белгородской агломерации в социально-экономическом, демографическом, экистическом потенциалах области: 44 % населения, 27% сельских населенных пунктов, 26% обрабатывающей промышленности, 42% инвестиций, 61% оборота розничной торговли, 68% платных услуг области [Чугунова и др., 2012], основная доля которых приходится на собственно город Белгород. Возросший потенциал Белгорода свидетельствует о региональной метрополизации Белгородской области как доминантной тенденции территориальной организации общества в постсоветский период. Рост потенциала и влияния Белгорода вызваны, по мнению А.И. Трейвиша, реверсией «пары Харьков-Белгород», в которой Белгород долго пребывал в «тени» индустриального города-миллионера, но отрезанный от Харькова границей, привлекающий мигрантов, он готов если не прямо, то косвенно соперничать с именитым соседом [Трейвиш, 2012].

Пространственная организация территории пригородной зоны Белгородской агломерации.

Пространственная организация территории пригородной зоны Белгородской агломерации во все большей степени определяется центр-периферийным положением [Friedmann, 1966] как движущей силой изменения сети населенных пунктов, их людности, функций. Дифференциация поселений по потенциальным возможностям выживания и развития свидетельствует об интенсивном росте градиента «центр-периферия»: между муниципальными образованиями первого и второго пригородного поясов, между центральными и вспомогательными («рядовыми») поселениями [Алексеев, 1990]; возникновении корреляции от положения населенного пункта в системе «центр-периферия». Контрасты «центр – периферия» дают импульс возникновению и воспроизводству территориального неравенства, которое усиливается неравномерностью экономического роста, вызывая через миграционные процессы изменения в системах расселения. Они ярко проявляются, если процессы развития пригородного пояса агломерации разделить по времени на два периода: 1989-2002 гг. - время умеренного роста пригородов и интенсивного роста центра агломерации и период 2002-2014 гг. - с выросшими (в два раза) темпами прироста населения в пригородной зоне (см. табл.). Отличительной особенностью обоих периодов является значительная дифференциация пригородной зоны по индексам роста/убыли.

С 1989 по 2002 гг. в составе Белгородской агломерации самые высокие темпы роста населения были в Белгородском районе, в результате которых численность района выросла на 30%, повлияв на демографический потенциал всей агломерации. Это результат близости района к ядру агломерации, окружающему его по периметру, локализации района в первом пригородном поясе (рис. 1).

Наши предыдущие исследования [Лисецкий, Чугунова, 2014], публикации коллег по смежным специальностям [Троцкий, Мищенко, 2014] свидетельствуют о том, что близость к городу является одним из наиболее существенных факторов, детерминирующих развитие сельских территорий. Развитие (опережающее) пригородных сельских территорий обусловлено агломерационным эффектом, стягиванием ресурсов с периферии, распространением инноваций от центра к периферии, приводящими к концентрации населения в пригородных сельских территориях. Значительную роль в концентрации населения играют рынки труда центрального города, расширение зоны трудового тяготения для маятниковых мигрантов пригородной зоны. Населенные пункты сельской местности пригородного пояса все чаще выполняют функции «сел-спален».

В это же время в Прохоровском районе численность населения сократилась на 25%, Корочанском на 15% - районах периферии пригородной зоны (второго пояса).

Одним из результатов урбанизации (и глобализации) стал процесс депопуляции сельской местности с моноспециализацией населенных пунктов на сельском хозяйстве. Происходящая приватизация земли, внедрение современных агротехнических систем производства приводят к резкому сокращению потребности в трудовых ресурсах. Исторически сложившееся густое заселение сельской местности становится не нужным, исходя из экономических расчетов агропредпринимателей [Поросенков, 2012]. Молодежь, не находя сферы приложения труда (и ориентируясь на высокие стандарты жизни в условиях всепроникающих процессов глобализации, Интернета) мигрирует в крупные города. Центростремительная миграция усиливается негативными социальными последствиями разреживания местных сетей обслуживания.

Имманентная неравномерность экономического и социального роста привела к углублению стратификации и поляризации экистического пространства, деформированию типичных форм и структуры расселения и на следующем временном лаге - периоде 2002-2014 гг. (рис. 2).

Рис. 1. Изменения численности населения в составе Белгородской агломерации.

1989-2002 гг. (Составлено по [Белгородская область в 1999 г., 2000; Итоги Всероссийской переписи 2010 г., 13 марта 2015; Статистический бюллетень №3..., 2004])

Fig. 1. Changes in the population size of Belgorod agglomeration. 1989-2002

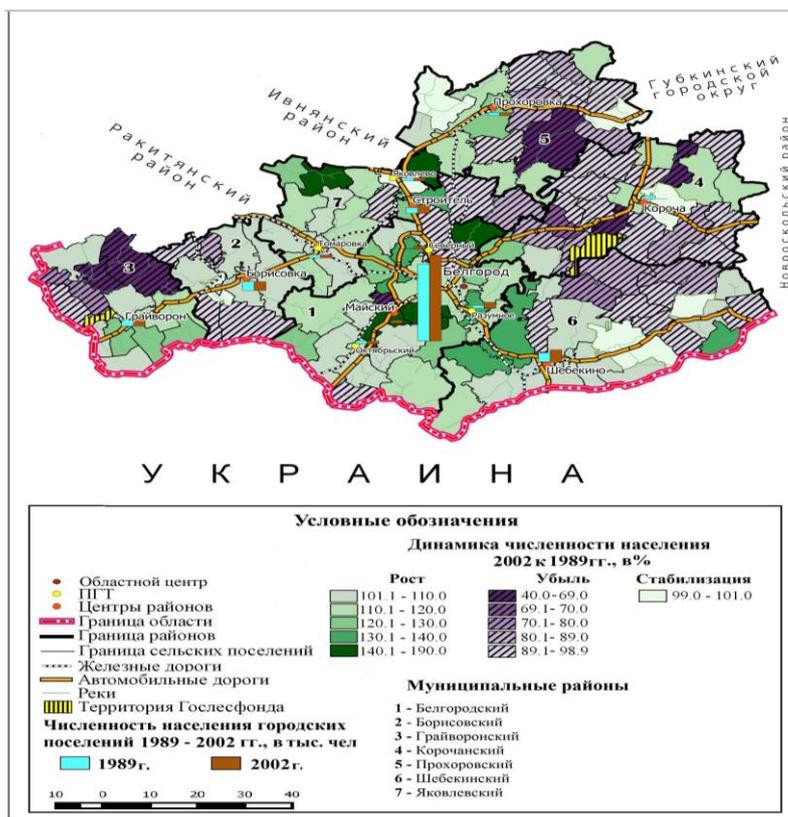
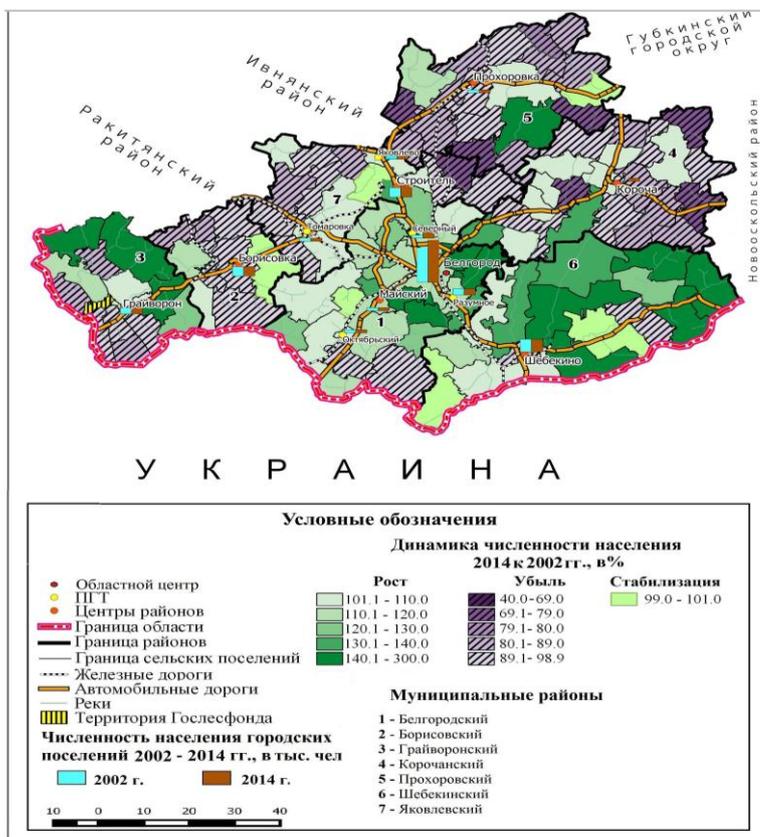


Рис. 2. Изменения численности населения в составе Белгородской агломерации.

2002-2014 гг. (Составлено по [Оценка численности населения..., 20 февраля 2015, Статистический бюллетень №3..., 2004])

Fig2. Changes in the population size of Belgorod agglomeration. 2002-2014



Периферийные по отношению к центру районы - Корочанский, Прохоровский продолжают демографически и экитически сжиматься: в Корочанском районе из 22 сельских поселений численность населения выросла лишь в четырех, расположенных в пределах получасовой доступности



(с. Мелихово, например) от г. Белгорода, жители которых ежедневно ездят на работу (маятниковые мигранты) в центральный город. В Прохоровском районе ситуация еще сложнее: на 19 поселений всего одно растущее и несколько поселений в стадии стабилизации. Ситуация в разрезе населенных пунктов еще сложнее.

И, по-прежнему, высокой притягательной силой для населения (и бизнеса) отличается Белгородский район, для которого дополнительным фактором роста становится субурбанизационное развитие. В начале нового тысячелетия процессы глобализации приводят к тому, что переосматриваются ценностные ориентации среднего класса – жизнь в пригороде большого города становится все более престижной и роль аттрактора досталась Белгородскому району, окружающему ядро агломерации. Субурбанизация порождает не только новые коттеджные постройки (п. Дубовое, Таврово, Новосадовый и др.), но и поселки для высокообеспеченной страты горожан (охраняемые мини-поселки, огороженные высокими заборами) с реальным ростом сегрегации...

Основные выводы

Результаты исследования свидетельствуют о том, что современная система расселения Белгородской агломерации характеризуется поляризацией социально-географического пространства.

Концентрация населения в крупном городе - Белгороде и дальнейшее субурбанизационное развитие - закономерные проявления глобальных процессов эволюции урбанизации, неизбежных на данном уровне развития страны.

Контуры будущей модели расселения Белгородской агломерации уже заложены (как и региональной системы расселения) и ясно просматриваются: агломерация продолжит интенсивно развиваться с тенденцией уплотнения ядра, усложнения структуры и расширения зоны влияния и территории.

В ситуации развития г. Белгорода в неизменных границах, изменения пропорций населения между ядром и пригородной зоной в пользу пригорода, для избежания инфраструктурного коллапса необходимо в пригородном поясе создание экономически и социально диверсифицированной среды, равноценной ядру агломерации.

Эффективность управления территориями определится мерой познания и использования закономерностей пространственного развития систем городского и сельского расселения.

Список литературы References

1. Алаев, А.Б. Социально-экономическая география. Понятийно-терминологический словарь / А.Б. Алаев. - М: Мысль, 1983. – 350с.
Alayev, A.B. Sotsialno-economiceskaya geographia. Pomyatijno-terminologicheskij slovar. [Social and Economic Geography. Conceptual and terminological dictionary] / A.B. Alayev. – М: Mysl, 1983.- 350p. (in Russian).
2. Алексеев, А. И. 1990. Кризис урбанизации и сельская местность России. В сб: Миграция и урбанизация в СНГ и Балтии в 1990-е гг. / А. Алексеева . Ред. Ж. А. Зайончковская.- М., 1990. – с.83-94.
Alexeev, A.I. Krisis urbanizatsii i selskaya mestnost Rossii. V sb: Migratsia i urbanizatsia v SNG i Baltii v 1990-ye g.Red.Zh.A.Zaionchkovskaya [Urbanization crisis and rural areas in Russia. Collection: Migration and urbanization in CIS and Baltic states in 1990s. Coll. Zh.A. Zaionchkovskaya] / A.I. Alexeev. – М., 1990. – 83-94. (in Russian).
3. Белгородская область в 1999 г. 2000. Ст. сб. Белгород: Белгородский обл. ком. гос-й статистики. – 426 с.
Belgorodskaya Oblast v 1999 g. 2000. St.sb.Belgorod: Belgorodskiy obl.kom.gos-y statistiki [Belgorod region in 1999. 2000. Collection of articles. Belgorod: Belgorod regional statistics committee]. – 426p. (in Russian).
4. Браде, И.Тенденции развития периферийных зон крупнейших городов Европы. В сб.: Крупные города и вызовы глобализации. Ред. В.А. Колосов и Д. Эккерт. Смоленск: Ойкумена / И. Браде, И Бурдак, Р. Рудольф, 2003. – 128-138с.
Brade I. Tendentsii razvitiya periferiynykh zon krupneyshikh gorodov Evropy. V sb.: Krupniye goroda I vyzovy globalizatsii. Red.V.A.Kolosov I L.Ekkert. [Trends in development of Europe's largest cities peripheral area. Collection of articles: Large cities and globalization challenges. Coll. V.A. Kolosov and D.Ekkert]. Smolensk: Oykumena / I. Brade, I. Burdak, R. Rudolf., 2003. – 128-138p. (in Russian).
5. Итоги Всероссийской переписи 2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belg.gks.ru> (13 марта 2015).
Itogi Vserossiyskoy perepisi 2010 g. Resursy Internet. [2010 Russian National Census data. Internet resource]: <http://belg.gks.ru> (March 13 2015). (in Russian).
6. Лисецкий, Ф.Н. Расселение населения муниципальных образований Белгородской области как основной фактор в реализации концепции «Район-Парк» / Ф.Н. Лисецкий, Н.В. Чугунова // Научные ведомости Белгородского государственного университета Серия: История, Политология, Экономика, Информатика. 2014. № 1 (172). Выпуск 29/1. С.46-55.

Lisetskiy, F.N. Rasseleniye naseleniya munitsipalnykh obrazovaniy Belgorodskoy oblasti kak osnovnoy factor v realizatsii kontseptsii "Rayon-Park" / F.N. Lisetskiy, N.V. Chugunova // Belgorod State University Scientific Bulletin. Seriya: Istoriya, Politologiya, Ekonomika, Informatika. 2014.No 1 (172). Vypusk 29/1 [Population allocation in Belgorod region municipalities as a key factor in implementing the "Park-District" concept. BelSU Scientific Bulletin. Series: History, Political Science, Economics, Computer Science. No 1 (172). Volume 29/1]. P. 46-55. (in Russian).

7. Ковалев, С.А. Типология пригородных зон. Сб.: Вопросы географии. №87. Расселение в пригородных зонах / С.А. Ковалев. – М.: Мысль, 1971. – 144 с.

Kovalev, S.A. Tipologiya prigorodnykh zon. Sb.: Voprosy geographii. No 87. Rasseleniye v prigorodnykh zonakh. [Typology of suburb areas. Collection of articles: Issues of Geography. No 87. Population allocation in suburb areas] / S.A. Kovalev. – М.: Mysl, 1971. – 144 p. (in Russian).

8. Оценка численности населения Белгородской области по муниципальным районам и городским округам. 2014. Режим доступа: http://belg.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/belg/resources/66e33d004foadc14ab57bb22524f7e0f/peopl_15ut.htm (20 февраля 2015)

Otsenka chislennosti naseleniya Belgorodskoy oblasti po munitsipalnym rayonam i gorodskim okrugam. [Estimate of Belgorod region population size in municipal districts and urban areas]. 2014. URL: http://belg.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/belg/resources/66e33d004foadc14ab57bb22524f7e0f/peopl_15ut.htm (20 February 2015). (in Russian).

9. Нефедова, Т.Г. Десять актуальных вопросов о сельской России. Ответы географа / Т.Г. Нефедова. – М.: ЛЕНАНД, 2013. – 456 с.

Nefedova, T.G. Desyat aktualnykh voprosov o selskoy Rossii. Otvety geographa. [Ten urgent issues of rural Russia. Geographer's answers]. / T.G. Nefedova. – М.: LENAND, 2013. – 456p. (in Russian).

10. Поросенков, Ю.В. Пространство современной России: возможности и барьеры развития (размышления географов-обществоведов). Ред. А.Г. Дружинин, В.А. Колосов, В.Е. Шувалов. М.: Вузовская книга, 2012. – 336 с. Режим доступа: <http://argo.sfedu.ru/content/prostranstvo-sovremennoi-rossii-vozmozhnosti-i-barery-razvitiya-razmyshleniya-geografov-obsh> (25 ноября 2013).

Porosenkov, Yu.V. Prostranstvo sovremennoy Rossii: vozmozhnosti i bariery razvitiya (razmyshleniya geographov-obshchestvovedov). Red. A.G. Druzhinin, V.A. Kolosov, V.E. Shuvalov. [The territory of contemporary Russia: opportunities and development barriers (geographers' and social scientists' speculations) Coll. A.G. Druzhinin, V.A. Kolosov, V.E. Shuvalov]. М.: Vuzovskaya kniga, 2012. – 336p. URL: <http://argo.sfedu.ru/content/prostranstvo-sovremennoi-rossii-vozmozhnosti-i-barery-razvitiya-razmyshleniya-geografov-obsh>. (November 25, 2013). (in Russian).

11. Трейвиш, А.И. Пространство современной России: возможности и барьеры развития (размышления географов-обществоведов) Ред. А.Г. Дружинин, В.А. Колосов, В.Е. Шувалов. М.: Вузовская книга, 2012. – 336 с. Режим доступа: <http://argo.sfedu.ru/content/prostranstvo-sovremennoi-rossii-vozmozhnosti-i-barery-razvitiya-razmyshleniya-geografov-obsh> (28 ноября 2013).

Treivish, A.I. Prostranstvo sovremennoy Rossii: vozmozhnosti i bariery razvitiya (razmyshleniya geographov-obshchestvovedov). Red. A.G. Druzhinin, V.A. Kolosov, V.E. Shuvalov. [The territory of contemporary Russia: opportunities and development barriers (geographers' and social scientists' speculations) Coll. A.G. Druzhinin, V.A. Kolosov, V.E. Shuvalov. М.: Vuzovskaya kniga. 2012. – 336p. URL: <http://argo.sfedu.ru/content/prostranstvo-sovremennoi-rossii-vozmozhnosti-i-barery-razvitiya-razmyshleniya-geografov-obsh>. (November 28, 2013). (in Russian).

12. Статистический бюллетень №3. Сельское население. Итоги всероссийской переписи населения 2002 года. 2004. Белгород. – 53 с.

Statisticheskiy bulletin No 3. Selskoye naseleniye. Itogi vserossiyskoy perepisi naseleniya 2002 goda. [Statistical bulletin No 3. Rural population. 2002 Russian national census data]. 2004. Belgorod. – 53p. (in Russian).

13. Троцковский, А.Я. Пространственное развитие сельской периферии: методология и основные результаты исследования. Региональная экономика: теория и практика / А.Я. Троцковский, И.В. Мищенко. 2014. №45. С. 2-14.

Trotzkovsky, A.Ya. Prostranstvennoye razvitiye selskoy periferii: metodologiya i osnovniye rezultaty issledovaniya. Regionalnaya ekonomika: teoriya i praktika. [Spatial development of rural periphery: methodology and basic research findings. Regional economy: theory and practice] / A.Ya. Trotkovsky, I.V. Mischenko. 2014. No 45 (in Russian).

14. Чугунова, Н.В. Особенности современного социально-экономического и экистического развития пригородной зоны агломерации. Проблемы региональной экологии / Н.В. Чугунова, Т.А. Полякова, Е.В. Деловая, С.А. Игнатенко. – М.: Институт географии РАН. 2012. №2. С. 35-42.

Chugunova, N.V. 2012. Osobennosti sovremennoy sotsialno-ekonomicheskogo i ekisticheskogo razvitiya prigorodnoy zony aglomeratsii. Problemy regionalnoy ekologii. М.: Institut geografii RAN. [Specifics of contemporary socio-economic and ekistic development of agglomeration suburbs. Refional ecology issues. М.: RAS Geography Institute] / N.V. Chugunova, T.A. Polyakova, E.V. Delovaya, S.A. Ignatenko. 2012.No 2. P. 35-42. (in Russian).

15. Чугунова, Н.В. Белгородская агломерация в региональной системе расселения / Н.В. Чугунова // Управление городом: теория и практика. Тема номера: «Развитие Белгородской агломерации». 2014. №1 (12). С.30-37.

Chugunova, N.V. Belgorodskaya aglomeratsia v regionalnoy sisteme rasseleniya / N.V. Chugunova // Upravleniye gorodom: teoriya i praktika. Tema nomera: "Razvitiye Belgorodskoy aglomeratsii. [Belgorod agglomeration in regional settlement system. Urban management: theory and practice. Volume: "Belgorod agglomeration development". 2014. No 1 (12). P.30-37. (in Russian).



ОТРАСЛЕВЫЕ РЫНКИ И РЫНОЧНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

УДК 338.984

КОМПЛЕКСНЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВОЙ СЕТИ COMPLEX INTEGRATED INDICATOR OF COMPETITIVENESS OF THE RETAIL DISTRIBUTION NETWORK

Г.В. Михеев
G.V. Mikheev

Кубанский государственный технологический университет, Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2.
Kuban State Technological University, 2, Moscovskay St, Krasnodar, 350072, Russia.

E-mail: mgstyle77@yandex.ru

Аннотация. Расширение бизнеса требует новых инвестиций, которые могут быть обеспечены за счет собственных или заемных средств. Оценка уровня конкурентоспособности розничной торговой сети, является основой для успешного принятия управленческих решений и полностью должно обеспечиваться измерительной системой. В статье для определения оценки конкурентоспособности розничной торговой сети сгруппированы критерии по отдельным элементам комплекса маркетинга, предложены показатели для розничной торговой сети. Предложена матрица розничных торговых сетей конкурирующих на рынке FMCG.

Resume. Expansion of business requires new investments which can be provided at the expense of own or borrowed funds. The assessment of level of competitiveness of a retail distribution network, is a basis for successful acceptance of management decisions and completely shall be provided with measuring system. In article for determination of an assessment of competitiveness of a retail distribution network criteria are grouped in separate elements of a marketing mix, indicators for a retail distribution network are offered. The matrix of the retail distribution networks competing in the FMCG market is offered.

Ключевые слова: Розничная торговая сеть, показатели по продукции розничной торговой сети, показатели по ценовой политике розничной торговой сети, показатели по доведению товаров до потребителя розничной торговой сети, показатели по продвижению товаров в розничной торговой сети, показатель конкурентной позиции розничной торговой сети.

Key words: A retail distribution network, indicators on production of a retail distribution network, indicators on price policy of a retail distribution network, indicators on bringing goods to the consumer of a retail distribution network, indicators on promotion of goods in a retail distribution network, an indicator of a competitive line item of a retail distribution network.

Введение

Розничная торговля является одним из наиболее динамично развивающихся секторов экономики России, опережающим по темпам роста другие отрасли. Постоянно изменяющаяся среда, в которой функционирует современные предприятия сетевой розничной торговли, предъявляет

серьезные требования к управлению бизнесом. В условиях ужесточения конкуренции розничным торговым сетям необходимо расширять масштабы своей деятельности темпами, соответствующими или опережающими темпы роста рынка. В противном случае компания будет терять свою долю рынка и, как итог, проиграет конкурентную борьбу. Расширение бизнеса требует новых инвестиций, которые могут быть обеспечены за счет собственных или заемных средств. Оценка уровня конкурентоспособности розничной торговой сети, является основой для успешного принятия управленческих решений и полностью должно обеспечиваться измерительной системой.

Для определения конкурентной позиции розничной торговой сети первоначально за основу в работе мы использовали методики М. Диканова, И. Скрынниковой [Диканов, Скрынникова, 2012], Т. Парамоновой и И. Красюк [Парамонова, Красюк, 2013], а также В. Белоусова [Белоусов, 2001], [Сибирская, Овешникова, 2013] в которые были внесены отдельные изменения.

Для розничной торговой сети, очень важно знать, позицию которую она занимает, данный показатель сильно зависит, как от потребительского отношения к розничной торговой сети, так и от отношения к продукции, которую данная розничная торговая сеть предлагает, ее качества, уровень которого может быть определен только практическими методами.

Результаты исследований

Мы предлагаем оценивать конкурентную позицию розничной торговой сети по формуле (1).

$$KPS = \left(1 - \frac{PRT}{R}\right) \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(1 - \frac{Pp}{M}\right) \times di \quad (1)$$

где KPS – конкурентная позиция s -ой торговой сети, $S=1...R$;

R –общее число розничных торговых сетей присутствующих в данном субъекте;

M –общее число представленной в данной розничной торговой сети марок j -товара в i -ой номенклатуре продукции, $i = 1...N, j = 1...M$;

di – удельный вес количества реализованной продукции j -ой марки в общей номенклатуре товаров анализируемого вида;

PRT – позиция анализируемой розничной торговой сети в общем рейтинге основанном на мнении покупателей;

Pp – позиция товара в сводном рейтинге, основанном на рейтинге покупателей, органолептической и лабораторной экспертизах.

На основании представленной формулы, можно заключить, что если $KPS > 1$, то конкурентную позицию данной розничной торговой сети можно охарактеризовать как сильную, в случае если $0,5 < KPS < 1$, то, как среднюю, при $KPS < 0,5$, то следует охарактеризовать как слабую позицию.

Предложенная формула может казаться сложной из-за емкости расчетов, поскольку в розничной торговой сети представлены тысячи, а порой даже десятки тысяч товарных позиций, однако данный недостаток, можно устранить, рассмотрев не все категории товаров, а лишь те основные, на которые ориентируется та или иная розничная торговая сеть, также следует проводить постепенное проведение исследований, поскольку лабораторные экспертизы являются дорогостоящими мероприятиями, однако очень важными и необходимыми, если розничная торговая сеть хочет выжить в сложной конкурентной борьбе, характерной в настоящее время для современного рынка.

Преимущество предложенной формулы в том, что в отличие от представленных М. Дикановым, И. Скрынниковой, Т. Парамоновой и И. Красюк, она ориентирует на реализацию качественной продукции, а именно этот критерий рассматривается как основополагающий в оценке конкурентных преимуществ и является одним из главных в вопросах выживания розничной торговой сети. Розничная торговая сеть имеет очевидную возможность варьировать ассортимент своей продукции, ориентируясь на результаты таких исследований.

Для оценки конкурентоспособности розничной торговой сети критерии группируются по отдельным элементам комплекса маркетинга: а) продукция; б) цена; в) доведение продукции до потребителя; г) продвижение продукции.

С учетом изложенного ранее предлагаем следующую систему показателей для розничной торговой сети.

1. Показатели по продукции розничной торговой сети

Коэффициент рыночной доли РТС на рынке FMCG (Fast Moving Consumer Goods, FMCG) – сектор быстро оборачиваемых продуктов в розничной торговле:

$$CMS = \frac{PSVrt}{PSVm} \quad (2)$$



где $PSVrt$ – объем продаж продукции розничной торговой сети;

$PSVm$ – общий объем продаж продукции на рынке.

Данный коэффициент показывает долю, занимаемую розничной торговой сети на рынке FMCG.

Коэффициент предпродажной подготовки РТС:

$$CpsP = \frac{SEpsP}{SEa} \quad (3)$$

где $SEpsP$ – сумма затрат на предпродажную подготовку;

SEa – сумма затрат на приобретение продукции и организацию ее продаж.

Данный показатель характеризует усилие розничной торговой сети к росту конкурентоспособности за счет улучшения предпродажной подготовки, в случае если продукция или товары не требуют предпродажной подготовки в отчетный период, то $CpsP = 1$.

Коэффициент изменения объема продаж РТС:

$$CCSV = \frac{SVErp}{SVBrp} \quad (4)$$

где $SVErp$ – объем продаж на конец отчетного периода;

$SVBrp$ – объем продаж на начало отчетного периода.

Данный коэффициент показывает рост или снижение конкурентоспособности розничной торговой сети за счет роста объема продаж.

2. Показатель по ценовой политике розничной торговой сети.

Коэффициент уровня цен РТС:

$$PLC = \frac{Pmax + Pmin}{2Prt} \quad (5)$$

где $Pmax$ – максимальная цена товара на рынке;

$Pmin$ – минимальная цена товара на рынке

Prt – цена товара установленная розничной торговой сетью.

Данный коэффициент показывает рост или снижение конкурентоспособности розничной торговой сети за счет динамики цен на товары.

3. Показатель по доведению товаров до потребителя розничной торговой сети.

Коэффициент доведения товаров до потребителя РТС:

$$CFC = \frac{CCSV \times SEdsfErp}{SEdsfBrp} \quad (6)$$

где $CCSV$ – коэффициент изменения объема продаж розничной торговой сети;

$SEdsfErp$ – сумма затрат на функционирование системы сбыта на конец отчетного периода;

$SEdsfBrp$ – сумма затрат на функционирование системы сбыта на начало отчетного периода.

Данный коэффициент показывает стремление розничной торговой сети к повышению конкурентоспособности за счет улучшения сбытовой деятельности.

4. Показатели по продвижению товаров в розничной торговой сети.

Коэффициент рекламной деятельности РТС:

$$CAA = \frac{CCSV \times SEaaErp}{SEaaBrp} \quad (7)$$

где $CCSV$ – коэффициент изменения объема продаж розничной торговой сети;

$SEaaErp$ – сумма затрат на рекламную деятельность на конец отчетного периода;

$SEaaBrp$ – сумма затрат на рекламную деятельность на начало отчетного периода.

Данный показатель характеризует стремление розничной торговой сети к росту конкурентоспособности за счет улучшения рекламной деятельности.

Коэффициент использования персональных продаж в РТС:

$$EPS = \frac{CCSV \times SEsaErp}{SEsaBrp} \quad (8)$$

где $CCSV$ – коэффициент изменения объема продаж розничной торговой сети;

$SEsaErp$ – сумма затрат на оплату труда торговых агентов-продавцов на конец отчетного периода;



$SEsaBrp$ – сумма затрат на оплату труда торговых агентов-продавцов на начало отчетного периода.

Данный коэффициент показывает стремление розничной торговой сети к росту конкурентоспособности за счет роста персональных продаж с привлечением дополнительных торговых агентов-продавцов.

Коэффициент использования PRv РТС:

$$EPR = \frac{CCSV \times EPRErp}{EPRBrp} \quad (9)$$

где $CCSV$ – коэффициент изменения объема продаж розничной торговой сети;

$EPRErp$ – затраты на связь с общественностью на конец отчетного периода;

$EPRBrp$ – затраты на связь с общественностью на начало отчетного периода.

Данный коэффициент показывает стремление розничной торговой сети к росту конкурентоспособности за счет улучшения связей с общественностью.

Определим итоговый показатель конкурентоспособности маркетинговой деятельности, для этого суммируем вышеперечисленные коэффициенты и найдем среднеарифметическую величину. Назовём его коэффициентом маркетинговой адаптации конкурентоспособности ($CMAC$).

$$CMAC = \frac{CMS + CpsP + CCSV + PLC + CFC + CAA + EPS + EPR}{N} \quad (10)$$

где N – общее число показателей в числителе, в данном случае $N = 8$.

Важно отметить, что большинство коэффициентов имеют разные величины, тогда для расчета конкурентоспособности маркетинговой деятельности розничной торговой сети нужно определить сумму коэффициентов для всей продукции:

$$\sum C = \frac{\sum CMAC}{n} \quad (11)$$

где n – количество товаров и/или услуг розничной торговой сети.

Также для расчета полной конкурентоспособности розничной торговой сети нужно учитывать общефинансовые коэффициенты, которые рассчитываются на основе анализа баланса розничной торговой сети (предприятия в целом) за отчетный период. Коэффициент текущей ликвидности (CCL) определяется как отношение фактической стоимости находящихся в наличии у розничной торговой сети оборотных средств в виде товарных запасов, денежных средств, дебиторских задолженностей и прочих оборотных активов к наиболее срочным обязательствам розничной торговой сети в виде краткосрочных кредитов банков, краткосрочных займов и различных кредиторских задолженностей:

$$CCL = \frac{\text{итог второго раздела баланса}}{\text{итог пятого раздела баланса}} \quad (12)$$

Нормативное значение коэффициента – не менее 2.

Если говорить про коэффициент обеспеченности собственными средствами ($CSWM$), то он определяется как отношение между объектами источников собственных средств (итог третьего раздела баланса) и фактической стоимостью основных средств и прочих внеоборотных активов (итог первого раздела баланса) к фактической стоимости находящихся в наличии у розничной торговой сети оборотных средств в виде товарного запаса, денежных средств, дебиторской задолженности и прочих оборотных активов (итог второго раздела баланса).

$$CSWM = \frac{\text{итог третьего раздела баланса} - \text{итог первого раздела баланса}}{\text{итог второго раздела баланса}} \quad (13)$$

Нормативное значение – не менее 0,1.

Полная формула расчета конкурентоспособности розничной торговой сети:

$$CRT = \sum C \times CCL \times CSWM \quad (14)$$

Предлагаем в представленную формулу внести отдельные изменения:

$$CRT = CMAC \times KPS \times CCL \times CSWM \times \sum C \quad (15)$$

где $CMAC$ – коэффициент маркетинговой адаптации конкурентоспособности;

KPS – конкурентная позиций розничной торговой сети.

При оценке результатов расчета следует использовать матрицу группового ранжирования конкурирующих розничных торговых сетей. Данная матрица представляет собой прямоугольник, разбитый на девять секторов, каждый из которых соответствует определенному коэффициенту от -10 до 10. Сама матрица делится на пять уровней, каждый из которых соответствует определенной группе розничных торговых сетей, различающихся между собой уровнем конкурентоспособности и относящихся к следующим группам участников рынка (рис.).

К группе рыночных лидеров относятся розничные торговые сети, имеющие максимальный коэффициент конкурентоспособности, для подобных розничных торговых сетей характерным поведением является оборона.

К группе рыночных претендентов относятся розничные торговые сети расчетный коэффициент конкурентоспособности которых лежит в диапазоне от 3,1 до 9, эти розничные торговые сети, как правило, борются за увеличение рыночной доли продаж, проводя ценовой демпинг, снижая стоимость на товары первой необходимости, для таких сетей характерно стратегическое управление в виде атаки на всех направлениях деятельности.

Претенденты		Лидеры
+3,1– +7	+7,1– +9	+9,1– +10
Занявшие нишу	Последователи	
-2,9–(-0,99)	1	+1,1– +3
Банкроты		Занявшие нишу
-10–(-9,1)	-9–(-7)	-6,9–(-3)

Рис. Матрица розничных торговых сетей конкурирующих на рынке FMCG
Fig. Matrix retail chains competing in the market FMCG

К группе рыночных последователей относятся розничные торговые сети, расчетный коэффициент которых лежит в диапазоне от 1 до 3. Розничные торговые сети из данной группы проводят политику подражания лидеру, не рискует, но и не проявляет пассивности.

Розничные торговые сети, действующие в рыночной нише, расчетный коэффициент конкурентоспособности которых от -0,99 до -6,9, работают по узкому профилю категорий товаров и услуг.

К группе банкротов относятся те розничные торговые сети, у которых коэффициент конкурентоспособности от -7 до -10, обычно проводят режим внешнего управления и мероприятия по выходу из банкротства и улучшению своих позиций.

Заключение

Таким образом, используя результаты анализа научных работ, мы представили первый опыт комплексного показателя конкурентоспособности розничной торговой сети. Данное комплексное видение, является исключительно важной информацией для высшего менеджмента розничных торговых сетей, владельцев, и может служить основой для принятия управленческих решений, способных изменить положение розничной торговой сети, тем самым повысить ее конкурентоспособность. Предложенный вариант интегральной оценки конкурентоспособности розничной торговой сети обладает определенными достоинствами, которые отражены в возможности оценки конкурентоспособности в динамике, в выявлении параметров, понижающих конкурентоспособность розничной торговой сети, и позволяет разработать меры по их улучшению.

Список литературы References

1. Белоусов, В.Л. Анализ конкурентоспособности фирмы / В.Л. Белоусов // Маркетинг в России и за рубежом. 2001. № 5. С. 63-71.

Belousov, V.L. Analis konkurentosposobnosti firmy / V.L. Belousov // Marketing v Rossii I za rubezgom. 2001. № 5. P. 63-71. (in Russian).

2. Диканов, М.Ю. Формирование и использование инструментария оценки конкурентоспособности организаций сферы торговли: Монография / М.Ю. Диканов, И.А. Скрынникова. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2012. – 163с.

Dikanov, M.Y. Formirovanie i ispolzovanie instrumentariya ocenki konkurentosposobnosti organizacij sfer trgovly: Monografiya / M.Y. Dikanov, I.A. Skrinnikova. - M.: RIOR: INFRA-M, 2012. – 163p. (in Russian).

3. Парамонова, Т.Н. Конкурентоспособность предприятия розничной торговли: учебное пособие / Т.Н. Парамонова, И.Н. Красюк. – М.: КНОРУС, 2013. – 120 с.

Paramonova, T.N. Konkurentosposobnost predpriyatiya roznichnoy trgovli: yчебное posobie / T.N. Paramonova, I.N. Krasuk. – M.: KNORUS, 2013. – 120 p. (in Russian).

4. Сибирская, Е.В. Методика многокритериальной и многофакторной оценки эффективности инфраструктурного обеспечения предпринимательской деятельности / Е.В. Сибирская, Л.В. Овешникова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2013. №22 (165). Выпуск 28/1. С. 55-61.

Sibirskaya, E.V. Metodica mnogokriterialnoy i mnogofactornoy ocenki effektivnosti infrastruktornogo obespecheniya predprinimatelskoy deyatel'nosti / E.V. Sibirskaya, L.V. Oveshnikova // Belgorod State University Scientific Bulletin. 2013. №22 (165) .vipusk 28/1. P. 55-61. (in Russian).



УДК 332.363

**РОЛЬ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ОБОРОТА ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО
ПЛАНИРОВАНИЯ**

**THE ROLE OF PUBLIC AND PRIVATE INTERACTION IN THE REGULATION
OF THE TURNOVER OF AGRICULTURAL LANDS IN SOLVING THE PROBLEMS
OF EFFECTIVE TERRITORIAL PLANNING**

**А.Н. Цапков
A.N. Tsapkov**

Департамент имущественных и земельных отношений Белгородской области, Россия,
308005, г. Белгород, пл. Соборная, 4
The Department of property and land relations in Belgorod region, 4 Cathedral Square, Belgorod, Russia, 308005

E-mail: tzapkov@mail.ru

Аннотация. Эффективные механизмы управления землями сельскохозяйственного назначения являются основой долгосрочного стабильного землепользования, гарантией увеличения инвестиционной привлекательности сельскохозяйственного производства. Одной из тенденций увеличения площадей неиспользуемых или нерационально используемых сельскохозяйственных угодий является отсутствие действенных возможностей влияния государства на процессы распоряжения земельными участками сельскохозяйственного назначения общей долевой собственности. Разработка основных принципов и направлений реализации государственной региональной политики в области управления и распоряжения земельными участками из земель сельскохозяйственного назначения способствует обеспечению цивилизованных отношений между всеми участниками оборота земель сельскохозяйственного назначения, что способствует развитию агропромышленного комплекса и сохранению земельных ресурсов как важнейшей части экологической системы. В данной статье определены оптимальные пределы государственного регулирования вопросов оборота земель сельскохозяйственного назначения на уровне субъекта Российской Федерации с точки зрения рационального использования земель, выполнения природоохранных мероприятий. Результатом работы стало обоснование приоритетов планирования региональной политики по использованию земель сельскохозяйственного назначения.

Resume. Effective management of agricultural lands is the basis for long-term sustainable land usage and guarantees the increase of investment attractiveness of the agricultural production. One of the trends of increasing area of unused or inefficiently used agricultural land is the absence of effective influence of the state in the process of disposal of the land plots of agricultural purpose common ownership. Planning the basic principles and directions of implementation of the state regional policy in the field of management and disposal of land plots from agricultural lands contributes to the provision of civilized relations between all participants of the turnover of agricultural lands, favorable for the development of agriculture and conservation of land resources as the most important part of the ecological system. In this article, we propose to study the optimal limits of state regulation of agricultural lands turnover from the point of view of lands rational use and implementation of environmental activities. The result is a justification of the priorities of the regional policy on the use of agricultural land.

Ключевые слова: принципы региональной политики, формы собственности земель, земельный фонд, земли сельскохозяйственного назначения, территориальное планирование, природопользование, охрана земель.

Key words: principles of regional policy, the distribution of land ownership, land resources, agricultural land, territorial planning, environmental management, land conservation.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 29 декабря 1991 г. №86 «О порядке реорганизации колхозов и совхозов» при проведении приватизации земель гражданам Российской Федерации в общую долевую собственность передана значительная часть земель сельскохозяйственного назначения.

Возникновение большого количества собственников земельных долей на практике привело к противоречиям между дольщиками, не всегда готовым к принятию согласованных решений о порядке распоряжения сельскохозяйственными угодьями, принадлежащими им на праве собственности, что не способствовало формированию предпосылок для решения проблем рационального использования, охраны земель и внедрения новых форм территориального планирования.

По мнению Ф.П. Румянцева фактически итогом реформ, связанных с реорганизацией прежних хозяйствующих субъектов, стало выбывание значительных земельных массивов из хо-

зяйственного оборота вследствие того, что новые собственники земельных долей не всегда использовали сельскохозяйственные угодья по назначению [1, с.12-17]. Основными причинами, влияющими на ограничение хозяйственного использования долевых земельных участков сельскохозяйственного назначения после возникновения частной собственности на землю, стали как социальные проблемы населения (состояние здоровья, достижение пенсионного возраста), так и сложности процедур выдела земельных участков. Таким образом, новые участники оборота земель сельскохозяйственного назначения в полной мере не были готовы к возникшему бремени собственности на земли сельскохозяйственного назначения.

Будучи не готовыми на долговременные обязанности землепользователей граждане продают свои земельные доли коммерческим структурам, зачастую не имеющим отношения к сельскохозяйственному производству и не заинтересованным в сохранении ресурсов почвенного плодородия, рачительному отношению к земле как средству производства и экологическому ресурсу.

Значительная часть земельных долей была передана различным агропромышленным формированиям в уставный капитал. На сегодняшний день большинство таких сельскохозяйственных организаций ликвидированы или находятся в предбанкротном состоянии, что приводит к не исполнению имущественных обязательств перед вкладчиками и создает социальную напряженность. В.Н. Хлыстун в числе основных негативных тенденций в сфере развития земельных отношений и организации рационального использования и охраны земель указывает концентрацию огромной площади (свыше 1 млн. га) земель в собственности крупных корпоративных структур, что по сути является развитием латифундий [2, с.10-16]. Такая ситуация негативно влияет на установление гарантированного стабильного землепользования, позволяющего одновременно развивать агропромышленный сектор и обеспечивать бережное отношение к землям сельскохозяйственного назначения.

В соответствии с вышеизложенным необходимо определить приоритеты и основные принципы эффективной региональной политики в сфере регулирования оборота земель сельскохозяйственного назначения, обеспечивающие упорядочивание структуры правообладателей, участвующих в земельных отношениях, а также сохранение и воспроизводство ресурсов почвенного плодородия сельскохозяйственных угодий.

Целью данного исследования является определение оптимальных пределов государственного регулирования оборота земель сельскохозяйственного назначения с точки зрения рационального использования земель и выполнения природоохранных мероприятий. В статье обобщается практический положительный опыт Белгородской области по регулированию земельных отношений, а также формулируются предложения для включения в концепцию развития управления земельными ресурсами, прежде всего землями сельскохозяйственного назначения.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования статьи стало взаимодействие субъектов земельных отношений, являющихся правообладателями земель сельскохозяйственного назначения (на примере Белгородской области).

Основные методы и подходы. Основным *методологическим подходом* был сравнительный, в соответствии с которым, используя материалы государственного фонда данных, полученных в результате проведения землеустройства, сведения Единого государственного реестра прав на недвижимое имущество и сделок с ним, а также информацию, содержащуюся в реестре государственной собственности Белгородской области, проведена работа по сопоставлению данных о распределении по правообладателям земель сельскохозяйственного назначения на момент реорганизации бывших хозяйствующих субъектов и в настоящее время. Основное внимание уделено движению сельскохозяйственных земель от субъектов частного права в собственность публично-правовых образований.

Согласно данным официальной статистики среди областей Центрального федерального округа (ЦФО) Белгородская область занимает шестое место по общей площади сельскохозяйственных угодий (90,7% от общей площади земель сельскохозяйственного назначения), уступая лишь Воронежской, Тамбовской, Рязанской, Курской и Тверской областям (табл. 1) [3].

Таблица 1

Table 1

**Структура сельскохозяйственных угодий в субъектах Центрального
Федерального округа Российской Федерации (тыс. га)
The the structure of agricultural land in the regions of the Central Federal district
of the Russian Federation (thousand hectares)**

п/п	Субъекты РФ	Общая площадь	Сельскохозяйственные угодья					
			Всего	в том числе				
				пашня	пастбища	сенокосы	залежь	многолет. насажде- ния
1	Воронежская	4199,6	3810,1	2905,2	698,3	139,7	31,5	35,4
2	Тамбовская	2818,3	2545,9	2037,5	332,5	144,9	9,5	21,5
3	Рязанская	2578,5	2280,6	1450,1	615,9	180,3	21,7	12,6
4	Курская	2278,6	2100,3	1804,8	204,0	74,9	0,1	16,5
5	Тверская	2578,2	2060,4	1372,7	401,0	257,5	17,3	11,9
6	Белгородская	2095,9	1901,3	1510,6	323,6	43,1	-	24,0
7	Орловская	2031,8	1896,7	1508,2	262,7	53,5	54,8	17,5
8	Липецкая	1935,2	1790,3	1460,5	231,1	77,6	0,1	21,0
9	Смоленская	2222,7	1729,7	1262,6	285,8	162,5	8,9	9,9
10	Брянская	1977,4	1719	1068,4	319,3	180,6	133,4	17,3
11	Тульская	1844,1	1671,1	1411,4	179,8	45,7	4,3	29,9
12	Московская	1664,9	1342,9	975,7	151,1	132,7	-	83,4
13	Калужская	1820,1	1145,2	856,8	151,3	95,3	26,9	14,9
14	Ярославская	1347,0	966,2	724,2	151,6	79,7	0,3	10,4
15	Костромская	1969,0	862,1	599,4	125,6	104,9	28,4	3,8
16	Владимирская	990,9	845,2	532,5	126,2	131,7	41,2	13,6
17	Ивановская	868,6	752,4	543,5	95,7	98,5	9,5	5,2
ЦФО		35220,8	29419,4	22024,1	4655,5	2003,1	2003,1	348,8
Российская Федерация		386135,8	196163,3	115121,0	56864,0	18645,3	18645,3	1164,0

По итогам реорганизации колхозов и совхозов в 1992-1994 гг. на территории Белгородской области в долевой собственности граждан находилось 83% общей площади земель сельскохозяйственного назначения [4] (рис. 1).

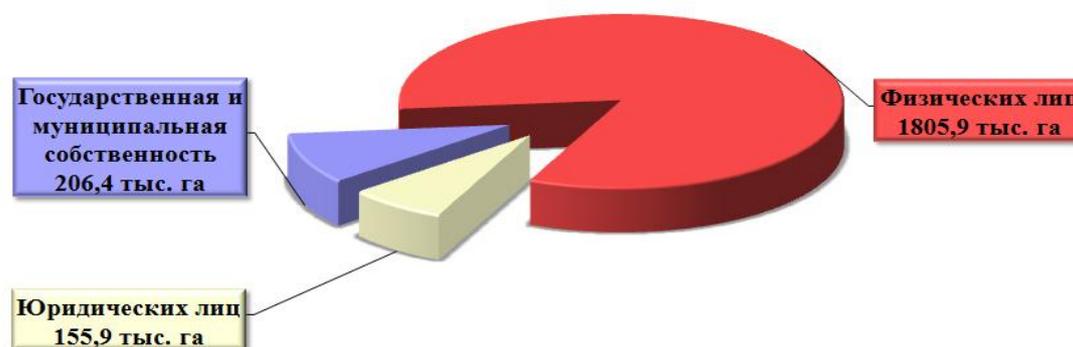


Рис. 1. Распределение земельного фонда области по формам собственности до реорганизации хозяйствующих субъектов (1992-1994 гг.)

Fig.1. The distribution of the land fund of the region by ownership prior to the reorganization of business entities (1992-1994)

Изучая данные о распределении по правообладателям земель сельскохозяйственного назначения после реорганизации колхозов и совхозов в 1992-1994 гг. и по состоянию на 1 января 2004 г. [5, с.180], до принятия Правительством Белгородской области решения о выкупе сельско-



хозяйственных угодий в собственность субъекта Российской Федерации, можно сделать вывод о том, что структура собственников сельскохозяйственных земель в результате естественного движения земельного фонда на основании совершения гражданско-правовых сделок значительным образом не изменилась (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

**Распределение земель Белгородской области (тыс. га)
по категориям и формам собственности по состоянию на 1.01.2004 г.
The distribution of the lands of the Belgorod region (thousand hectares) by category
and ownership as at 1.01.2004**

№ п/п	Категория земель	Общая площадь	В собственности		
			граждан	юридических лиц	государственной и муниципальной
1	Земли сельскохозяйственного назначения	2012,3	1650	155,9	206,4
2	Земли населенных пунктов	317,8	119,5	2,4	195,9
3	Земли промышленности, транспорта, связи и земель иного специального назначения	35,2	–	4,0	31,2
4	Земли особо охраняемых территорий	2,4	–	–	2,4
5	Земли лесного фонда	215,0	–	–	215,0
6	Земли водного фонда	2,2	–	–	2,2
7	Земли запаса	128,5	–	–	128,5
Итого земель		2713,4	1769,5	162,3	781,6

В конце 2004 года Белгородская область предложила ряд инициатив по стабилизации социально-экономической ситуации в стране, в том числе в сегменте развития на новой основе сельскохозяйственного производства. Реализация в регионе данных инициатив дало очевидный положительный эффект. Так, по данным департамента агропромышленного комплекса области на 1 января 2015 года в Белгородской области поголовье свиней составило 3678,2 тыс. голов или 18,8% от их общей численности в России и 42,4% от поголовья в ЦФО. Производство мяса свиней достигло рекордной цифры – 722,1 тыс. тонн или 18,9 % от общего производства в РФ и 25,3% в ЦФО. Поголовье птицы – 53,0 млн. голов во всех категориях хозяйств и 51,2 млн. гол. в сельскохозяйственных предприятиях. Мяса птицы в 2014 году произвели 770,0 тыс. тонн во всех категориях хозяйств и 760,7 тыс. тонн в сельскохозяйственных предприятиях. Доля Белгородской области в Российской Федерации по данному показателю составляет 13,8 %, в ЦФО – 39,5 %. Производство яиц достигло 1299,5 тыс. шт. во всех категориях хозяйств и 1167,0 тыс. шт. в сельскохозяйственных предприятиях, что определило долю в Российской Федерации – 3,1 %, в ЦФО – 15,1 % [6].

Достижения агропромышленного комплекса Белгородской области, в том числе создание в регионе благоприятных условий для наращивания мощностей по производству продукции птицеводства и животноводства развивающихся вертикально интегрированных агрохолдинговых структур, были бы невозможными без реализации эффективной региональной политики по регулированию земельных отношений.

Таким образом, актуальным становится анализ применимости принципов региональной политики в области земельных отношений, определения критериев наиболее действенных взаимоотношений между собственниками сельскохозяйственных земель и государством, позволяющих повысить привлекательность сельскохозяйственных угодий, обеспечить возможность реализации экологических программ и проектов. Этим решениям может способствовать изучение опыта Белгородской области.

Результаты и обсуждение

В целях предупреждения негативных тенденций в 2005 году Правительством Белгородской области было принято решение по наращиванию площади государственных земель. Белгородская область и муниципальные образования предприняли необходимые меры по вхождению в число

участников общей долевой собственности на земельные участки из земель сельскохозяйственного назначения.

Формирование областного земельного фонда осуществлялось прежде всего за счет приобретения в государственную собственность Белгородской области земельных долей на основании гражданско-правовых сделок, а также выкупа земельных участков с учетом соблюдения установленных положениями статьи 8 Федерального закона от 24 июня 2002 г. №101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» [7] требований по соблюдению преимущественного права приобретения субъектом Российской Федерации земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения.

Иными источниками формирования областного земельного фонда помимо приобретения земель общей долевой собственности также являлись земельные участки, оформленные в счет неостребованных земельных долей до вступления в силу Федерального закона от 29 декабря 2010 г. №435-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования оборота земель сельскохозяйственного назначения» [8], а также земельные участки из состава фонда перераспределения земель, переведенные в областную собственность в порядке разграничения государственной собственности на землю (табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Структура земель сельскохозяйственного назначения, оформленных в государственную собственность Белгородской области по состоянию на 1 января 2013 года

The structure of agricultural lands, decorated to the state property of the Belgorod region as of January 1, 2013

№ п/п	Вид объекта учета/ основание возникновения права	Земли сельскохозяйственного назначения	
		Кол-во, шт.	Площадь, га
I.	Земельные доли, всего	14308	352903
II.	Земельные участки, в том числе:	1356	275080
4.1.	<i>Земельные участки, приобретенные в результате гражданско-правовых сделок, в том числе купля-продажа</i>	475	133 345,1614
4.2.	<i>Земельные участки, приобретенные по решению суда, по договорам дарения</i>	23	2 216,5700
4.3.	<i>Земельные участки, оформленные из фонда перераспределения земель</i>	631	107 723,2355
4.4.	<i>Земельные участки, оформленные в счет неостребованных земельных долей</i>	227	31 795,4586
ВСЕГО		15664	627984

По состоянию на 1 января 2013 г. согласно реестру государственной собственности Белгородской области в областной собственности находится более 30% от общей площади земель сельскохозяйственного назначения, что позволяет оперативно реализовывать различные инвестиционные проекты в агропромышленном комплексе области, конструктивно влиять на обеспечение стабильного долгосрочного землепользования и предотвращение негативных тенденций, в том числе спекулятивного характера (рис. 2).

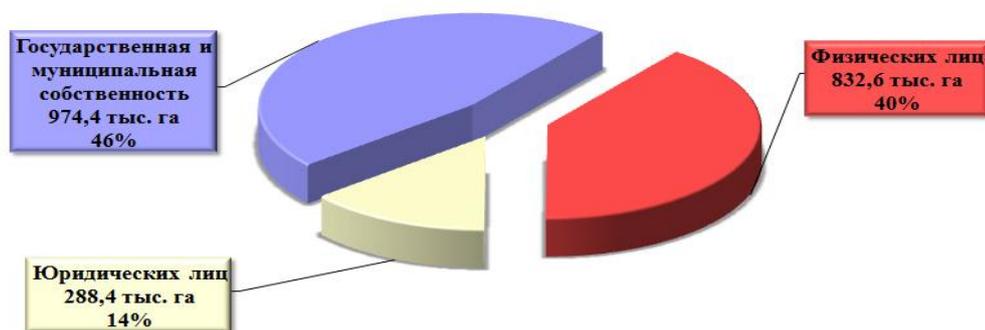


Рис. 2. Распределение земельного фонда области по формам собственности по итогам вхождения Белгородской области и муниципальных образований в число участников общей долевой собственности

Fig.2. The distribution of the land Fund of the region by ownership following the occurrence of the Belgorod region and municipalities in the number of participants in common ownership

Таким образом, по результатам реализации региональной политики в области земельных отношений Белгородская область лидирует среди регионов Центрального федерального округа по площади земель сельскохозяйственного назначения, оформленных в государственную собственность субъекта Российской Федерации. По состоянию на 1 января 2013 года из общей площади земель сельскохозяйственного назначения на территории Белгородской области в областную собственность оформлено 26,6% (табл. 4).

Таблица 4
Table 4

Распределение земель (тыс. га) по формам собственности в субъектах Центрального федерального округа Российской Федерации
The distribution of land (thousand hectares) by ownership in the subjects of the Central Federal district of the Russian Federation

№ п/п	Субъекты РФ	Общая площадь	В собственности физических и юридических лиц	В государственной и муниципальной собственности	из них:
					в собственности субъекта Российской Федерации
1	Белгородская	2095,9	1123,5	972,4	557,5
2	Тамбовская	2818,3	2080,8	737,5	150,5
3	Липецкая	1935,2	1443,2	492	35,6
6	Тверская	2578,2	1776	802,2	33,4
7	Воронежская	4199,6	2864,1	1335,5	32,4
4	Тульская	1844,1	1400,3	443,8	24,2
5	Калужская	1820,1	924,5	895,6	23,6
8	Смоленская	2222,7	1359,9	862,8	14,1
12	Рязанская	2578,5	1773,2	805,3	10,5
11	Брянская	1977,4	1328,3	649,1	8,8
13	Курская	2278,6	1792	486,6	8,3
10	Ярославская	1347,0	944,5	402,5	6,2
15	Орловская	2031,8	1438,9	592,9	4,6
9	Ивановская	868,6	565,9	302,7	4,3
14	Владимирская	990,9	599,2	391,7	2,9
16	Костромская	1969,0	577,7	1391,3	2,2
17	Московская	1664,9	1066,3	598,6	0,0
ЦФО		35220,8	23058,3	12162,5	919,1
Российская Федерация		386135,8	128336,7	257799,1	7 971,30

Участие Белгородской области как собственника земель сельскохозяйственного назначения в вопросах управления и распоряжения сельскохозяйственными угодьями позволяет эффективно реализовывать инвестиционные проекты по развитию агропромышленного комплекса области. В своей статье Губернатор Белгородской области Е.С. Савченко заметил [9, с.18-19], что развитие агропромышленного комплекса региона должно основываться на государственно-частном партнерстве.



Сопоставляя особенности распределения земельного фонда Белгородской области по основным источникам оформления права собственности на земли сельскохозяйственного назначения, можно сделать вывод о том, что росту общей площади земельного фонда способствовало действующее на момент скупки земель сельскохозяйственного назначения законодательство, которое до вступления в силу Федерального закона от 18 июля 2005 г. №87-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» и Федеральный закон «О землеустройстве» предусматривало преимущественное право субъекта Российской Федерации не только на приобретение в региональную собственность земельных участков, но и долей в праве общей долевой собственности на земельные участки из земель сельскохозяйственного назначения.

Стоит отметить, что среди представителей научного сообщества и специалистов в области юриспруденции отсутствует единое мнение о роли института преимущественного права в регулировании оборота земель сельскохозяйственного назначения.

По нашему мнению, положения, устанавливающие преимущественное право на приобретение земель сельскохозяйственного назначения, являются эффективным механизмом по контролю со стороны государства за соответствием действующему нормативному правовому полю сделок купли-продажи с землей.

По мнению Ф.П. Румянцева применять к сделкам по продаже земельных участков, совершенными с нарушением процедуры преимущественного права приобретения земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения, последствия ничтожной сделки, как того требует пункт 4 статьи 8 Федерального закона от 24 июля 2002 г. «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения», не совсем эффективно [10, с.25-33]. Целесообразнее было бы обращение в доход государства всего, что получено сторонами по сделке, или самого земельного участка.

Недостатком действующего правового регулирования является предусмотренная законодательством возможность обхода процедур преимущественного права приобретения органами государственной власти или органами местного самоуправления земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения путем заключения договоров дарения.

Так, статья 8 Федерального закона от 24 июля 2002 г. №101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» предусматривает право органов исполнительной власти субъекта Российской Федерации или органов местного самоуправления рассматривать предложения о переводе в региональную или муниципальную собственность земельных участков сельскохозяйственного назначения только по договорам купли-продажи и не содержит императивной нормы, предусматривающей преимущественное право государства на приобретение земельных участков сельскохозяйственного назначения по договорам дарения. Данное обстоятельство оценивается нами не вполне логичным, учитывая, что действующее законодательство ограничивает сделки с земельными участками, совершаемыми по договорам мены. Так, согласно статье 567 Гражданского кодекса Российской Федерации к договору мены применяются правила о купле-продаже. Данная норма позволяет контролировать переход прав на земельные участки по договорам мены на стадии государственной регистрации, что положительно влияет на предотвращение недобросовестных действий лиц, участвующих в обороте земель сельскохозяйственного назначения.

На практике нередки случаи, когда сделка купли-продажи земельного участка для уменьшения размера уплачиваемых налогов и пошлины оформляется как договор дарения. Такая сделка признается притворной сделкой, а данный договор – ничтожным. Поэтому к сделке такого рода могут применяться нормы, соответствующие ее существу, т.е. нормы договора купли-продажи земельного участка [11, с.58-66]. При этом такие сделки не всегда заключаются между близкими родственниками, а недостатки информационного взаимодействия между уполномоченными органами по ведению Единого государственного реестра прав на недвижимое имущество и сделок с ним и осуществляющим функции по контролю и надзору за соблюдением законодательства о налогах и сборах приводят к недостатке поступлений в бюджеты от уплаты налога на прибыль.

На основании вышеизложенного, считаем необходимым дополнить нормативные правовые акты, устанавливающие особенности совершения сделок с землями сельскохозяйственного назначения, положениями, устанавливающими запрет на осуществление государственной регистрации перехода права собственности по договорам дарения на земельные участки сельскохозяйственного назначения в случае отсутствия в представленном на регистрацию пакете документов обращения в органы государственной власти или органы местного самоуправления с предложением приобретения отчуждаемого земельного участка.

Вхождение Белгородской области в состав участников общей долевой собственности привело к трансформации структуры распределения правообладателей в границах плана земель большинства бывших хозяйств (рис. 3).

После приобретения прав на земли сельскохозяйственного назначения первоочередной задачей Белгородской области, как собственника земельных долей, совместно с другими участниками долевой собственности являлось формирование путем выдела единого земельного участка.

Оказание органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации на правах собственника земель гражданам организационно-юридической помощи в осуществлении процедуры выдела земельного участка способствует ускорению оформления надлежащим образом прав на вновь образуемый земельный участок, как объект недвижимого имущества, и закреплению гражданами гарантий титула собственника. Данное обстоятельство обусловлено тем, что в соответствии с общими положениями действующего законодательства (статья 130 Гражданского кодекса Российской Федерации и статья 11.1 Земельного кодекса Российской Федерации) земельная доля не относится к объектам недвижимого имущества, поскольку ее границы не определены на местности, а сведения об описании характерных точек не внесены в установленном порядке в государственный кадастр недвижимости. Аналогичное толкование земельного участка, как объекта недвижимого имущества, содержится в зарубежных законодательных актах, в том числе в законодательстве ФРГ [12]. Переоформление прав на сформированный путем выдела земельный участок способствует закреплению правового статуса собственников.

Кроме того, в связи с тем, что процедура выдела земельного участка сопряжена с определенными сложностями, требующими специальных знаний и навыков, право собственности физических лиц на значительную часть сельскохозяйственных угодий остается недооформленной надлежащим образом. Так, по информации, подготовленной фракцией Государственной Думы «Справедливая Россия», в Российской Федерации из 12 млн. сельян менее 10% удалось сформировать земельные участки в счет принадлежащих земельных долей для последующей передаче на долгосрочной основе образованных земельных участков в аренду сельскохозяйственным товаропроизводителям [13]. Таким образом, содействие государства, как участника долевой собственности, в вопросах формирования земельных участков положительно воспринимается гражданами – собственниками земельных долей.

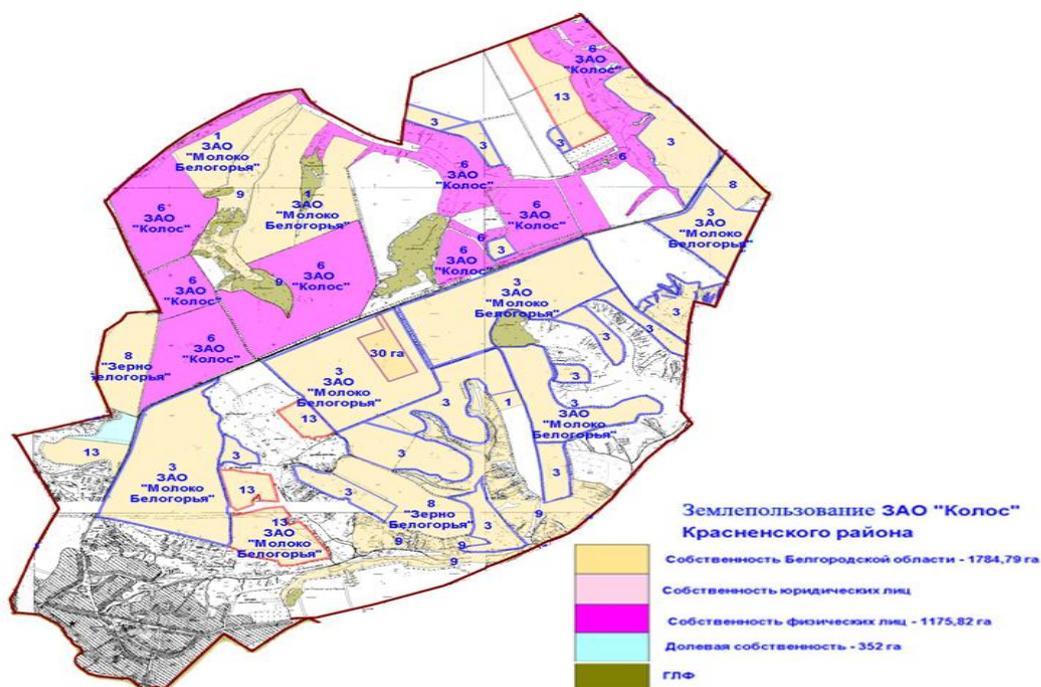


Рис. 3. Типичная структура распределения по правообладателям земель сельскохозяйственного назначения после оформления в государственную собственность Белгородской области земель сельскохозяйственного назначения (землепользование ЗАО «Колос» Красненского района Белгородской области)

Fig. 3. The typical structure of distribution to holders of agricultural land after registration of a state property of the Belgorod region agricultural lands

Немаловажным фактом преимущества модели предоставления в аренду для ведения сельскохозяйственного производства земельных участков сельскохозяйственного назначения, принадлежа-



щих на праве долевой собственности субъекту Российской Федерации и гражданам, является контроль органов государственной власти за своевременностью и полнотой выплаты сельскохозяйственными товаропроизводителями арендной платы, успешно реализовывать предоставленную законодательством возможность защиты прав и интересов арендодателей, в том числе в лице граждан, при нарушении условий использования земельных участков. Такой подход стимулирует арендаторов надлежащим образом исполнять свои обязательства по заключенным договорам аренды.

Наличие оформленных в региональную собственность земель позволяет не только решать текущие проблемы сельскохозяйственного производства, но и планировать на перспективу развитие территорий, в том числе с учетом реализации градостроительных проектов, размещения промышленных производств, внедрения проектов эффективного землепользования.

Выводы

Государство в лице органов исполнительной власти субъекта Российской Федерации должно являться равноправным собственником земель наряду с другими собственниками в каждом формируемом земельном участке из земель сельскохозяйственного назначения общей долевой собственности, в том числе в границах земельных участков, мало пригодных для получения коммерческой прибыли, но являющихся основой для сохранения плодородия и воспроизводства почв.

Данный подход необходимо учитывать как приоритетный при планировании и реализации государственных программ и региональной политики, регулирующих оборот земель сельскохозяйственного назначения.

Действенным механизмом по предотвращению спекулятивных сделок и осуществлению надлежащего мониторинга за движением земельных долей являлись положения статьи 10 Федерального закона от 24 июля 2002 г. «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения», в редакции до вступления в силу Федерального закона от 18 июля 2005 г. №87-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» и Федеральный закон «О землеустройстве», устанавливающие преимущественное право субъекта Российской Федерации или муниципального образования на приобретение долей в праве общей долевой собственности на земельные участки из земель сельскохозяйственного назначения. Данная норма позволяла контролировать перепродажу земель сельскохозяйственного назначения общей долевой собственности и осуществлять увеличение площади государственного земельного фонда путем выкупа в областную или муниципальную собственность земельных долей. Считаю целесообразным предусмотреть в распоряжении Правительства Российской Федерации от 3 марта 2012 г. №297-р «Об утверждении основ государственной политики использования земельного фонда Российской Федерации на 2012-2020 годы» возвращение к правовому регулированию преимущественного права выкупа субъектом Российской Федерации или муниципальным образованием земель сельскохозяйственного назначения общей долевой собственности.

Участие государства в распоряжении землями общей долевой собственности направлено, прежде всего, на защиту прав и законных интересов всех собственников земель сельскохозяйственного назначения общей долевой собственности, поддержание стабильности и упорядоченности земельных отношений, в том числе: обеспечивает юридически правильное заключение договорных отношений на землю, способствует своевременным выплатам арендных платежей за использование сельскохозяйственных земель. Все это способно положительно повлиять на предотвращение социальной напряженности среди населения.

Для инвесторов гарантированное стабильное землепользование, которое способны обеспечить органы государственной власти при предоставлении в аренду земель, является не только территориальной основой для ведения сельскохозяйственного производства, но и аргументом для получения положительного решения кредитных комитетов при рассмотрении вопроса выделения заемных денежных средств с учетом передачи в залог права аренды на земельные участки.

Статус субъекта Российской Федерации, как участника общей долевой собственности в большинстве формируемых земельных участках из земель сельскохозяйственного назначения, дает возможность органам исполнительной власти реализовывать политику, способствующую обеспечению сохранности и повышения плодородия почв, рационального и бережного отношения к землям сельскохозяйственного назначения, внедрения научно обоснованных систем и методов земледелия.

Положительный опыт Белгородской области по воспроизводству и сохранению плодородия почв, основанный в том числе на участии субъекта Российской Федерации в долевых участках сельскохозяйственного назначения, можно проследить на примере реализации, начиная с 2014 года, системы административного сопровождения выполнения мероприятий по контролю за ис-



полнением проектов адаптивно-ландшафтной системы земледелия и проектов бассейнового природопользования.

Упорядочивание реализации правообладателями земель сельскохозяйственного назначения общей долевой собственности своих правомочий на землю обеспечивает сбалансированное взаимодействие общества и природы, сохранение благоприятной окружающей среды.

Список литературы References

1. Румянцев, Ф.П. Политико-правовые решения судьбы земель сельскохозяйственного назначения в современной аграрной реформе / Ф.П. Румянцев // Право и политика. 2007. №8. С. 12-17.
Rumyantsev, F.P. Political and legal decisions fate of agricultural lands in modern agrarian reform / F.P. Rumyantsev // Law and policy. 2007. No. 8. P. 12-17.
2. Хлыстун, В.Н. О роли землеустройства в реализации земельной политики государства / В.Н. Хлыстун // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2013. №9. С. 10-16.
Khlystun, V.N. On the role of land administration in the implementation of land policy / V.N. Khlystun // Land management, cadastre and land monitoring. 2013. No. 9. P. 10-16.
3. Росреестр. 2010. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2009 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pda.rosreestr.ru/upload/www/files/Государственный%20Доклад%20за%202009%20г..pdf> (8 декабря 2014).
Rosreestr. 2010. The State (national) report on the status and use of land in the Russian Federation in 2009 [electronic resource]. - Access: <http://pda.rosreestr.ru/upload/www/files/Государственный%20Доклад%20за%202009%20г..pdf> (December 8, 2014).
4. Информация государственного мониторинга земель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://to31.rosreestr.ru/kadastr/zemustrzem/zemleustroistvo/#>.
Information from the national land monitoring [Electronic resource]. URL: <http://to31.rosreestr.ru/kadastr/zemustrzem/zemleustroistvo>.
5. Атлас природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области / Лисецкий Ф.Н. (отв. ред.), Пересадко В.А. (ред.), Лукин С.В. (ред.), Петин А.Н. (ред.). Белгород, 2005. 180 с.
The Atlas of natural resources and the ecological condition of the Belgorod region / Lisetsky F. N. (resp. amended), Peresadko V. A. (editor), Lukin, S. V. (editor), Petin A. N. (editor). Belgorod, 2005. 180 P.
6. Итоги работы отрасли животноводства за 2014 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://belapk.ru/events/podvedeny_itogi_raboty_otraslej_zhivotnovodstva_za_2014_god.
The results of the livestock industry work for 2014 [Electronic resource]. URL: http://belapk.ru/events/podvedeny_itogi_raboty_otraslej_zhivotnovodstva_za_2014_god.
7. Об обороте земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 24 июля 2002 г. №101-ФЗ (в ред. от 28.12.2013) [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».
On turnover of agricultural lands: the Federal law of 24 July 2002, No. 101-FZ (as amended on 28.12.2013) [Electronic resource]. Access from Ref.-legal system «Consultant plus».
8. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования оборота земель сельскохозяйственного назначения: Федеральный закон от 29 декабря 2010 г. №435-ФЗ [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
On amendments to certain legislative acts of the Russian Federation in improving the turnover of agricultural lands: the Federal law of December 29, 2010 №435-FZ [Electronic resource]. Access from Ref.-legal system «Consultant Plus».
9. Савченко, Е.С. На основе государственно-частного партнерств Савченкова / Е.С. Савченко // Экономика сельского хозяйства России. 2007. №6. С. 18-19.
Savchenko, E.S. On the basis of public-private partnerships / E.S. Savchenko // Economics of Agriculture of Russia. 2007. №6. P. 18-19.
10. Руменцев, Ф.П. Особенности договора купли продажи земельных участков сельскохозяйственного назначения / Ф.П. Румянцев // Журнал российского права. 2013. №8. С. 25-33.
Rumentsev, F.P. Contract features of the sale and purchase of agricultural land / F.P. Rumentsev // Journal of Russian law. 2013. No. 8. P. 25-33.
11. Кресникова, Н.И. Правовые аспекты и экономическая сущность оборота земель в рыночной системе / Н.И. Кресникова // Право и экономика. 2004. №4. С. 58-66.
Kresnikova, N.I. Legal aspects and the economic substance of the land in a market system / N.I. Kresnikova // Law and Economics. 2004. No. 4. P. 58-66.
12. Alpmann J.A. Sachenrecht. B. II. Grundstücksrecht. Munster: Alpmann und Schmidt, Jur. Lehrgange, 2003. P. 1.
Alpmann J.A. Sachenrecht. B. II. Grundstücksrecht. Munster: Alpmann und Schmidt, Jur. Lehrgange, 2003. P. 1.
13. Упорядочение отношений собственности на земли сельскохозяйственного назначения: законодательный аспект и практика: стенограмма «круглого стола» фракции Государственной Думы «Справедливая Россия» (28 января 2010 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spravedlivo.ru>.
The regulation of property relations on agricultural land: the legal aspects and practice: the transcript of the "round table" faction of the State Duma of the "Fair Russia" (28 January 2010). URL: <http://www.spravedlivo.ru>.



ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

46

УДК 330.322

ОБ ИНВЕСТИЦИОННОМ ПОТЕНЦИАЛЕ В РЕГИОНАЛЬНОМ РАЗВИТИИ ABOUT THE INVESTMENT POTENTIAL IN REGIONAL DEVELOPMENT

Н.А. Череповская
N.A. Cherepovskaya

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85.
Belgorod State National Research University, 85, Victory St., Belgorod, 308015, Russia

E-mail: cherepovskaya@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены предпосылки к формированию конкурентоспособной экономики регионов Центрального Черноземья на основе целостной системы инвестиционного климата. Проведен анализ динамики показателей «Инвестиционный климат» по девяти элементам: трудовому, финансовому, производственному, потребительскому, инфраструктурному, природно-ресурсному, туристическому и инновационному. Выявлены сильные и слабые стороны инвестиционного потенциала обследуемых регионов.

Анализ объема инвестиций в основной капитал выявил проблемы, которые препятствуют снижению притока инвестиций. Своевременное выявление и использование сильных сторон инвестиционного потенциала регионов позволит создать конкурентоспособную региональную экономику.

Resume. The article examines the preconditions for the formation of competitive economy of the regions of the Central Chernozem region on the basis of complete system investment climate. The analysis of dynamics of indicators of "Investment climate" on nine elements: labor, financial, industrial, consumer, infrastructure, natural resource, tourism and innovation. Identified strengths and weaknesses of the investment potential of the surveyed regions.

Analyses of the volume of investments into fixed capital have identified problems that impede the reduction of inflows. Timely identification and use of strengths of the investment potential of the regions will create a competitive regional economy.

Ключевые слова: инвестиционный потенциал, система инвестиционного климата, объем инвестиций, конкурентоспособность регионов.

Key words: investment potential, investment climate, investments, competitiveness of regions.

Введение

Инвестиционная активность является необходимым условием роста благосостояния населения и конкурентоспособности региональной экономики и, одновременно, конечным результатом происходящих в регионе экономических процессов. Ведущая роль инвестиций в развитии экономики определяется тем, что благодаря им создается база для расширения производственных возможностей региона и экономического роста. Совокупным выражением материальной базы региона следует считать ее экономическую оценку или совокупный ресурсный потенциал региона, т.е. комплекс условий, предпосылок, факторов и ресурсов, обеспечивающих региональный воспроизводственный процесс, уровень их использования и интернализации. Он учитывает как объем расположенных в пределах данного территориального образования материальных и нематериаль-



ных факторов, выраженных в тех или иных количественных показателях, так и те качественные характеристики, которые предопределяют потенциальные возможности реализации этих факторов в регионе. Иными словами, количество, качество и сочетание ресурсов определяют совокупный экономический потенциал региона [Ломовцева, 2012, с.61].

Задачи по обеспечению экономического роста российских регионов с перспективой выхода на уровень развитых стран по основным показателям социального благосостояния диктуют новые требования по использованию потенциала в регионах нашей страны. Чем рациональнее используется потенциал субъекта РФ, тем выше уровень его развития. Таким образом, эффективность управленческих решений региональных властей можно определить исходя из существующей ресурсной базы субъекта Федерации и сложившейся на его территории социально-экономической ситуации [Парфенова, 2014, с.18].

В условиях экономической стагнации необходимо создание целостной системы инвестиционного климата в регионах. Возможность постоянного притока инвестиций позволит не только получать ренту от использования природных ресурсов, но и внедрять в производство новые идеи, технологии и инновации. Формирование инновационной, высокотехнологичной экономики в регионах страны будет способствовать национальной конкурентоспособности.

В данной статье проанализирована динамика показателей инвестиционного климата в регионах Центрального Черноземья за 2005–2014 гг. Для полноценного анализа автор использовал показатель рейтинга инвестиционного климата, ежегодно проводимого рейтинговым агентством «Эксперт РА», статистические данные объема инвестиций в основной капитал и их темпы прироста. Проведенный анализ позволил сделать выводы и сформировать рекомендации с учетом инвестиционных особенностей регионов для их дальнейшего экономического развития.

Результаты исследований

Анализ динамики показателей «Инвестиционный климат» в регионах Центрального Черноземья позволил оценить изменение инвестиционного потенциала за период с 2005 по 2014 гг. (табл.) [Растворцева, Череповская, 2013, с.69].

При этом надо учитывать, что в состав инвестиционных условий входят 9 элементов: трудовой, финансовый, производственный, потребительский, инфраструктурный, природно-ресурсный, туристический и инновационный.

Анализ инвестиционного климата в регионах Центрального Черноземья показал, что в 2005-2014 гг. ни один из регионов не обладал высоким уровнем экономических условий.

Одним из конкурентных преимуществ Белгородской области является высокий инновационный уровень (доля региона в общероссийском потенциале в 2014 году – 2,235%). Анализируя данный показатель, можем сделать вывод о создании инновационной активности бизнеса в области путем привлечения инвестиций в экономику. В регионе разработана и реализуется программа по развитию наноиндустрии, в рамках которой реализовано 6 проектов и создано 25 малых и средних инновационных предприятий, производящих высокотехнологичную продукцию для внутреннего и внешнего рынков, при этом осуществляется вложение инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки. Регион заключил дополнительное соглашение с Российским фондом фундаментальных исследований о проведении совместного конкурса проектов фундаментальных исследований, с целью увеличения объема финансирования (50/50) на проведение исследований [Гос. прогр., 2013, с. 10].

Таблица
Table

**Динамика показателей «Инвестиционный климат»
в регионах Центрального Черноземья в 2005–2014гг.
Dynamics of indicators of the Investment climate in the regions
of Central black earth region in 2005–2014**

Показатель	Годы	Регионы				
		Белгородская область	Воронежская область	Курская область	Липецкая область	Тамбовская область
Показатель рейтинга инвестиционного климата*	2005	3B1	3B1	3B1	3B1	3B2
	5006	2B	3B1	3B1	3B1	3B2
	2007	3A	3C1	3B1	3A	3B1
	2008	3B1	3B1	3B1	3A	3B2
	2009	2B	3B1	3B1	3A	3B2



	2010	2B1	3A1	2B	3A1	2B
	2011	2A	3B1	3B1	3A1	3B1
	2012	2A	3A1	3B1	3A1	3A1
	2013	2A	3A1	3B1	3A1	3A1
	2014	2A	3A1	3A1	3A1	3A1
Объем инвестиций в основной капитал, млн. руб.	2005	35022,0	28652,0	17864,0	30312,0	14698,0
	5006	52073,0	38867,0	23241,0	44565,0	19667,0
	2007	83510,0	65319,0	33523,0	64707,0	30861,0
	2008	104218,0	94168,0	46752,0	88089,0	42701,0
	2009	73127,0	94788,0	41183,0	84317,0	48795,0
	2010	96313,0	125826,0	46093,0	101600,0	53980,0
	2011	125994,0	155245,0	58521,0	112531,0	68302,0
	2012	136820,0	182334,0	66639,0	93327,0	82921,0
	2013	129137,0	216775,0	70742,0	101050,0	98068,0
	2014 (оценка)	120390,6	243200,0	71700,0	101060,0	112713,1
Темпы прироста инвестиций в основной капитал, %	2005	-	-	-	-	-
	5006	48,7	35,7	30,1	47,0	33,8
	2007	60,4	68,1	44,2	45,2	56,9
	2008	24,8	44,2	39,5	36,1	38,4
	2009	-29,8	0,7	-11,9	-4,3	14,3
	2010	31,7	32,7	11,9	20,5	10,6
	2011	30,8	23,4	27,0	10,8	26,5
	2012	8,6	17,4	13,9	-17,1	21,4
	2013	-5,6	18,9	6,2	8,3	18,3
	2014 (оценка)	-6,8	12,2	1,4	0	14,9

Примечания: *Рейтинговая шкала:

1A Высокий потенциал - минимальный риск
 1B Высокий потенциал - умеренный риск
 1C Высокий потенциал - высокий риск
 2A Средний потенциал - минимальный риск
 2B Средний потенциал - умеренный риск
 2C Средний потенциал - высокий риск

3A Низкий потенциал - минимальный риск
 3A1 Пониженный потенциал – минимальный риск
 3B1 Пониженный потенциал - умеренный риск
 3C1 Пониженный потенциал - высокий риск
 3B2 Незначительный потенциал - умеренный риск
 3C2 Незначительный потенциал - высокий риск
 3D Низкий потенциал - экстремальный риск

Внедрение биотехнологий в регионе позволяет снижать энергоёмкость валового регионального продукта и сохранять экологическую ситуацию, с помощью единственной в России биогазовой станции, осуществляющей переработку органических отходов агропромышленного комплекса в биогаз и органические удобрения. Производство лекарственных средств проектной мощностью 616 млн. единиц готовой продукции в год по стандарту GMP, открывает доступ российским лекарствам на мировой рынок, при этом сырьё для лекарств поставляется с белгородского завода фармацевтических субстанций. Значительное увеличение доли инновационного потенциала в ре-

гионе обусловлено вводом крупнейшего в России тепличного комплекса по производству овощной продукции в закрытом грунте (5,6 тыс. тонн в год), который создан на основе передовых мировых технологий, который позволяет выращивать экологически чистую продукцию за счет современной голландской системы управления микроклимата и системы испарительного охлаждения высокого давления. Немецкая система освещения и отопления позволяет отработанные дымовые газы через систему охлаждения и очистки подавать в виде чистого газа для подкормки растений в теплицу, что будет способствовать увеличению урожайности.

Таким образом, высокая инновационная доля в инвестиционном потенциале региона в 2014 году дала толчок созданию инновационным предприятиям и новым отраслевым комплексам, отвечающим требованиям шестого технологического уклада. Производство инновационных товаров и услуг создала предпосылки для роста экономики Белгородской области и ее конкурентоспособности на мировом рынке.

Оценивая развитие промышленной политики в Белгородской области (доля региона в совокупных производственных условиях России в 2014 году составила 1,353 %), важно отметить, что промышленное производство составляет основу экономического потенциала региона. Наибольший удельный вес в структуре отгруженной промышленной продукции занимают обрабатывающие производства (18,1%), занимающиеся модернизацией имеющихся производственных мощностей машиностроительного комплекса и созданием новых конкурентоспособных производств. ОАО «Стойленский ГОК» увеличивает работы по добыче железистых кварцитов, применяя новую технологию транспортировки насосами пустой породы и ее укладку в хвостохранилище в сгущенном состоянии, возвращая в процесс обогащения используемую при транспортировке технологическую воду до 80%. ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» внедряет кислородопотребляющие технологии при строительстве новой кислородной станции. Криогенная воздухо-разделительная установка немецкой фирмы Linde производительностью 20 тыс.м³ кислорода в час, позволит обеспечить потребности комбината в продуктах разделения воздуха.

В структуре валового регионального продукта области высокую долю (17,3%) составляет сельское хозяйство, она занимает лидирующие позиции по поставкам животноводческой продукции на российский рынок (за 9 месяцев 2014 года произведено во всех категориях хозяйств: скота и птицы 1 123,3 тыс. тонн, что выше соответствующего периода прошлого года на 2,1%). Более 9 млрд. рублей субсидий из федерального бюджета и 1 млрд. рублей из областного бюджета было привлечено на поддержку сельхозтоваропроизводителей региона.

К числу сильных сторон инвестиционного потенциала области, развитие которых будет поддерживать отраслевые комплексы и структуры в любом секторе экономики, можем также отнести институциональные (доля региона в совокупном потенциале страны в 2014 году - 1,529 %), финансовые условия (1,412%) [Аналит. материалы, 2014, с.19].

Следует отметить и наличие слабых сторон инвестиционного потенциала Белгородской области. К их числу можем отнести природно-ресурсные условия (доля региона в совокупных природно-ресурсных условиях России в 2014 году составила 0,235%) и инфраструктурные (0,235%). При этом следует отметить «конфликт интересов» между добывающей промышленностью и сельским хозяйством в регионе. Оба вида деятельности требуют значительные земельные территории, а разница в уровне доходов в данных секторах обостряет внутрирегиональное неравенство.

В Воронежской области к сильным сторонам развития можно отнести природно-ресурсный (доля региона в совокупном потенциале страны в 2014 году – 2,684 %), туристический (1,632 %) и производственный (1,368 %) потенциал. В рамках государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» в 2014 году из областного бюджета выделены субсидии промышленным предприятиям на сумму 66,9 млн. рублей. Совместная работа с крупными корпорациями способствовала высокому росту производства нефтегазового оборудования в оборонно-строительном комплексе региона и увеличила производственный потенциал, что является существенным базисом для модернизации имеющихся и создания новых промышленных комплексов и отраслей. В пищевой и перерабатывающей отрасли ведется строительство крупного крахмалопаточного производства и предприятия по глубокой переработке зерна. На развитие агропромышленного комплекса, в части молочного скотоводства направлено 2,6 млрд. рублей. В молочном скотоводстве реализуются новые инвестиционные проекты, и ведется модернизация действующих производств [Отчет, 2014, с.6 – 8].

Высокий природно-ресурсный потенциал Воронежской области дает возможности для создания и развития туристических зон на территории региона. Туристический потенциал региона представлен памятниками истории, культуры и природы.

К слабым сторонам инвестиционного потенциала в Воронежской области можно отнести потребительский (доля региона в совокупном потенциале страны в 2014 году – 0,947 %), инфраструктурный (0,789%) и инновационный (0,632 %) [Аналит. материалы, 2014, с. 20].



Созданное на территории Воронежской области «Агентство по инновациям и развитию» будет способствовать активному участию и тесному взаимодействию вузов региона с промышленными предприятиями, что позволит эффективно реализовать инновационные проекты и продвигать инновационные продукты как в регионе, так и за его пределами.

Курская область в рейтинге инвестиционного климата российских регионов в 2014 году переместилась по шкале от среднего потенциала до уровня пониженного, сохраняя минимальный риск. Институциональные условия (1,389 %) являются сильной стороной инвестиционного потенциала области. Институциональные условия, связанные с общественными институтами региона стимулирует спрос на инновационное развитие. Конкурентным преимуществом (но не столь выраженным, как в Белгородской области) является в Курской области инновационный потенциал (1,111 %) [Аналит. материалы, 2014, с.21].

В области ведется работа по созданию нового деревообрабатывающего производства европейского уровня по изготовлению отделочных пиломатериалов из ангарской сосны на оборудовании производства Германии. Реализуется производство по переработке полимерных отходов (бутылки), для создания и внедрения композиционных материалов на высокотехнологичном промышленном оборудовании. Ведется строительство комплекса для переработки стоков свиноферм и кукурузного силоса в биогаз и удобрения для производства тепловой и электрической энергий. Реализуются проекты по реконструкции сахарного завода с целью расширения действующего производства и увеличения производительности технологического оборудования по переработке свеклы, строительству молокоперерабатывающего предприятия производительностью 250 тонн в сутки цельномолочной продукции [Инвестицион. портал, 2015].

Слабыми сторонами развития региона являются низкий инфраструктурный потенциал (доля области в потенциале в 2014 году – 0,278 %), природно-ресурсный (0,556%). Ограничением для развития экономики может стать имеющийся в регионе дефицит водных ресурсов и истощение черноземов.

Сильной конкурентной позицией Липецкой области в инвестиционных условиях является высокий инновационный уровень развития (доля области в совокупном потенциале страны в 2014 году – 1,800%), природно-ресурсный (1,775%), туристический (1,625%) [Аналит. материалы, 2014, с.21]. Подъему туристического потенциала Липецкой области среди российских регионов способствовало активное участие в федеральной программе по развитию внутреннего и въездного туризма. За счет привлечения федеральных средств туристическому кластеру оказывают содействие в прокладывании инженерных коммуникаций, ведут строительные работы по обновлению сети дорожных развязок. На текущий период в области имеется пять туристических зон.

На низком уровне инвестиционного климата находится инфраструктурный потенциал (доля области в совокупном потенциале страны в 2014 году – 0,200 %), производственный (0,750 %), что, несомненно, сдерживает создание новых товаров для роста экономики и роста качества жизни жителей в регионе. Основа экономики Липецкой области – это сельское хозяйство и металлургическая промышленность. Сфера промышленной деятельности представлена производством холодильников и морозильников, тракторов и тракторных культиваторов, продукции черной металлургии и пищевой промышленности. Область является монополистом по производству некоторых видов электротехнической стали, шлифовальных станков и напорных чугунных труб, что создает условия для сложной экологической обстановки.

В Тамбовской области сильными сторонами инвестиционного потенциала являются туристический (1,327 %) и природно-ресурсный (1,033 %), институциональный (1,017 %), в то время как остальные развиты недостаточно [Аналит. материалы, 2014, с.21]. Наиболее активно в 2014 году привлекались инвестиции в основной капитал в сельское хозяйство – 24,4% от основного объема инвестиций в основной капитал организаций области (без субъектов малого предпринимательства), а также в транспорт и связь – 21,0%. В соответствии с Программными требованиями в регионе продолжает формироваться единая система региональных туристских зон. В 2014 году из областного бюджета и внебюджетных источников привлечено 23,6 млн. рублей [Долгосроч. целев. прогн., 2011, с.22].

Недостатком социально-экономического развития области является сложная экологическая ситуация, рост площадей свалок за счет сельскохозяйственных угодий, сильную зависимость экономики региона от мировой рыночной конъюнктуры.

Наибольший объем инвестиций в основной капитал в 2013 году поступает в Воронежскую и Тамбовскую области: темп прироста составил 18,9% и 18,3% соответственно. Снижение объемов инвестиций на 5,6% наблюдается в Белгородской области. Вызвано вложением инвестиций в наукоемкое производство преимущественно из средств областного бюджета, внебюджетных источников, включая федеральный бюджет.

В кризисный период (2009 год) снижение объема инвестиций в основной капитал имело место во всех регионах, за исключением Тамбовской области. Важно понимать, что такое сокращение

могло происходить по двум причинам: высокая степень зависимости региона от мировой рыночной конъюнктуры или значительная доля иностранных инвестиций в региональной экономике.

Заключение

Проанализировав основные показатели рейтинга инвестиционного климата в регионах Центрального Черноземья, важно отметить, что ни один из регионов не обладал высоким уровнем данных условий. Конкурентным преимуществом Белгородской, Курской, Липецкой областей является высокий уровень инновационного и туристического инвестиционного потенциала. Высокий природно-ресурсный потенциал Воронежской и Тамбовской областей открывает возможности использования наиболее богатого среди других областей баланса подземных вод, обширных площадей сельскохозяйственных и лесных угодий для эффективного использования в секторах экономики.

Темп прироста инвестиций в основной капитал за период с 2013 – 2014 годы в Белгородской области снился по сравнению с предыдущими годами. Данный факт означает полное освоение территории птицеводческими и свиноводческими комплексами, и дальнейший переход к развитию наукоемких отраслей инновационного типа с целью мультипликационного эффекта экономики региона. В соответствии со Стратегией развития Тамбовской области, учитывая ее природно-ресурсный инвестиционный потенциал (площадь сельскохозяйственных угодий области составляет более 80%), важно наращивать мощности по производству зерна, сахарной свеклы и масличных культур, привлекая инвестиции из федерального бюджета по программным мероприятиям. Вследствие инвестиционной активности, возможно, региону приблизиться к показателям предыдущих лет Белгородской, Воронежской областей.

Список литературы References

1. Государственная программа «Развитие экономического потенциала и формирование благоприятного предпринимательского климата в Белгородской области на 2014-2020 годы». 2013, Белгород, 101.
Gosudarstvennaya programma «Razvitie ekonomicheskogo potentsiala i formirovanie blagopriyatnogo predprinimatel'skogo klimata v Belgorodskoy oblasti na 2014-2020 godu». 2013, Belgorod, 101.
2. Долгосрочная целевая программа Тамбовской области «Развитие туризма в Тамбовской области на 2011-2015 годы». 2011, Тамбов, 25.
Dolgosrochnaya tselevaya programma Tambovskoy oblasti «Razvitie turizma v Tambovskoy oblasti na 2011-2015 godu». 2011, Tambov, 25.
3. Инвестиционная привлекательность регионов. - 2014: аналитические материалы. 014. М., 28.
Investitsionnaya privlekatel'nost' regionov. - 2014: analiticheskie materialy. 2014. М., 28.
4. Инвестиционный портал Курской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kurskobinvest.ru/proekty-i-ploschchadki/proekty>.
Investitsionnyy portal Kurskoy oblasti. URL: <http://kurskobinvest.ru/proekty-i-ploschchadki/proekty>.
5. Ломовцева, О.А. Совокупный ресурсный потенциал региона: методология определения и измерения / О.А. Ломовцева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. История. Политология. Экономика. Информатика. 2012. № 21 (120). С. 61. – 67.
Lomovtseva, O.A. Sovokupnyy resursnyy potentsial regiona: metodologiya opredeleniya i izmereniya. Nauchnye vedomosti Belgorod State University Scientific. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika. 2012. № 21 (120) : 61. – 67. (in Russian)
6. Отчет о реализации инвестиционной стратегии Воронежской области на период до 2020 года и основных направлений до 2030 года за 2013 год и 6 месяцев 2014 года. 2014, Воронеж, 51.
Otchet o realizatsii investitsionnoy strategii Voronezhskoy oblasti na period do 2020 goda i osnovnykh napravleniy do 2030 goda za 2013 god i 6 mesyatsev 2014 goda. 2014, Voronezh, 51.
7. Парфенова, Е.Н. Регулирование инвестиционных процессов в регионе: проблемы и перспективы / Е.Н. Парфенова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. История. Политология. Экономика. Информатика. 2014. 8 (179). С. 18 – 25.
Parfenova, E.N. Regulirovanie investitsionnykh protsessov v regione: problemy i perspektivy / E.N. Parfenova // Nauchnye vedomosti Belgorod State University Scientific. Istoriya. Politologiya. Ekonomika. Informatika. 2014. 8 (179). 18 – 25. (in Russian)
8. Растворцева, С.Н. 2013. Оценка экономических условий для развития кластеров в регионах Центрального Черноземья. В кн.: Приоритеты и формы реализации кластерной политики в российских регионах / С.Н. Растворцева, Н.А. Череповская. - Белгород, КОНСТАНТА, 2013. - С. 61– 87.
Rastvortseva, S.N. Otsenka ekonomicheskikh usloviy dlya razvitiya klasterov v regionakh Tsentral'nogo Chernozem'ya. V kn.: Prioritety i formy realizatsii klasternoy politiki v rossiyskikh regionakh / S.N. Rastvortseva, N.A. Cherepovskaya. - Belgorod, KONSTANTA, 2013. - 61– 87. (in Russian)
9. Регионы России. Основные субъекты Российской Федерации. 2014. – М., Росстат, 20 – 21.
Regiony Rossii. Osnovnye sub"ekty Rossiyskoy Federatsii. 2014. - М., Rosstat, 20 – 21.



УДК 338.001.76

РЫНОЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

MARKET SUPPORT COMMERCIALIZATION OF INTELLECTUAL ACTIVITY OF HIGH SCHOOL

С.Н. Прядко

S.N. Pryadko

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85, Victory St., Belgorod, 308015,
Russia

E-mail: pryadko_s@bsu.edu.ru

Аннотация: В статье представлены данные, характеризующие коммерциализацию результатов интеллектуальной деятельности ученых вузов Белгородской области в виде малых инновационных предприятий. Для повышения эффективности деятельности данных предприятий предлагается использование структурно-логической схема рыночного сопровождения, которая включает анализ рынка, а выбор способа коммерциализации и правовой охраны разработки ученого вуза, а также использование конкретных маркетинговых инструментов для доведения разработки до конечного потребителя инновационного продукта.

Resume. The article presents the data describing the commercialization of intellectual property of universities scientists Belgorod region in the form of small innovative enterprises. To improve the efficiency of these enterprises provided the use of structural and logical scheme of market support, which includes analysis of the market and the choice of the method of commercialization and legal protection of scientific developments of the university, as well as the use of specific marketing tools to bring development to the final consumer product innovation.

Ключевые слова: результаты интеллектуальной деятельности, вуз, малые инновационные предприятия, коммерциализация, маркетинговые инструменты.

Key words: intellectual property, university, small innovative enterprises, commercialization, marketing tools.

Введение

В настоящее время происходит формирование системы институциональной и финансовой поддержки системы модернизации экономики, ее перехода на инновационный путь развития. Ведущую роль в данном процессе начинает играть университеты, которые пытаются совместить свои классические функции (генерирование и передачу знаний) и функции современного инновационного предприятия. Как и любое коммерческое предприятие, реализующее инновационную продукцию/услуги, вуз сталкивается с рядом проблем, одной из которых, по мнению российских, является отсутствие эффективного механизма передачи разработок ученых вуза к высокотехнологичному бизнесу [3,4].

Основным «продуктом» вуза являются результаты интеллектуальной деятельности (РИД), то есть права на разработки ученых в независимости от их охраноспособности в соответствии с международным или российским правом, включая права, относящиеся к литературным, художественным и научным произведениям, исполнительской деятельности, звукозаписи, радио и телевизионным передачам, изобретениям во всех областях человеческой деятельности, научным открытиям, промышленным образцам, товарным знакам, знакам обслуживания, фирменным наименованиям и коммерческим обозначениям, программам для электронных вычислительных машин, базам данных, полезным моделям, селекционным достижениям, топологиям интегральных микросхем, секретам производства (ноу-хау), защите от недобросовестной конкуренции, а также все другие права, относящиеся к интеллектуальной деятельности в производственной, научной, литературной и художественной областях.

Процесс передачи разработки ученого вуза включает в себя организационные системы и процессы, посредством которых РИД (включая знания, технологии, опыт и навыки) передаются от разработчика (вуза) к потребителю (высокотехнологичному бизнесу), приводя к формированию новых рынков, освоения новых зон прибыльности для существующего бизнеса, формирования инновационной экономической системы в целом страны и региона.



Результаты исследований

С 2009 года вузы, согласно Федеральному закону № 217 – ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности», имеют возможность коммерциализировать собственные разработки в виде создания хозяйственных обществ - малых инновационных предприятий [1]. В 2013 году такой возможностью воспользовалось большинство вузов Белгородской области, которые, помимо МИПов сформировали и инновационную инфраструктуру вуза, включающую центры трансфера технологий, бизнес-инкубаторы, консалтинговые и «упаковочные» компании и пр. (табл.1).

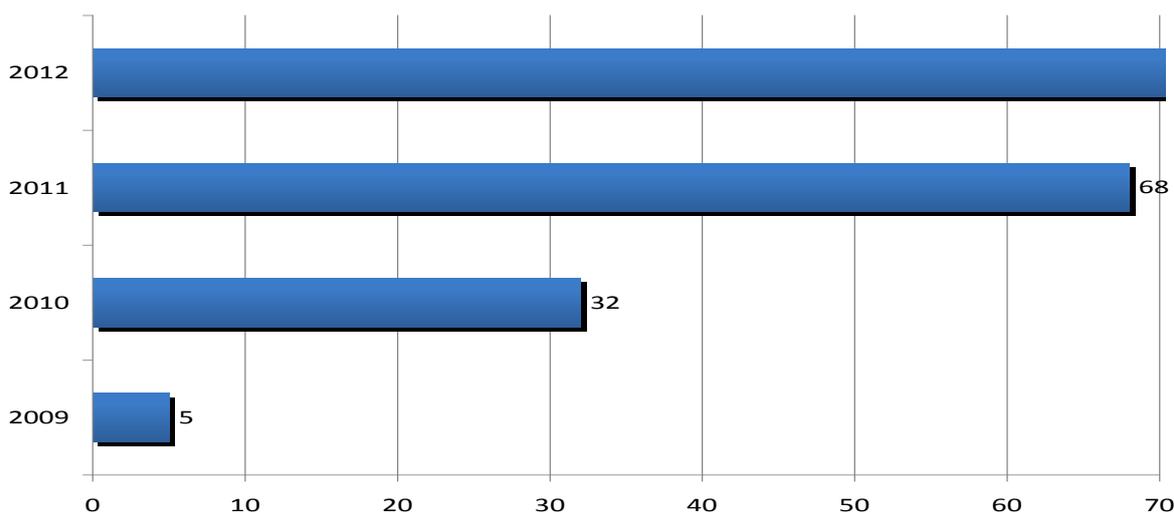
Таблица 1
Table 1

Число организаций, выполняющих исследования и разработки в Белгородской области
The number of organizations engaged in research and development in the Belgorod region

	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012	2013
Число организаций - всего	35	31	23	19	16	16	14	15
в том числе:								
научно-исследовательские организации	14	12	15	5	5	4	6	7
конструкторские и технологические организации	-	7	-	-	-	-	-	-
проектные и проектно-исследовательские организации	11	4	2	1	1	1	-	-
образовательные учреждения высшего профессионального образования	4	4	4	4	4	4	3	3
прочие	6	4	2	9	6	7	5	5

Источник: составлено по данным Департамента экономического развития Белгородской области (<http://www.derbo.ru/projects/innovation>)

Число МИПов, созданных вузами Белгородской области, постоянно увеличивается (рис. 1)



Источник: составлено по данным Департамента экономического развития Белгородской области (<http://www.derbo.ru/projects/innovation>)

Рис. 1. Малые инновационные предприятия, созданные с участием вузов Белгородской области
Fig. 1. Small innovative enterprises established with the participation of universities Belgorod region

Вместе с тем, оценка эффективности инновационной деятельности организаций Белгородской области показывает неоднозначный рост и снижение отдельных показателей



(табл. 2). Как показывают статистические данные объем отгруженных инновационных товаров, работ и услуг в стоимостном выражении увеличился практически в два раза. Но удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг в процентах увеличился только на 0,2 %, а в отдельные периоды времени (в 2010 и 2011 годах) происходило значительно сокращение данного показателя.

Таблица 2

Table 2

Основные показатели инновационной деятельности организаций в Белгородской области
Main innovation indicators of organizations in the Belgorod region

	2009	2010	2011	2012	2013
Затраты на технологические, маркетинговые и организационные инновации, млн. руб.	1317,8	3097,2	2149,8	1645,1	1114,3
Объем отгруженных инновационных товаров, работ, услуг, млн. руб.	10437,5	9391,6	15457,4	21683,4	21246,5
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, процентов	4,1	2,6	3,7	4,0	4,3

Источник: Госкомстат по Белгородской области (www.belg.gks.ru)

По мнению отдельных российских экспертов, тема коммерциализации РИД вузов является досрочно болезненной. При попытке внедрить разработки в промышленность зачастую выясняется, что разработки НИИ либо просто неинтересны бизнесу и промышленности, либо непригодны для внедрения в текущем виде. Это относится, как и к результатам мегапроектов вроде «компьютеров пятого поколения», и к результатам более скромных исследовательских программ [2, 3, 4]. Объемы финансирования создания МИПов является достаточно большими, но недостаточными для поддержания их дальнейшего работоспособного состояния.

Одним из возможных выходов в данной ситуации, можно считать более широкое внедрение рыночных маркетинговых инструментов, которые позволяют не только «подстраивать» деятельность бизнес-структуры к потребностям конкретного рынка, но и активно формировать окружающее бизнес-пространство, стимулировать и создавать спрос, управлять поведением потребителей инновационной продукции на рынке.

При выборе конкретных инструментов рыночного сопровождения разработки на рынок необходимо, по нашему мнению, учитывать следующие особенности рынка:

1) использование традиционных маркетинговых инструментов затруднено, так как при продвижении разработки на рынок нарушается основной принцип маркетинга - «Производить, то, что необходимо определенной целевой аудитории», то есть изначально производство должно быть направлено на определенный платежеспособный спрос на конкретном рынке. При продвижении РИД вуза на рынок чаще всего разработка ученых призвана создать несуществующий спрос или показать новые зоны прибыльности для существующего бизнеса. В данном случае смещаются основные смысловые акценты в маркетинговой деятельности вуза в процессе коммерциализации РИД. Происходит проталкивание инновационной разработки на рынок, что напрямую противоречит концепции маркетинга;

2) зачастую отсутствует взаимосвязь разрабатываемого РИД вуза и запросов конкретного рынка. Зарождение идеи у ученого невозможно спрогнозировать, так как в своей работе большинство ученых руководствуются интересами общественной пользы и научного поиска, что позволяет добиваться более значимых результатов, то есть более крупных открытий. В то время как бизнес нацелен на получение как можно более быстрой финансовой отдачи от изобретений ученых вузов. Однако именно совместная работа науки и промышленности, как показывает зарубежный опыт, дает более эффективную коммерциализацию, сочетая опыт и знания с практическими навыками и ресурсами. Необходима, на наш взгляд, предварительная система оценки, дополнительного отбора РИД которые могут быть коммерциализованы или выступить объектом некоммерческого трансфера РИД вуза;

3) необходимость комплексной маркетинговой поддержки задолго до начала и уже после окончания процесса коммерциализации РИД от вуза к потребителю – высокотехнологичному бизнесу. Процесс коммерциализации РИД должны претворять комплексные маркетинговые исследования.

Структурно-логическая схема рыночного сопровождения коммерциализации РИД вуза представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Структурно-логическая схема рыночного сопровождения коммерциализации РИД вуза
Fig. 2. Structurally-logic market support commercialization of university RID

Процесс рыночного сопровождения разработки ученого вуза должен проходить в течение всего ее жизненного цикла: начиная с анализ потребностей бизнеса в решении какой-то технической, экономической или организационной проблемы, и, заканчивая, продвижение инновационной продукции/услуг МИПа на конкретном рынке. На основании комплекса маркетинговых рыночных исследований необходимо выбирать конкретные инструменты, позволяющие реализовать продукцию/услуги МИПа.

Основные маркетинговые инструменты рыночного сопровождения РИД вуза представлены в таблице 3.

Таблица 3
Table 3

Маркетинговые инструменты рыночного сопровождения РИД вуза
Marketing tools market support RID university

Маркетинговые инструменты	Содержания маркетинговых инструментов
Комплексные аналитические решения	SWOT-анализ, бизнес-планирование (оценка бизнес-идей, разработка бизнес-плана, бизнес-модели МИПа).
Проведение и сопровождение маркетинговых исследований	социально-демографический портрет целевой аудитории, выявление потребительских предпочтений и исследование потребительского поведения, исследование конкурентных товаров и услуг, поддержка разработки и тестирование товара/услуги т.п.
Проведение и сопровождение исследований рынка	выделение основных трендов развития рынка и характеристика рыночной конъюнктуры, оценка емкости рынка и доли основных игроков, сегментирование, оценка каналов распределения, анализ конкурентного окружения и т.п.
Управление ассортиментным портфелем МИПа	анализ сбалансированности ассортиментной матрицы, ABC-анализ, XYZ-анализ и т.п.
Бренд-менеджмент МИПа	разработка концепции бренда; разработка и регистрация торговых марок, в т.ч. нэйминг, визуализация и работа с патентными поверенными; разработка и сопровождение программ управления брендом и продвижения на всех этапах жизненного цикла и т.п.
Продвижение продуктов и услуг МИПа	комплексные решения по оптимизации сбытовой политики, в т.ч. ценовое позиционирование и разработка системы скидок, расширение клиентской базы и/или каналов сбыта, разработка систем лояльности клиентов; разработка комплексных программ продвижения B2B, B2C и B2G, разработка и сопровождение программ стимулирования сбыта и т.п.
Разработка рекламной стратегии и отдельных элементов комплекса рекламных мероприятий МИПа	медиапланирование; разработка и сопровождение рекламных кампаний (ATL, BTL); разработка рекламно-информационных и POS-материалов – буклеты, листовки, каталоги и т.п.; разработка и сопровождение Интернет-проектов – корпоративный сайт, Интернет-продвижение и т.п.

Заключение

Передовой отечественный опыт, а также практика наиболее развитых стран показывает, что в настоящее время конкурентная борьба на рынке образовательных услуг идет не только в области формирования перспективного контингента студентов и преподавателей; обладания финансовыми и капитальными ресурсами; но и в области коммерциализации научных разработок ученых вуза. Для продвижения РИД ученых вуза необходимо использование маркетинговых инструментов, которые позволяют адаптировать разработку к потребностям конкретного рынка, и сформировать спрос на инновационную продукцию МИП вузов.

Список литературы References

1. Федеральный закон от 2 августа 2009 г. № 217 – ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности»

Federal Law of August 2, 2009 № 217 - FZ "On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation on the establishment of budget scientific and educational institutions, business entities with a view to practical application (implementation) of the results of intellectual activity"

2. Прыдко С.Н., Усманов Д.И. Анализ региональных факторов рыночного трансфера результатов интеллектуальной деятельности / С.Н. Прыдко, Д.И. Усманов // Вестник БГУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, Выпуск № 5, 2014. – С. 72-84

Pryadko S.N., Usmanov D.I. An analysis of regional factors of market transfer of intellectual property / SN Pryadko, DI Usmanov // Herald of BSTU. VG Shukhov Belgorod - Issue number 5, 2014. – P. 72-84.

3. Ломовцева О.А. Регион в контексте общественного развития и эволюции экономической мысли / О.А. Ломовцева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 8-1 (151): 20-27.

Lomovtseva, O.A., 2013. Region in the context of social development and the evolution of economic thought. Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies, 8-1 (151): 20-27.



4. Круглый стол «Государственная политика в области коммерциализации интеллектуальной собственности как ключевого фактора модернизации ученого сектора»

<http://forum.boinc.ru/default.aspx?g=posts&t=1205#post45107>

Round table "State policy in the field of commercialization of intellectual property as a key factor in modernizing the academic sector" <http://forum.boinc.ru/default.aspx?g=posts&t=1205#post45107>

5. Davood, Tanha, Aidin, Salamzadeh, Zahra, Allahian, Yashar Salamzadeh, 2011. Commercialization of University Research and Innovations in Iran: Obstacles and Solutions. Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology. http://www.scientificpapers.org/wpcontent/files/1208_Aidin_Salamzadeh_Commercialization_of_University_Researches_and_Innovations_in_I

Давуд, Танха, Айдин, Саламзадех, Захра, Аллахиан, Саламзаде, 2011. Коммерциализация университетских исследований и инноваций в Иране: вызовы и решения. Журнал управления знаниями, экономики и информационных технологий. http://www.scientificpapers.org/wpcontent/files/1208_Aidin_Salamzadeh_Commercialization_of_University_Researches_and_Innovations_in_I



АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА

УДК 339.16:004.738.5

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ В РОССИИ FUTURE DEVELOPMENT OF ELECTRONIC COMMERCE IN RUSSIA

Е.С. Сорокина¹, О.А. Глазунова²
E.S. Sorokina¹, O.A. Glazunova²

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

²Белгородский университет кооперации, экономики и права, Россия, г. Белгород
¹Belgorod State National Research University, 85, Victory St., Belgorod, 308015, Russia

²Belgorod University of Cooperation of Economics and Law, Belgorod, Russia

E-mail: Pridvorova@bsu.edu.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются сущность и основные направления электронной коммерции. Проведен анализ российского рынка электронной коммерции и перспектив его развития как в целом по стране, так и по регионам. Сделаны выводы о тенденциях развития электронной коммерции в России. Описаны основные преимущества и недостатки электронной торговли, дана расшифровка понятия «электронная коммерция», рассмотрены преимущества использования данного направления в торговле. Показана степень развития регионов России по показателям проникновения Интернета и в сфере электронной коммерции, и ведения бизнеса через Интернет. Проанализирована взаимосвязь показателей и их влияние на развитие электронной коммерции в регионах России.

В статье автором проанализированы проблемы и перспективы развития электронной торговли в России, учитывая, что электронная коммерция, как и сам Интернет, стала неотъемлемой частью цивилизации. Информационные коммуникационные технологии, в частности, сеть Интернет, безусловно, являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на формирование современного общества. Интернет представляет собой новую ступень развития любого бизнеса, в том числе для малого и среднего бизнеса. Во всем мире органы власти, стараются развивать электронную коммерцию.

Электронная коммерция способна значительно увеличить экономическую эффективность предприятий. Внедрение на предприятии электронных методов ведения бизнеса позволяет, с одной стороны, повысить результативность продвижения товаров и услуг, расширить рынки сбыта, развить взаимоотношения с клиентами и, с другой стороны, способствует снижению текущих затрат, а также сокращению суммарного времени обслуживания клиента и обработки запроса.

Resume. This article discusses the essence and the basic directions of e-commerce. The analysis of the Russian market of e-commerce and the prospects of its development in the whole country and by region. The conclusions about the trends of e-commerce in Russia. The basic advantages and disadvantages of e-commerce, given the transcript of the concept of "e-commerce", discusses the advantages of using this direction to trade. It is shown that the degree of development of Russian regions in terms of Internet penetration and e-commerce, and business via the Internet. It analyzes the relationship indicators and their impact on the development of electronic commerce in the regions of Russia.

In the article the author analyzes the problems and prospects of development of e-commerce in Russia, given that e-commerce, like the Internet itself, has become an integral part of civilization. Information and communication

technologies, particularly the Internet, is certainly one of the most important factors influencing the formation of modern society. The Internet is a new stage of development of any business, including for small and medium-sized businesses. Around the world, governments are trying to develop e-commerce.

E-Commerce is able to significantly increase the economic efficiency of enterprises. The introduction of the enterprise e-business practices allow, on the one hand, to increase the effectiveness of promoting goods and services, to expand markets, to develop relationships with clients and, on the other hand, it helps to reduce current costs, and reduce the total time of customer service and request processing.

Ключевые слова: электронная торговля, электронный бизнес; электронная коммерция; интернет; информация; потребитель, электронный рынок, интернет-технологии, информационные технологии, web порталы.

Key words: e-commerce, e-business; electronic commerce; internet access; information; the consumer electronic market, online technology, information technology, web portals.

Введение

Стремительное развитие информационных технологий обусловило, вне всякого сомнения, возникновение целого множества явлений в самых разных областях жизнедеятельности современного человечества. Для экономической сферы таким феноменом стала электронная коммерция.

Появление и развитие сети Интернет, совершенствование информационных технологий, систем, и стандартов их взаимодействия привели к созданию нового направления современной коммерции - электронной коммерции, как особой формы бизнеса, реализующейся в значительной степени посредством внедрения информационных технологий в процессы производства, продаж и распределения товаров и услуг.

Несмотря на очевидный для исследователей факт, что различные социально-экономические идеи и воззрения на проблемы компьютеризации и информатизации общества по существу окончательно не согласовались в единую стройную теорию, и понятийно-категориальный аппарат электронной коммерции в полном объеме не сформирован ни в отечественной, ни в зарубежной науке и практике, большинство современных учёных и специалистов склонны увязывать электронную коммерцию не с применением информационных технологий в целом, а с использованием Интернета в частности.

Интернет-торговля (электронная коммерция, e-commerce) - термин, используемый для обозначения коммерческой активности в сети Интернет. Обеспечивает возможность осуществления покупок, продаж, сервисного обслуживания, проведения маркетинговых мероприятий путем использования компьютерных сетей. В широком смысле электронная коммерция - это предпринимательская деятельность по осуществлению коммерческих операций с использованием электронных средств обмена данными.

Объектом электронной коммерции является то, на что направлена деятельность систем электронной коммерции. К ним можно отнести различные товары, услуги и информацию.

В то же время, электронная коммерция включает в себя не только on-line транзакции. В область, охватываемую этим понятием, необходимо включить и такие виды деятельности, как проведение маркетинговых исследований, определение возможностей и партнеров, поддержка связей с поставщиками и потребителями, организация документооборота и пр.

Таким образом, электронная коммерция является комплексным понятием и включает в себя электронный обмен данными как одну из составляющих.

Электронная коммерция – это сетевая модель ведения бизнеса, использующая электронные сети как основное средство коммуникации. Таким образом, любая хозяйственная операция, совершенная через компьютерную сеть, в результате которой право собственности на товар или право пользования им передается от одного лица к другому, может быть представлена как электронная коммерция. Электронный бизнес можно определить как процесс, который также осуществляется через электронные сети, но может не сопровождаться передачей права собственности или пользования товаром. Следовательно, электронная коммерция – частный случай электронного бизнеса. Мы считаем, что электронный бизнес является основой постепенной глобализации экономических отношений, в частности расчетов и платежей, осуществляемых посредством электронных технологий.

Одним из первых авторов, рассмотревших теоретические аспекты данного явления, и давший характеристику электронной коммерции, является американский экономист Дэвид Козье. Он относится к числу исследователей, рассматривающих электронную коммерцию в качестве электронной торговли. Основой электронной коммерции Козье считает структуру традиционной торговли, уточняя, что использование электронных сетей придает ей гибкость [Козье, 1999]. Электронную коммерцию и электронную торговлю эти авторы считают синонимами или частными случаями друг друга. Например, Л.С. Климченя определяет электронную коммерцию как состав-

ную часть электронного бизнеса, а электронную торговлю характеризует, как частный случай электронной коммерции [Климчя, 2004]. Такого же мнения придерживается О.А. Кобелев, рассматривая электронную торговлю в качестве важнейшей составной части электронной коммерции, которую в свою очередь он характеризует как «предпринимательскую деятельность по осуществлению коммерческих операций с использованием электронных средств обмена данными» [Кобелев, 2008]. Электронную коммерцию как интернет-торговлю, рассматривают и некоторые западные экономисты, например Д. Эймор [Эймор, 2001]. Такую же позицию занимает И. Голдовский: «Под электронной коммерцией подразумевается продажа товаров, при которой как минимум организация спроса на товары осуществляется через Интернет» [Голдовский, 2001]. С.В. Пирогов трактует электронную коммерцию как «технологии совершения коммерческих операций и управления производственными процессами с применением электронных средств обмена данными» [Пирогов, 2003]. Включение понятия «управление производственными процессами» автор обуславливает большим значением системного подхода к проблемам управления торговыми и инвестиционными потоками и соответствующими финансовыми рисками, а электронная коммерция позволяет сделать такое управление более эффективным. Достоинство данной трактовки состоит в упоминании управления производственными процессами, что позволяет включить в предметную область такие системы, как MRP, MRP II, ERP и др. Многие экономисты, кроме понятия «электронная коммерция», рассматривают понятие «электронный бизнес». И. Успенский характеризует электронный бизнес как «любую деловую активность, использующую возможности глобальных информационных сетей для преобразования внутренних и внешних связей с целью создания прибыли».

Учитывая специфику электронной экономической сферы, а также появление новых форм экономической деятельности, новых услуг и товаров, предлагаемых в данной сфере, такая трактовка не полностью удовлетворяет определению электронного бизнеса. То же относится и к определению данным автором электронной коммерции: «Под электронной коммерцией (е-коммерция) подразумеваются любые формы деловых сделок, при которых взаимодействие сторон осуществляется электронным способом вместо физического обмена или непосредственного физического контакта и в результате которого право собственности или право пользования товаром или услугой передается от одного лица другому» [Успенский, 2001]. И. Успенский уточняет, что электронная коммерция, является важнейшей составляющей электронного бизнеса. Другой точки зрения придерживается С.Н. Смирнов. Его определение содержит понятие «маркетинг», включение которого вполне справедливо, однако, в таком случае следует упомянуть и другие бизнес-процессы, такие, как интернет-трейдинг (покупка/продажа ценных бумаг на электронных биржах), функционирование электронного предприятия, электронные услуги бизнес-консультирования и др. [Смирнов, 2003]. Некоторые экономисты считают задачей электронной коммерции замену традиционного механизма торговли между предприятиями. Однако, на наш взгляд, электронная коммерция призвана дополнить традиционные способы взаимодействия участников бизнес-процессов, ускорить обмен информацией между ними, а также способствовать снижению трансакционных издержек. Наиболее широкое определение понятию «электронная коммерция» дано в книге американского экономиста Гэри П., которое включает все виды экономической деятельности, использующие интернет-технологии. Под интернет-технологиями понимается использование самой системы Интернет, пространства World Wide Web и других, таких, как беспроводные системы передачи данных и мобильные телефонные сети [Gary, 2011]. Мнение данного автора разделяют также экономисты А. Саммер и Гр. Дункан [Саммер, Дункан, 1999]. Похожую трактовку представляет еще один зарубежный автор, Мэт Хэйг: «электронная коммерция – это любые формы деловых сделок, которые проводятся с помощью Интернета» [Хэйг, 2002].

На основе анализа рассмотренных определений, а также согласно эмпирическому и этимологическому подходам, мы можем утверждать, что термин электронная коммерция может употребляться в двух смыслах, широком и узком. В широком смысле электронная коммерция – это любая экономическая деятельность, включающая использование электронных информационных технологий. В узком смысле, это коммерческая деятельность по купле/продаже товаров или услуг в сети Интернет с целью получения прибыли. С точки зрения употребления термина «электронная коммерция» в широком смысле, можно рассматривать ее идентичность термину «электронный бизнес», поскольку Большой экономический словарь трактует бизнес, как «любую экономическую деятельность, направленную на получение прибыли» [Азрилиян, 2008]. Употребление понятия «электронная торговля» соответствует термину «электронная коммерция» в узком смысле, подразумевая только покупку/продажу товаров или услуг в сети Интернет, заменяя и дополняя традиционные способы взаимодействия покупателей и продавцов, перенося их в электронное пространство. Исходя из того, что на данный момент в большинстве случаев понятие «электронная коммерция» применяется ко всей экономической деятельности, связанной с использованием инфор-

мационных технологий, следует уточнять, в каком смысле, узком или широком, оно употребляется в том или ином контексте. Доступ к электронному информационному обмену позволяет существенно повысить эффективность деятельности экономических субъектов за счет снижения трансакционных издержек, уменьшения времени для организации сделки, а также обеспечивает быстроту и точность получения информации, высокую скорость финансовых расчетов, позволяет уменьшить расходы на доставку (главным образом для товаров, которые могут быть получены электронным способом), улучшить анализ рынка и стратегическое планирование, дает большие возможности для маркетинговых исследований, а также открывает одинаковый доступ к рынку как для крупных корпораций, так и для небольших фирм. Рамки электронной коммерции определяются не географическими или национальными границами, а распространением компьютерных сетей. Поскольку самые важные сети являются глобальными, электронная коммерция позволяет даже самым мелким предприятиям достигать глобального присутствия и заниматься бизнесом в мировом масштабе.

Первые системы электронной коммерции возникли в 60-х гг. и применялись в транспортных компаниях для заказа билетов и для обмена данными между различными службами при подготовке рейсов.

К концу 60-х гг. XX в. в США существовало четыре стандарта для обмена данными Electronic Data Interchange (EDI) в системах управления авиационным, железнодорожным и автомобильным транспортом. Аналогичные стандарты появились и в Великобритании, хотя в этой стране главной областью применения EDI стала торговля. Появление сети Интернет позволило сократить издержки на осуществление электронной коммерции за счет низкой себестоимости передачи информации. В 80-х гг. начался бурный рост оборотов электронной коммерции. В 1996 г. посредством EDI-транзакций было совершено операций на 300 млрд. долл., а в 1999 г. – на 1,1 трлн. долл. При подобных темпах роста объем продаж в электронных сетях к 2003 г. увеличится до 2,3 трлн. долл.

Если рассматривать коммерцию как торговлю товарами и услугами, то сюда следует отнести и куплю продажу финансовых инструментов, акций, банковских услуг, финансовой информации. Поэтому термин «электронная коммерция» применяется для обозначения торговли через сеть Интернет широким перечнем товаров и услуг, включая финансовые и банковские продукты и услуги. Электронную коммерцию можно определить, как любые операции между деловыми сторонами, происходящие электронным образом. Основной особенностью электронной коммерции является то, что взаимодействие происходит без непосредственного физического контакта сторон. В современном мире организация и ведение бизнеса постепенно меняются. В результате процессы в бизнесе становятся все более сложными и тяжело управляемыми.

Электронная коммерция позволяет повысить эффективность во внутренних операциях компании, взаимодействовать с клиентами и поставщиками, не уделяя при этом внимания различным ограничивающим факторам, таким, как географическое положение. Деловыми сторонами в электронной коммерции могут быть любые организации и компании, имеющие выход в Интернет. При помощи электронной коммерции компании могут быстро найти себе подходящих поставщиков, клиентов, деловых партнеров и организовывать свой бизнес без постоянных поездок на переговоры, заключение договоров и т.д. С помощью электронной коммерции можно осуществлять множество бизнес-операций: поиск заказчиков и поставщиков, распространение информации о товарах и услугах, оплата электронным образом (с помощью электронных платежей), доставка и распространение электронных товаров. Электронная коммерция включает в себя электронную почту, факс, технологию электронного обмена данными и электронные платежи. Электронная коммерция включает в себе рекламу, торговлю физическими и виртуальными товарами и услугами, исследование рынка, поддержку бизнес процессов и другие аспекты деятельности. По участию в бизнес процессе электронную коммерцию можно разделить на «бизнес для бизнеса», «бизнес для клиента» и «бизнес для администрации». Примером из категории «бизнес для бизнеса» может служить компания, использующая сеть для заказов поставщикам, получения счетов и оплаты. Направление «бизнес для клиента» – это электронная розничная торговля. Эта категория сильно расширила свои рамки с появлением всемирной сети Интернет. В категорию «бизнес для администрации» входят все сделки, заключаемые между компаниями и правительственными организациями. Рассматривая содержательные характеристики электронной коммерции, следует отметить присущие ей широкий спектр бизнес-операций и сделок, а также коммуникационных технологий. Перечень бизнес-операций и сделок включает установление контакта, обмен информацией между поставщиком и заказчиком, оплату товара или услуги с использованием электронного перевода денег, пред- и послепродажную поддержку реализуемого электронного продукта (инструкции по использованию, ответы на вопросы), распространение и непосредственную доставку продуктов, которые могут распространяться электронным путем. К коммуникационным

технологиям относятся электронная почта, факс, обмен данными и электронные платежи. Основными сферами распространения электронной коммерции рассмотрим на рисунке 1.

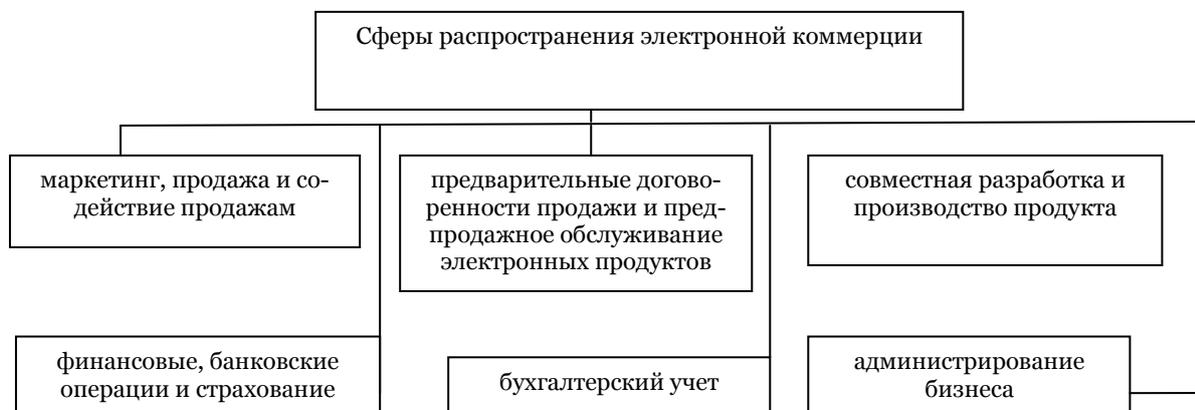


Рис. 1. Сферы распространения электронной коммерции

Fig.1. The scope of e-commerce

Использование предприятиями сети Интернет позволяет:

- создать благоприятный имидж своей фирмы или своей продукции;
- сделать информацию о своей фирме или своей продукции доступной для пользователей сети Internet, в том числе географически удаленных; сократить свои издержки на рекламу (реклама в Сети - один из самых дешевых способов продвижения продукции) и обеспечить поддержку своим рекламным агентам;
- реализовать все возможности представления информации о товаре (графика, звук, анимация, видеоизображение и многое другое); оперативно вносить изменения в свой прайс-лист, в информацию о себе или товарах, анонсировать новую продукцию, оперативно реагировать на рыночную ситуацию; продавать свою продукцию через сеть Интернет, не открывая новых торговых точек.

Исходя из вышеперечисленного можно сформулировать примеры конкретной коммерческой выгоды от электронной коммерции (рис. 2).

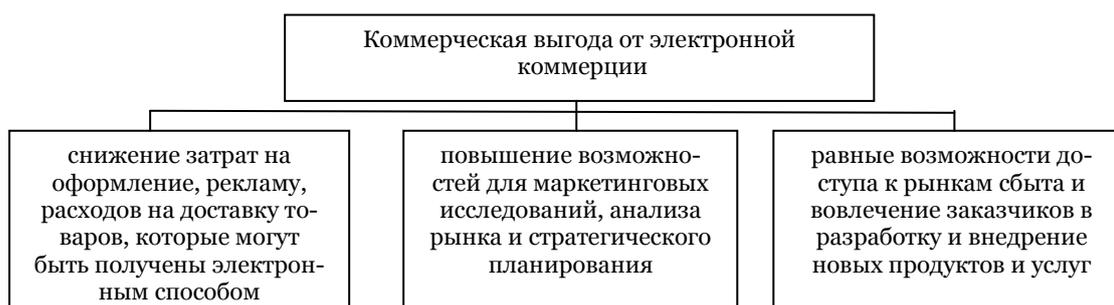


Рис. 2. Коммерческая выгода от электронной коммерции

Fig.2. Commercial benefits of e-commerce

Рассмотрим преимущества и возможности поставщиков товаров и услуг и их потенциальных заказчиков при работе в сети. Возможности поставщиков:

- глобальное присутствие;
- повышение конкурентоспособности;
- более полное удовлетворение потребностей заказчика;
- сокращение времени на обработку информации и пути товара к заказчику;
- новые возможности ведения бизнеса.

Заказчики получают следующие преимущества:

- глобальный выбор;
- качество услуг;
- быстрая реакция на спрос;
- прозрачность рынка.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о развитии в мире нового направления бизнеса, связанного с непосредственной работой в электронной сети Интернет. Посредством Интернет организована электронная коммерция, для эффективного функционирования которой необходимы расчеты и платежи также организованные в этой сети. Следовательно, необходимо развивать инфраструктуру финансовых рынков, способную воспринять новые технологии расчетов посредством электронных систем.

Результаты исследований

Развитие интернет - торговли в России напрямую связано с распространением сети Интернет на территории страны, развитием опций онлайн- оплаты банковскими картами, появлением электронных денег, а также сетевых сервисов, агрегирующих различные способы оплаты покупок. Немаловажную роль в появлении электронной торговли сыграла реклама в Интернете. Сначала появились сайты компаний, которые рекламировались в поисковиках, затем возникли формы заказа на сайтах, после появились интернет-магазины, которые, в большинстве случаев не имея розничных точек продаж, выигрывали по срокам и удобству получения товара. Таким образом, сформировался сегмент розничного рынка, который объединил организации, реализующие свою продукцию только через Интернет.

Сегодня в Интернете можно купить практически все: от продуктов до билетов на самолет. Потребителю не нужно ехать на другой конец города, чтобы приобрести товар, достаточно зайти на сайт интернет-магазина и, нажав несколько кнопок, сделать заказ. Причем все больше людей не только покупают, но и продают через Интернет.

В России наиболее высокая доля онлайн-продаж приходится на следующие сегменты торговли: автозапчасти (11%), книги и диски (11%), бытовая техника и электроника (9%), наиболее низкая — в сегменте продуктов питания (0,1%) (рис. 3).

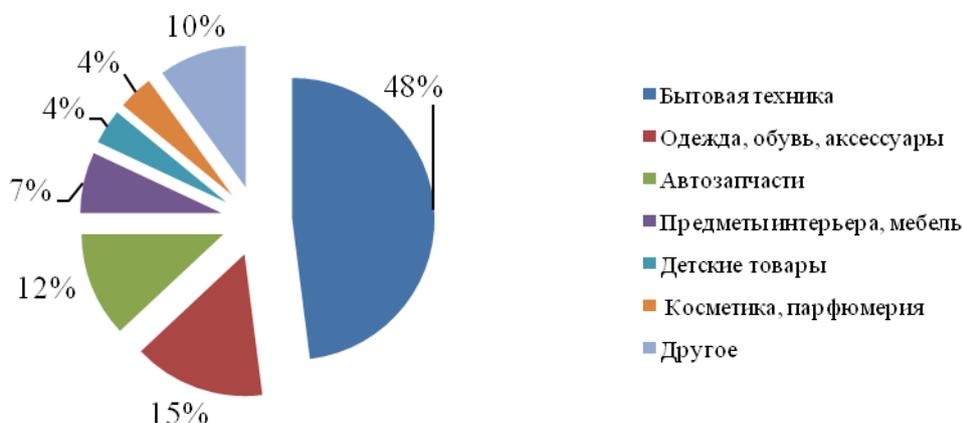


Рис. 3. Структура российского рынка электронной коммерции за 2014 год
Fig. 3. Productovaya structure of the Russian e-commerce market for 2014

Развитие электронной коммерции в мире и в России подкрепляется не только спросом, но и предложением. Инвесторы охотно вкладывают средства в стартапы, связанные с электронной торговлей. В мире доля сделок венчурного инвестирования в электронную коммерцию составляет 16% от всех инвестиций в ИТ, в России эта доля в разные месяцы может достигать до 22%.

Одним из главных достижений электронной коммерции является экономия затрат при совершении сделки. Заключение сделки электронным путем на порядок уменьшает стоимость затрат на ее обслуживание. Любой бизнес-процесс, в который можно внедрить электронный способ взаимодействия между людьми, имеет потенциал для сокращения затрат, что, в свою очередь, повлечет за собой снижение цен и рост полезности для заказчиков.

Использование информационных и коммуникационных технологий хозяйствующими субъектами в РФ за 2010- 2014 гг. представлена в таблице 1.

Таблица 1

Table 1

**Использование информационных и коммуникационных технологий
хозяйствующими субъектами в РФ за 2010- 2014 гг.**

(в процентах от общего числа обследованных организаций)

**The use of information and communication technologies by business entities in Russia
in 2010- 2014 years**

(as a percentage of the total number of surveyed companies)

Показатели	Годы				
	2009	2010	2011	2012	2013
Удельный вес организаций, использовавших: персональные компьютеры	93,7	93,8	94,1	94,0	94,0
ЭВМ других типов	16	18,2	19,7	18,9	19,7
локальные вычислительные сети	60,5	68,4	71,3	71,7	73,4
электронная почта	78,5	81,9	83,1	85,2	86,5
глобальные информационные сети	79,3	83,4	85,6	87,5	88,7
из них сеть:	-	-	-	-	-
Интернет	78,3	82,4	84,8	86,9	88,1
в том числе широкополосный доступ	47,3	56,7	63,4	76,6	79,4
Интранет	11,8	13,1	16,1	14,7	16,7
Экстранет	4,5	5,3	6,1	6,4	7,7
Имевших веб-сайты в сети Интернет	24,1	28,5	33,0	37,8	41,3

С 2009 года доля организаций, имеющих персональные компьютеры, превысила 90 %-ный порог и рост удельного веса замедлился (табл. 1). Рост ЭВМ других типов связан с тем, что для некоторых задач в бизнесе и науке нужны большие мощности, к примеру, для обеспечения нормальной работы сайта или хранения большого объема данных необходимы специальные серверы. Рост использования электронной почты объясняется тем, что она является незаменимым средством связи между контрагентами. Большинство организаций использует интернет, и большой процент использует его в широкополосном доступе, что говорит о снижении издержек на интернет, и провайдер готов обеспечивать хорошую связь при низкой оплате доступа к сети. Замечен незначительный рост веб-сайтов, для средних и больших фирм такой способ общения с потребителями и поставщиками не популярен. В число обследованных организаций не вошли субъекты малого бизнеса.

Рассмотрим удельный вес организаций использовавших Интернет по субъектам Российской Федерации за 2009-2013 гг. в таблице 2.

Таблица 2

Table 2

**Удельный вес организаций использовавших Интернет по субъектам
Российской Федерации за 2009-2013гг.**

(в процентах от общего числа обследованных организаций)

**Share of organizations use the Internet on the subjects of the Russian Federation
for 2009-2013**

(as a percentage of the total number of surveyed companies)

Показатели	Годы				
	2009	2010	2011	2012	2013
Российская Федерация	78,3	82,3	84,8	86,9	88,1
Центральный федеральный округ	75,5	80,3	82,8	85,9	87,9
Северо-Западный федеральный округ	80,6	85,7	88,6	91,0	92,3
Южный федеральный округ	77,6	80,2	83,0	84,1	86,2
Северо-Кавказский федеральный округ	81,6	85,5	89,0	87,8	89,2
Приволжский федеральный округ	81,4	86,0	87,8	89,1	88,7
Уральский федеральный округ	83,5	87,1	88,9	90,5	91,2
Сибирский федеральный округ	73,2	77,6	81,2	84,0	85,0
Дальневосточный федеральный округ	78,0	79,1	80,7	84,0	85,6

По результатам исследования выявлено, что с каждым годом удельный вес организаций использовавших Интернет по Российской Федерации возрастает с 78,3%-2009 г до 88,1% в 2013 году, также по Центрально- федеральному округу такая тенденция сохраняется с 75,5% до 87,9%. Доля организаций использовавших Интернет по Северо-Западному региону возрастает с 80,6% до 92,3%, Южному федеральному округу возрастает с 77,6% до 86,2%, Северо – Кавказскому федеральному округу с 77,6% до 86,2%, Приволжскому федеральному округу с 81,4% до 88,7%, Уральскому федеральному округу с 83,5% до 91,2%, Сибирскому федеральному округу с 73,2% до 85%, Дальневосточному федеральному округу с 78% до 85,6%. Наибольшая доля приходится на Северо-Западный федеральный округ, Уральский федеральный округ и Центральный федеральный округ.

Бизнес в Интернете также имеет ряд недостатков для своих клиентов. Во-первых, это несоответствие товаров, указанных на сайте и по факту, проблемы с доставкой товаров в надлежащем виде, а также слишком долгий период ожидания заказа. В некоторых компаниях заказ может идти до трех месяцев, что для жителей нашей страны крайне долго, ведь намного проще купить в обычном магазине и пользоваться в этот же день. Кроме того, необходим комплексный подход к стратегии информатизации компаний. Положительными моментами можно назвать следующие: минимизация затрат на время и на живой труд, мгновенный доступ к любым покупкам, услугам и платежам, сокращение времени обслуживания клиентов, уменьшение объемов наличных денежных средств в экономике, возможность доступа к информации из любой точки, в любое удобное время и место. Рынок электронной коммерции является быстрорастущим и перспективным во всем мире, позволяющим вывести уровень обслуживания клиентов на новую ступень. Интернет-банкинг и мобильный банкинг станут наиболее популярными направлениями в ближайшем будущем.

Электронная торговля в регионах имеет большой потенциал, и дальнейшее развитие рынка электронной коммерции будет направлено на их развитие. Объединение мощностей онлайн и оффлайн представительств компаний даст толчок развитию электронной торговли в регионах и вместе с тем позволит покупателям легче совершать онлайн-покупки в таких интернет-магазинах, не задумываясь о вопросах обеспечения сервиса, гарантийного обслуживания или возврата товара.

Таким образом, можно сделать ряд выводов. Во-первых, рынок электронной коммерции имеет существенные объемы по сравнению с другими способами монетизации интернет-проектов и развивается достаточно высокими темпами, следовательно, у начинающих предпринимателей есть возможность занять свою позицию на рынке, не отбивая клиентов у существующих игроков, а занимая появляющиеся сегменты. Во-вторых, велика вероятность того, что, открывая проект, связанный с электронной коммерцией, предприниматель сможет получить необходимые инвестиции. В-третьих, широкий ассортимент продаваемых через Сеть товаров и рост продаж в регионах позволяют предпринимателю выбрать наиболее релевантные для себя или для своих существующих проектов направления торговли.

Список литературы References

1. Азрилиян, А.Н. 2008. Большой экономический словарь / Под ред. А.Н. Азрилияна. М.: Институт новой экономики. – 856 с.
Azrilijan, A.N. Bol'shoj jekonomicheskij slovar' / Pod red. A.N. Azrilijana. - M.: Institut novoj jekonomiki, 2008.-856 p.
2. Бугаева, Е.С. Современные проблемы и перспективы управления развитием инновационной экономики: материалы Междунар. Науч.-практ.конф. (Белгород, 18-19 окт. 2012 г.) / Е.С. Бугаева, Р.Г. Асадуллаев.– Белгород: МД «Белгород», 2012. – 400 с.
Bugaeva, E.S. Sovremennye problemy i perspektivy upravlenija razvitiem innovacionnoj jekonomiki: materialy Mezhdunar. Nauch.-prakt.konf. (Belgorod, 18-19 okt. 2012 g.) / E.S. Bugaeva, R.G. Asadullaev.– Belgorod: MD «Belgorod», 2012. – 400p.
3. Голдовский, И. Безопасность платежей в Интернете /И. Голдовский. – СПб.: Питер,2001. – 240 с.
Goldovskij, I. Bezopasnost' platezhej v Internetе / I. Goldovskij. - SPb.: Piter., 2001. – 240 p.
4. Климченя, Л.С. Электронная коммерция: Учеб. пособие / Л.С. Климченя. - Мн.: Выш. шк., 2004. – 191 с.
Klimchenja, L.S. Jelektronnaja kommersija: Ucheb. posobie / L.S. Klimchenja.- Mn.: Vysh. shk., 2004. – 191 p.
5. Кобелев, О.А. Электронная коммерция: учеб. пособие / Под ред. С.В. Пирогова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательско- торговая корпорация «Дашков и К», 2008. – 684 с.
Kobelev, O.A. Jelektronnaja kommersija: Ucheb. posobie / Pod red. S.V. Pirogova. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Izdatel'sko- trgovaja korporacija «Dashkov i K», 2008. – 684 p.
6. Козье, Д. Электронная коммерция. Пер. с англ. / Д. Козье. - М.: Издательско-торговый дом «Русская редакция», 1999. – 288 с.



- Koz'e, D. Jelektronnaja kommercija. Per. s angl. / D. Koz'e. - M.: Izdatel'sko-torgovuj dom «Russkaja redakcija», 1999. – 288 p.
7. Хэйг, М. Основы электронного бизнеса. Пер. с англ. С. Косихина / М. Хэйг. - М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. - 208 с.
- Hjejg, M. Osnovy jelektronnogo biznesa. Per. s angl. S. Kosihina /M. Hjejg. - M.: FAIR-PRESS, 2002. – 208 p.
8. Пирогов, С.В. Электронная коммерция: Учеб. пособие / Под ред. С.В. Пирогова. - М.: Издательский Дом «Социальные отношения», Изд-во «Перспектива», 2003. - 428 с.
- Pirogov, S.V. Jelektronnaja kommercija: Uceb. posobie / Pod red. S.V. Pirogova. - M.: Izdatel'skij Dom «Social'nye otnoshenija», Izd-vo «Perspektiva», 2003. – 428 p.
9. Резниченко, О.С. Исследование рынка ERP–систем для комплексной автоматизации предприятий с разнонаправленной деятельностью. Современные научные исследования: гипотезы, концепции, технологии: сборник статей участников Все-российской заочной научно-практической конференции (г. Челябинск, 22–24 апреля 2013 г.) / О.С. Резниченко. – Челябинск: изд. центр ЮУрГУ, 2013. С. 127-131.
- Reznichenko, O.S. Issledovanie rynka ERP–sistem dlja kompleksnoj avtomatizacii predprijatij s raznonapravlennoj dejatel'nost'ju. Sovremennye nauchnye issledovanija: gipotezy, koncepcii, tehnologii: sbornik statej uchastnikov Vse-rossijskoj zaочноj nauchno-praktičeskoj konferencii (g. Cheljabinsk, 22–24 apreļa 2013 g.) / O.S. Reznichenko. – Cheljabinsk: izd. centr JuUrGU, 2013. p.127-131.
10. Саммер, А. E-COMMERCE. Электронная коммерция. Маркетинг: Пятая волна / А. Саммер, Гр. Дункан. - М., 1999. – 152 с.
- Sammer, A. E-COMMERCE. Jelektronnaja kommercija. Marketing: Pjataja volna / A. Sammer, Gr. Duncan. – M., 1999. – 152 p.
11. Смирнов, С.Н. Электронный бизнес / С.Н. Смирнов. - М.: ДМК Пресс; М.: Компания АйТи, 2003. – 240 с.
- Smirnov, S.N. Jelektronnyj biznes / S.N. Smirnov. - M.: DMK Press; M.: Kompanija AjTi, 2003. – 240 p.
12. Успенский, И. Энциклопедия Интернет-бизнеса / И. Успенский. - СПб.: Питер, 2001. – 61 с.
- Uspenskij, I. Jenciklopedija Internet-biznesa / I. Uspenskij. - SPb.: Piter, 2001. – 61 p.
13. Эймор, Д. Электронный бизнес. Эволюция и/или революция / Д. Эймор. - М.: Вильямс, 2001. – 320 с.
- Jejmor, D. Jelektronnyj biznes. Jevoljucija i/ili revoljucija / D. Jejmor. - M.: Vil'jams, 2001. – 320 p.
14. Gary, P. Electronic Commerce, Ninth Edition, Schneider, Ph.D., CPA. Printed in the United States of America, 2001. – 4с.
15. Сайт мировой Интернет-статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.internetworldstats.com>.
- Website world Internet statistics. URL: <http://www.internetworldstats.com>.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 004.932.2

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО МУЛЬТИИЗОБРАЖЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ С НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ METHOD OF FORMATION OF THE X-RAY MULTIIIMAGE OF THE PRODUCT OF MICROELECTRONICS WITH NON-UNIFORM STRUCTURE

М.С. Григоров, О.О. Басов
M.S. Grigorov, O.O. Basov

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, Россия, 302034, г. Орел, ул. Приборостроительная, 35
Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, 35 Priborostroitel'naja St, Orel, 302034, Russia

e-mail: oobasov@mail.ru

Аннотация. В работе приведен метод сегментации рентгеновских изображений изделий микроэлектроники с неоднородной структурой на основе разделения и слияния областей, отличающийся модификацией на случай формирования мультиизображения из сегментов требуемого качества.

Resume. The method of segmentation of x-ray images of products of microelectronics with heterogeneous structure based on splitting and merging of areas and differed in modification for multiimage formation from segments of required quality is presented in this work.

Ключевые слова: сегментация, рентгеновское изображение, изделие микроэлектроники, квадродерево, гистограмма яркости.

Keywords: segmentation, x-ray image, the product of microelectronics, quadradrive, the luminance histogram.

Введение

В задаче неразрушающего рентгеновского контроля (НРК) изделия микроэлектроники (ИМ) интерес представляет анализ рентгеновских изображений (РИ) с целью выявления определенных дефектов [5]. Особенностью процедуры НРК ИМ является то, что, как правило, не представляется возможным проанализировать дефекты всех функциональных узлов (элементов) ИМ на одном РИ. Причиной этому служит значительная неоднородность элементов ИМ и, как следствие, формирование их изображений с различным качеством. Разрешение данного противоречия может быть достигнуто за счет формирования мультиизображения ИМ путем объединения (слияния) отдельных областей различных сегментированных РИ одного ИМ требуемого качества.

Постановка задачи

Пусть при формировании рентгеновского мультиизображения осуществляется его восстановление на основе некоторой области

$$G^Q = \bigcup_{j=1}^Z \bigcup_{i=1}^{O_j} G_{ji}, \quad (1)$$

такой что:

а) G_{ji} является связной областью, $j = \overline{1...Z}$, $i = \overline{1...O_j}$, где Z – число РИ одного ИМ; O_j – число подобластей области G_j , соответствующей одному j -му РИ (в общем случае, O_j для разных РИ различно);

б) $G_{ji} \cap G_{jt} = \emptyset$ для $i, t = \overline{1...O_j}, i \neq t$;

в) $\bigcup_{i=1}^{O_j} G_{ji} = G_j$ для $j = \overline{1...Z}$;

г) $P(G_{ji}) = TRUE$, $j = \overline{1...Z}$, $i = \overline{1...O_j}$;

д) $P(G_{ji} \cup G_{jt}) = FALSE$ для любых двух смежных областей G_{ji} и G_{jt} j -го РИ.

Здесь \emptyset обозначает пустое множество, а P – некоторый логический предикат, определенный на точках множества G_{ji} :

$$P(G_{ji}) = \begin{cases} TRUE, \text{ если } G_{ji} = G_{ji}^O; \\ FALSE, \text{ если } G_{ji} \neq G_{ji}^O. \end{cases} \quad (2)$$

Условие (а) означает, что точки каждой области G_{ji} должны быть связными в некотором оговоренном смысле (например, они 4- или 8-связны [1]). Условие (б) указывает на то, что области одного (j -го) изображения не должны пересекаться. Условие (в) означает, что сегментация j -го изображения должна быть полной, т.е. каждый пиксел изображения G_j принадлежит какой-то области G_{ji} . Условие (г) относится к свойствам, которые должны соблюдаться для каждого пиксела из одной области G_{ji} каждого изображения, так, чтобы можно было сделать однозначный вывод о ее соответствии заданному значению показателя качества. Условие (д) означает, что принадлежащие области G_{ji} и G_{jt} одного (j -го) изображения различаются в смысле логического предиката P (2).

Тогда для автоматизации процесса обработки рентгеновских изображений изделий микроэлектроники с неоднородной структурой необходимо разработать метод их сегментации на подобласти G_{ji} , удовлетворяющие приведенным выше условиям (а)-(д), при минимальном числе РИ одного ИМ и минимальных затратах (временных, вычислительных) на сегментацию одного РИ.

Метод сегментации рентгеновских изображений изделий микроэлектроники с неоднородной структурой

Один из возможных подходов к сегментации G_j [1] состоит в том, чтобы последовательно разбивать эту область на все более и более мелкие квадратные подобласти G_{ji} , пока выполняется условие $P(G_{ji}) = TRUE$.

Процесс начинается со всей области изображения. Если $P(G_j) = FALSE$, то изображение делится на четверти вертикальной и горизонтальной прямыми, проходящими через середину. Если для какой-то четверти предикат P принимает значение $FALSE$, то она аналогичным образом делится на более мелкие четверти, и так далее. Такой метод разбиения удобно представлять в форме так называемого квадродерева, т.е. дерева, у которого вершины, не являющиеся листьями, имеют в точности четыре потомка. Корень дерева соответствует целому изображению, а каждая другая вершина – какой-то из его подобластей.

Если использовать только операцию разделения, то в окончательном разбиении изображения могут присутствовать соседние области, имеющие одинаковые свойства. Этот недостаток можно устранить, применяя наряду с разделением также операцию слияния. Для соблюдения условий (а)-(д) требуется, чтобы слиянию подвергались только соседние области, пикселы которых в совокупности удовлетворяют предикату P .

Возможны различные варианты реализации основной схемы разделения и слияния. Например, изображение вначале может разбиваться на множество блоков. Дальнейшее разделение проводится, как описано выше, но слияние допускается только внутри группы из четырех блоков, являющихся потомками в квадродере и удовлетворяющих предикату Р. Когда дальнейшее слияние такого вида оказывается невозможным, процедура заканчивается однократным слиянием областей, для которых $P(G_{ji} \cup G_{jt}) = TRUE$, при этом объединяемые области могут быть разных размеров. Главное достоинство такого подхода состоит в использовании одного и того же квадродерева для разделения и слияния на всех шагах, кроме заключительного шага слияния.

Рассмотренный подход можно обобщить на случай сегментации нескольких РИ ИМ с неоднородной структурой (рис. 1).

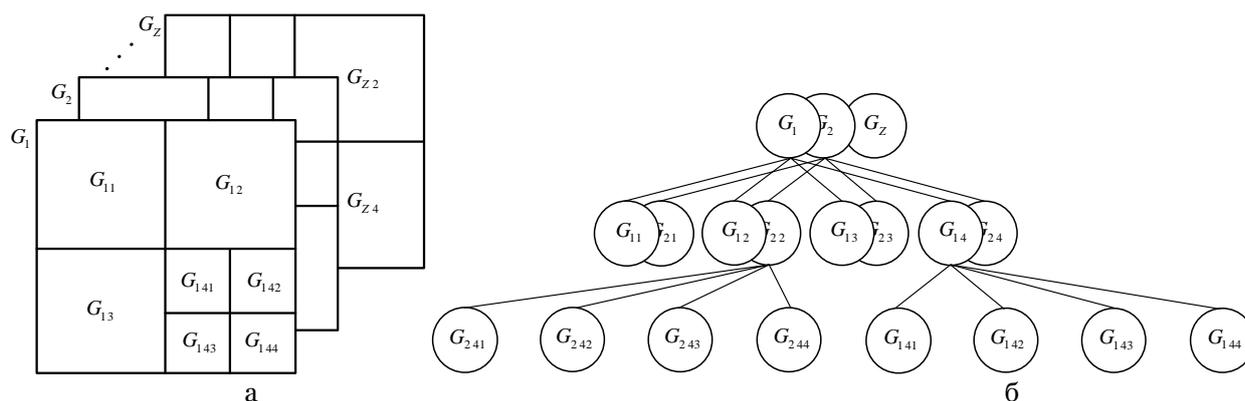


Рис. 1. Разделение и слияние областей:

а) принцип деления областей на части; б) соответствующее квадродерево

Fig. 1. Division and merge of areas:

a) principle of division of areas into parts; b) corresponding quadra-tree

Процессы разделения и слияния для первого РИ G_1 аналогичны описанным выше. Для каждого последующего РИ ($j > 1$) операция разделения осуществляется только для подобластей, для которых на предыдущих изображениях предикат Р принимал значение FALSE, а операция слияния – для «соседних» подобластей всех доступных для сегментации РИ, удовлетворяющих условиям (а)-(д). Соответствующая такому разбиению форма мульти-квадродерева представлена на рисунке 1 (б).

Достоинствами предлагаемого подхода к сегментации множества РИ одного ИМ являются:

- соответствие представления разделяемых областей изображений (в виде матриц с размерностью кратной степени числа 2) принципу получения РИ на основе строчных матричных детекторов;
- соответствие формы областей изображений структуре ИМ;
- использовании одного и того же квадродерева для разделения и слияния подобластей РИ;
- сокращение временных (вычислительных) затрат на сегментацию одного РИ за счет исключения из анализа (разделения, слияния) областей, для которых предикат Р имеет истинное значение на предыдущих РИ.

Основываясь на приведенных сведениях метод сегментации РИ ИМ можно представить в виде следующих шагов.

1. Получение первого ($j=1$) РИ ИМ.
2. Приведение размера РИ¹ к наименьшему объемлющему квадрату, сторона которого есть степень числа 2.
3. Разделение на четыре непересекающиеся подобласти (рис. 1, а) любой области $G_{1i}, i = 1 \dots O_j$, для которой $P(G_{1i}) = FALSE$.
4. Объединение в одну область любых двух соседних подобластей G_{1i} и G_{1t} , для которых $P(G_{1i} \cup G_{1t}) = TRUE; i, t = 1 \dots O_j$.

¹ Для обеспечения возможности разделения изображения вплоть до единичного размера.

5. При невозможности выполнения ни одной операции слияния или разделения при любых $i = \overline{1...O_j}$, выполнение следующего шага. Иначе – переход к шагу 3.
6. Получение следующего ($j = j + 1$) РИ.
7. Приведение размера РИ к наименьшему объемлющему квадрату, сторона которого есть степень числа 2.
8. Если $P(G_{gi}) = FALSE$ для всех имеющихся ($g = j, j - 1, \dots, 1$) РИ, то разделение области $G_{gi}, i = \overline{1...O_j}$ на четыре непересекающиеся подобласти.
9. Объединение в одну область любых двух соседних подобластей G_{gi} и G_{ht} , $g, h = \overline{1...j}; i, t = \overline{1...O_j}$ для которых $P(G_{gi} \cup G_{ht}) = TRUE$.
10. При невозможности выполнения ни одной операции слияния или разделения при любых $i = \overline{1...O_j}$, выполнение следующего шага. Иначе – переход к шагу 8.
11. Если итоговая область G^Q (1) не сформирована и $j < Z$, переход к шагу 6. Иначе – выполнение следующего шага.
12. Приведение размера области G^Q к исходному.
13. Формирование и вывод результирующего мультиизображения.

Результаты применения предложенного метода

Экспериментально установлено [2], что в качестве предиката P (2) при реализации разработанного метода сегментации РИ может быть использовано правило, основанное на сравнении сосредоточенности долей энергии РИ по подобластям пространственных частот [3, 4, 8, 9] с некоторым пороговым значением. Также в ходе исследований установлено, что для формирования области G^Q (1) необходимо получение 3-5 РИ одного ИМ. Результаты формирования G^Q на основе разработанного метода при $Z = 3$ представлены ниже (рис. 2).

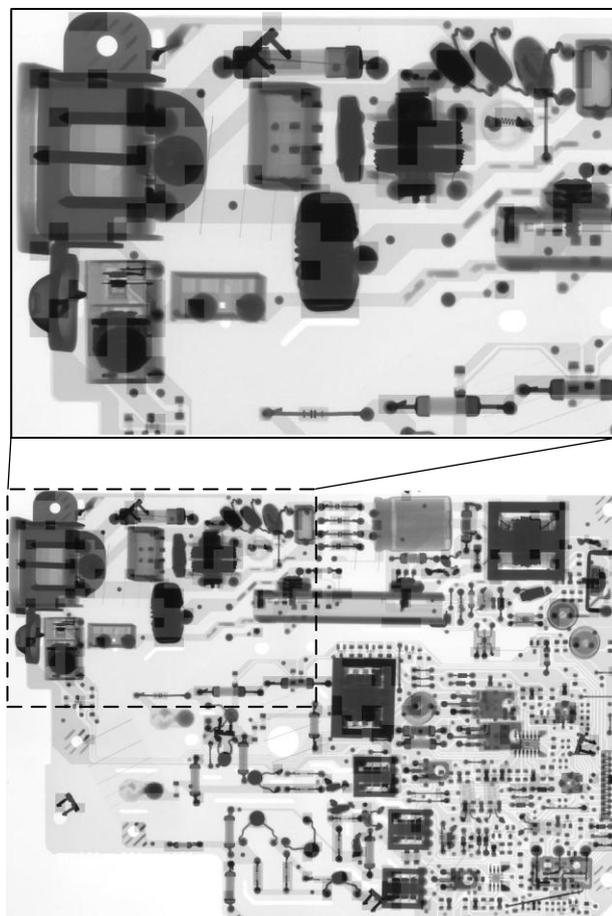


Рис. 2. Область G^Q (внизу) и ее увеличенный фрагмент (вверху)

Fig. 2. Area G^Q (below) and its increased fragment (above)

Для устранения краевых эффектов, неизбежно возникающих при объединении в одну область любых двух соседних подобластей G_{gi} и G_{ht} ($g, h = \overline{1...j}; i, t = \overline{1...O_j}$) различных РИ, в исследовании использовано выравнивание гистограмм.

Положительный эффект достигается с помощью преобразования значений пикселей (рис. 2) области G^o (1) таким образом, чтобы гистограмма яркостей пикселей результирующего мультиизображения (рис. 3) приблизительно соответствовала некоторой предопределенной гистограмме [6, 7]. В качестве таковой выбрана гистограмма $hist$, являющаяся усреднением локальных гистограмм отдельных областей G_{ji}^o РИ ($j = \overline{1...3}$).

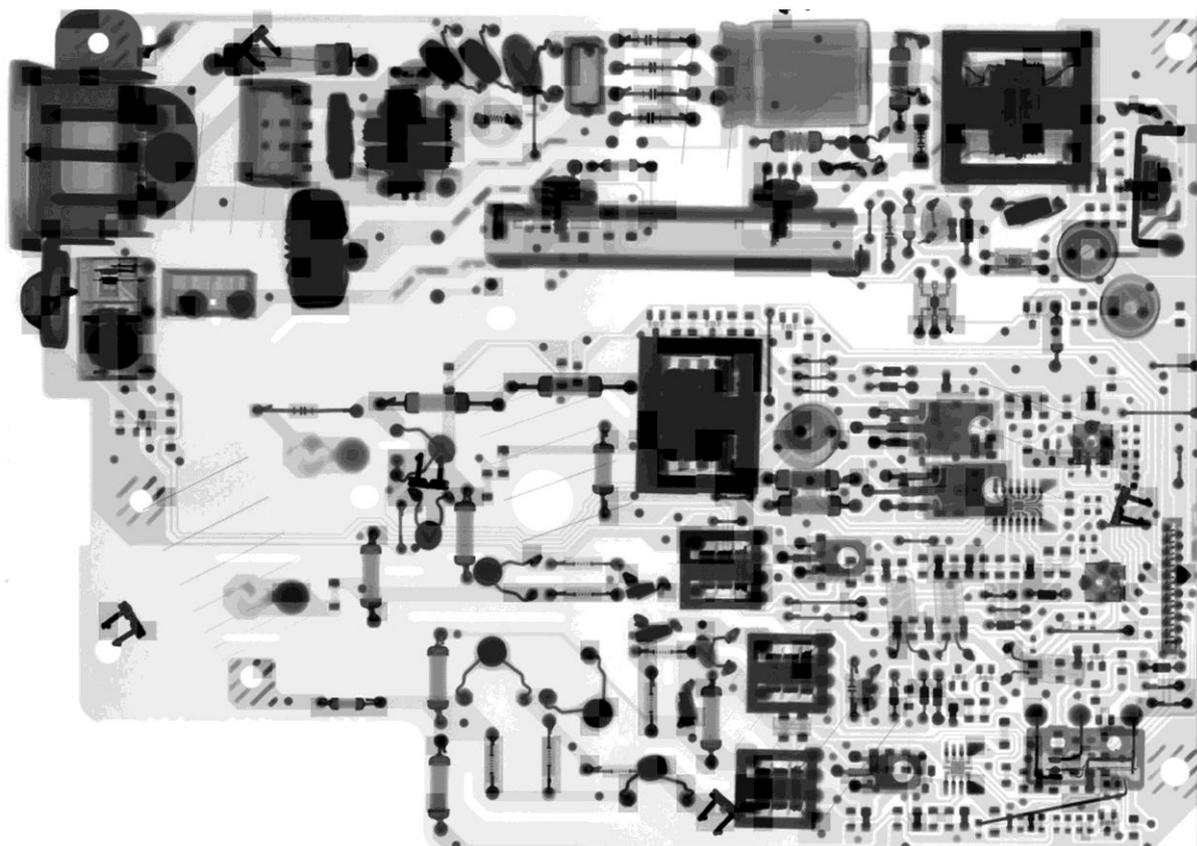


Рис. 3. Рентгеновское мультиизображение исследуемого ИМ
 Fig. 3. The x-ray multiimage of the studied microelectronics product

Выводы

Предложенный метод сегментации одного рентгеновского изображения на основе разделения и слияния областей модифицирован на случай формирования мультиизображения и позволяет соблюсти ограничения по числу изображений одного изделия микроэлектроники и минимуму затрат на сегментацию. Сформированное по результатам применения метода рентгеновское мультиизображение исследуемого ИМ после применения процедуры устранения краевых эффектов может быть подвергнуто анализу с целью выявления дефектов ИМ.

Список литературы References

1. Госалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
 Gosales, R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / R. Gonsales, R. Vuds. – М.: Tehnosfera, 2012. – 1104 s.
2. Григоров, М. С. Анализ распределения энергии рентгеновского изображения по частотным интервалам. / М. С. Григоров, О. О. Басов // Научно-технологические инновации: сб. докладов Юбилейной Международной науч.-практ. конф., посвященной 60-летию БГУ им. В. Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГУ, 2014. – Ч.6. – С. 160-165.



Grigorov, M. S. Analiz raspredelenija jenerгии rentgenovskogo izobrazhenija po chastotnym inter-valam / M. S. Grigorov, O. O. Basov // Naukoemkie tehnologii i innovacii: sb. dokladov Jubilejnoj Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashhennoj 60-letiju BGTU im. V. G. Shuhova. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2014. – Ch.6. – S. 160-165.

3. Жилияков, Е.Г. О субполосных свойствах изображений / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, А.С. Белов, Е.В. Болгова // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – №8(151). – вып.26/1. – С.175-182.

Zhilyakov, E.G. O subpolosnyh svojstvah izobrazhenij / E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomorets, A.S. Belov, E.V. Bolgova // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2013. – №8(151). – вып.26/1. – С.175-182.

4. Жилияков, Е.Г. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах / Е.Г. Жилияков, А.А. Черноморец, И.В. Лысенко // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2013. – вып. 4. – С.115-123.

Zhilyakov, E.G. Metod opredelenija tochnyh znachenij dolej jenerгии izobrazhenij v zadannyh cha-stotnyh intervalah / E.G. Zhilyakov, A.A. Chernomorets, I.V. Lysenko // Voprosy radiojelektroniki. Ser. RLT. – 2013. – вып. 4. – С.115-123.

5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. Под общ. ред. В.В. Ключева. Т. 1: В 2 кн. Кн. 2. Ф.Р. Соснин. Радиационный контроль. – 2-е изд., испр. - М.: Машиностроение, 2008. - 560 с.: ил.

Nerazrushajushhij kontrol': Spravochnik: V 8 t. Pod obshh. red. V.V. Kljueva. T. 1: V 2 kn. Kn. 2. F.R. Sosnin. Radiacionnyj kontrol'. – 2-e izd., ispr. M.: Mashinostroenie, 2008. 560 s.: il.

6. Павлидис, Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений / Т. Павлидис. – М.: Радио и связь, 1986.

Pavlidis, T. Algoritmy mashinnoj grafiki i obrabotki izobrazhenij / T. Pavlidis. – M.: Radio i svjaz', 1986.

7. Претт, У. Цифровая обработка изображений. Кн. 1.: Пер. с англ. / У. Претт. – М.: Мир, 1982. – 312 с.

Prett, U. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. Kn. 1.: Per. s angl. / U. Prett. – M.: Mir, 1982. – 312 s.

8. Черноморец, А.А. О частотной концентрации энергии изображений / А.А. Черноморец, В.А. Голощапова, И.В. Лысенко, Е.В. Болгова // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2011. – №1(96). – вып.17/1. – С.146-151.

Chernomorets, A.A. O chastotnoj koncentracii jenerгии izobrazhenij / A.A. Chernomorets, V.A. Goloshhapova, I.V. Lysenko, E.V. Bolgova // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2011. – №1(96). – вып.17/1. – С.146-151.

9. Черноморец, А.А. Метод анализа распределения энергий изображений по заданным частотным интервалам / А.А. Черноморец, О.Н. Иванов // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2010. – №19(90). – вып.16/1. – С.161-166.

Chernomorets, A.A. Metod analiza raspredelenija jenerгий izobrazhenij po zadannym chastotnym intervalam / A.A. Chernomorets, O.N. Ivanov // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2010. – №19(90). – вып.16/1. – С.161-166.

УДК 004.89

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ
ПОИСКА ПРЕДЕЛЬНЫХ ГРАНИЦ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ****APPLYING GLOBAL OPTIMIZATION METHODS
FOR SEARCHING OPEN PIT LIMITS****Д.В. Петров
D.V. Petrov**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia*

e-mail: petrov@bsu.edu.ru

Аннотация. В данной статье показана возможность применения различных методов глобальной оптимизации для решения задачи определения граничных контуров карьеров. В частности, рассматриваются метод плавающего конуса и генетический алгоритм, проводится их сравнительный анализ, представляются результаты вычислительных экспериментов.

Resume. This article shows the possibility of using different methods for solving global optimization problem of determining the boundary contours of quarries. In particular, the method of partial enumeration (floating cone method) and genetic algorithm, a comparative analysis is carried out, are the results of computational experiments.

Ключевые слова: моделирование карьеров рудных месторождений, алгоритм плавающего конуса, генетические алгоритмы.

Keywords: modeling quarries of ore deposits, floating cone algorithm, genetic cryptographic algorithm.

Введение

В процессе проектирования открытой разработки недр задача определения конечных контуров карьера является одним из ключевых этапов. Ее решение позволяет оценить предельные значения получаемой прибыли от разработки месторождения при текущей цене на полезные компоненты. Также она является основой для дальнейших этапов проектирования таких, как прокладка кратчайших путей съездов в горных выработках и определение оптимальных мест расположения отвалов пустых пород [1].

При нахождении границ карьера необходимо учитывать пространственное распределение компонентов полезных ископаемых и принятых устойчивых или технологически допустимых углов откосов бортов. Основой для выполнения расчетов по оптимизации извлечения запасов является цифровая блочная модель месторождения. Вполне закономерно, что чем более масштабной и точной является блочная (воксельная, ячеистая) модель рудного месторождения, тем более вычислительно сложным является процесс расчетов.

В данной статье показана возможность применения различных методов глобальной оптимизации для решения задачи определения граничных контуров карьеров. В частности, рассматриваются метод частичного перебора (метод плавающего конуса) и генетический алгоритм, проводится их сравнительный анализ.

Общая постановка задачи

Для решения задачи поиска предельных границ карьера с применением ЭВМ используют блочную модель месторождения полезных ископаемых. Каждый блок данной модели характеризуется числом (весом), показывающим чистую прибыль, получаемую в ходе его добычи, с учетом процентного содержания полезных элементов, себестоимости его выработки и рыночной стоимости полезных компонентов.

На рисунке 1 приведен пример поперечного сечения блочной модели, красной линией отмечена оптимальная форма карьера в данном сечении.

-4	-4	-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	-4	-4	-4	-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
		-4	-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
			-4	-4	-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
				-4	-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
					-4	-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
						-4	-4	8	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
							-4	0	12	12	8	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
								-4	12	12	12	0	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4

Рис. 1. Пример поперечного сечения блочной модели месторождения

Fig. 1. An example of the cross section of the block model of the deposit

Желтые блоки с положительным значением веса – блоки, которые содержат полезные элементы и их выгодно добывать, серые блоки с отрицательным значением веса – пустая порода, добывая которую предприятие только тратит средства.

В этом случае задача поиска формы карьера сводится к нахождению конечного набора соседних блоков, сумма весов которых будет максимальна. При этом на множество таких блоков накладываются ограничения на максимально допустимые углы наклона бортов полученного карьера.

Метод плавающего конуса

В данном методе форма карьера представляется в виде совокупности конусов, направленных вершинами в глубину. Ограничение на наклон бортов карьера учитывается при построении конуса.

Общий алгоритм поиска предельной формы карьера методом плавающего конуса включает следующие шаги:

- Построить конус в некоторой точке месторождения, так чтобы сумма весов блоков, которые в него входят была положительна
- Проверить, увеличит ли данный конус общую сумму блоков карьера, если его добавить к ранее найденным, если да – включить его в карьер

Легко видеть, что в пределе количество конусов, которое может быть построено в модели размером $I \times J \times K$ блоков будет стремиться к числу

$$N = (I * J * K) Q,$$

где Q – количество конусов, которое может быть построено в одной точке месторождения (зависит от значения предельно допустимого угла наклона в данной точке). Отсюда следует, что предельное количество вариантов объединения различных конусов в такой модели стремится к числу:

$$P = \sum_{i=1}^N C_i^{N+1} \quad (1)$$

где C – число сочетаний

Такое количество вариантов даже для моделей небольших размерностей исключает возможность полного перебора. Поэтому на практике используются различные подходы частичного перебора. Например, количество вариантов сокращается путем исключения вложенных конусов, или ограничения области поиска местами наибольшего скопления блоков с максимальными весами.

Преимущество данного метода состоит в том, что он очень прост для понимания и реализации. Однако, с увеличением размера обрабатываемой модели время вычислений значительно увеличивается, кроме того, в случае применения его для оптимизации границ карьеров месторождений с беспорядочным распределением полезного материала данный алгоритм показывает не очень хорошие результаты, однако его модификации применяются во многих программных пакетах для моделирования месторождений [2, 3, 10].

Генетический алгоритм

Генетические алгоритмы – один из эволюционных методов решения задач оптимизации и глобального поиска. Мутация и естественный отбор – два движущих фактора эволюции в живой природе успешно моделируются и показывают хорошие результаты в области решения технических задач оптимизации.

Суть генетического алгоритма заключается в кодировании каждого решения поставленной задачи его генотипом $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$, где $g_i, i \in [1, n]$ значение конкретного гена. При этом проводится аналогия между решением и особью, живым организмом. Выбрав исходную



популяцию как конечное множество генотипов особей $P = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$, и последовательно применяя к ним генетические операторы – отбор, мутацию и скрещивание можно добиться улучшения (оптимизации) значения целевой функции [4].

Генетический алгоритм для поиска предельных границ рудных месторождений подробно описан в работах [5, 6]. Поэтому здесь рассматривается только его основные принципы.

Для реализации генетического алгоритма, в первую очередь необходимо разработать формат представления хромосом. В контексте задачи нахождения границ карьера можно предложить следующее решение: форма любого допустимого (с учетом углов наклона) карьера представляется с помощью массива целых чисел. Каждый элемент такого массива показывает глубину карьера в текущем столбце трехмерной модели месторождения.

Пусть имеется трехмерная блочная модель месторождения $P_{I \times J \times K}$, каждый элемент которой характеризуется числом (весом), показывающим чистую прибыль, получаемую в ходе его добычи, с учетом процентного содержания полезных элементов, себестоимости его выработки и рыночной стоимости полезных компонентов (2).

$$p_{ijk}, i \in [0, I], j \in [0, J], k \in [0, K], \tag{2}$$

Тогда ее можно охарактеризовать вектором $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, где $n = I * J$, в котором значение глубины столбца с координатами (i, j) , помещается в позицию x_q , где $q = i * I + j$.

Этот массив является хромосомой, т.к. он полностью характеризует один индивид – одну конкретную форму карьера. Путем итеративного применения генетических операторов к набору таких индивидов (популяции) находится оптимальная форма поверхности карьера.

В качестве целевой функции для оценки качества формы карьера используется функция (3):

$$f(X) = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \sum_{k=0}^K p_{ijk}, k \leq x_q, q = i * I + j \tag{3}$$

Остановка работы алгоритма происходит, когда его выполнение перестает приводить к улучшению максимального значения функции приспособленности в популяции. Наступление этого момента определяется проверкой условия (4):

$$|\max_{i=1, N}(f(X_i^k)) - \max_{i=1, N}(f(X_i^{k-1}))| < \varepsilon, \tag{4}$$

где N – размер популяции,

k – номер итерации алгоритма.

Предложенный алгоритм за конечное число шагов находит предельную форму границ карьера.

Сравнение качества работы алгоритмов на разных исходных данных

Описанные в статье алгоритмы тестировались на нескольких блочных моделях месторождений с различными типами распределения полезных компонентов. Модель со случайным равномерным распределением генерировалась специально для тестов. Модель с ярко выраженным рудным телом создана на основе результатов моделирования и подсчета запасов Жайремского месторождения в Казахстане, опубликованных в работах [8, 9].

Для каждого алгоритма проводилась серия тестов, при которых фиксировался максимальный объем полученной прибыли, по результатам была построена таблица.

Таблица
Table

Сравнение качества работы алгоритмов на разных исходных данных
Compare the quality of the algorithms on different source data

Модель	Плавающий конус	Генетический алгоритм
Модель со случайным распределением	2001251390 94%	2122436327 100%
Модель с ярко выраженным рудным телом	795695 83%	954009 100%

Из полученных данных можно сделать вывод, что алгоритм глобального поиска незначительно отстает по качеству от генетического алгоритма, однако, дает приемлемый результат на моделях, приближенных к реальным.

На рисунке 2 приведены результаты визуализации полученных данных для модели со случайным распределением полезных компонентов. Изображения построены с помощью пакета Matlab.

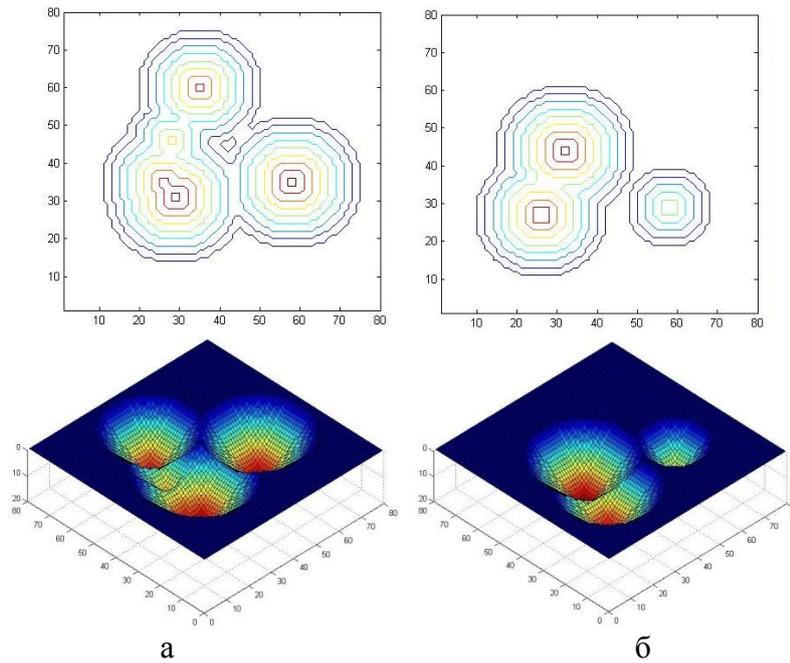


Рис. 2. Изображения карьеров, полученных в результате работы (а) алгоритма плавающего конуса и (б) генетического алгоритма
Fig. 2. Images of pits obtained as a result of (a) the algorithm of the floating cone and (b) a genetic algorithm

На рисунке 3 приведен результат визуализации полученных данных для модели с ярко выраженным рудным телом.

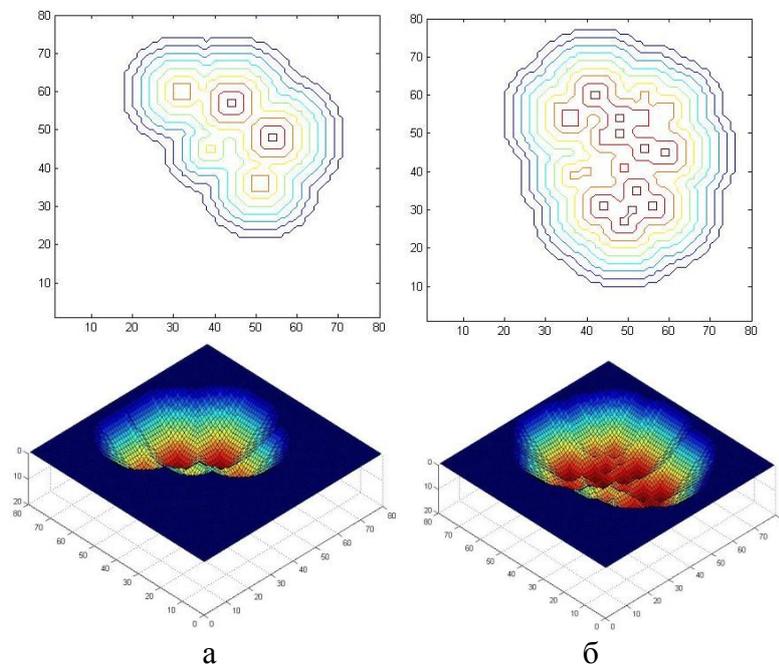


Рис. 3. Изображения карьеров, полученных в результате работы (а) алгоритма плавающего конуса и (б) генетического алгоритма
Fig. 3. Images of pits obtained as a result of (a) the algorithm of the floating cone and (b) a genetic algorithm

По результатам вычислительных экспериментов можно сделать вывод, что генетический алгоритм поиска предельных границ карьеров работает эффективнее, чем алгоритм глобального поиска.

Заключение

В данной статье была рассмотрена различные методы глобальной оптимизации для решения задачи определения граничных контуров карьеров. Приведено описание алгоритма плавающего конуса и генетического алгоритма поиска предельных границ. По результатам вычислительных экспериментов можно сделать вывод, что генетический алгоритм поиска предельных границ карьеров работает эффективнее, чем алгоритм глобального поиска.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 15-47-03029 p_центр_a)

Список литературы References

1. Lerchs H., Grossman I.F. Optimum design of open pit mines/H. Lerchs // Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. 1965. - Vol.58. - № 633. - P. 47 – 56.
1. Lerchs H., Grossman I.F. Optimum design of open pit mines/H. Lerchs // Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. 1965. - Vol.58. - № 633. - P. 47 – 56.
2. L. Caccetta, L.M. Giannini «An application of discrete mathematics in the design of an open pit mine», Discrete Applied Mathematics, Volume 21, Issue 1, September 1988, Pages 1–19.
- L. Caccetta, L.M. Giannini «An application of discrete mathematics in the design of an open pit mine», Discrete Applied Mathematics, Volume 21, Issue 1, September 1988, Pages 1–19
3. Ramazan S., Dagdelen K., Johnson T.B., 2005 – Fundamental tree algorithm in optimizing production scheduling for open pit mine design. Trans IMM (Section A: Mining Industry) vol. 114, A45–A54.
- Ramazan S., Dagdelen K., Johnson T.B., 2005 – Fundamental tree algorithm in optimizing production scheduling for open pit mine design. Trans IMM (Section A: Mining Industry) vol. 114, A45–A54.
4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы, Горячая Линия Телеком, 2007.
- Rutkovskaja D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechet-kie sistemy, Gorjachaja Linija Telekom, 2007.
5. Петров Д.В., Михелев В.М. «Моделирование карьеров рудных месторождений на высокопроизводительных гибридных вычислительных системах», Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2014. Т. 3. № 3. с. 124-129.
- Petrov D.V., Mihelev V.M. «Modelirovanie kar'ero'v rudnyh mestorozhdenij na vysokoproizvoditel'nyh gibridnyh vychislitel'nyh sistemah», Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universi-teta. Serija: Vychislitel'naja matematika i informatika. 2014. T. 3. № 3. s. 124-129.
6. Михелев В.М., Васильев П.В., Петров Д.В. «Суперкомпьютеры, как средства моделирования граничных контуров карьеров рудных месторождений», Вопросы радиоэлектроники. Серия "Электронная вычислительная техника (ЭВТ)" Выпуск 1, Москва 2013., с. 5-10.
- Mihelev V.M., Vasil'ev P.V., Petrov D.V. «Superkomp'jutery, kak sredstva modelirovanija gra-nichnyh konturov kar'ero'v rudnyh mestorozhdenij», Voprosy radiojelektroniki. Serija "Jelektronnaja vychislitel'naja tehnik (JeVT)" Vypusk 1, Moskva 2013., s. 5-10.
7. Стронгин Р. Г., Гергель В. П., Гришагин В. А., Баркалов К. А. Параллельные вычисления в задачах глобальной оптимизации: Монография/ Предисл.: В. А. Садовничий. – М.: Издательство Московского университета, 2013. – 280 с., илл.
- Strongin R. G., Gergel' V. P., Grishagin V. A., Barkalov K. A. Parallelnye vychislenija v zadachah global'noj optimizacii: Monografija/ Predisl.: V. A. Sadovnichij. – M.: Izdatel'stvo Mo-skovskogo uni-versiteta, 2013. – 280 s., ill.
8. Селифонов С.Е. Агафонов В.А., Моргунова Т.В., Васильев П.В., Буянов Е.В. Компьютерная технология подсчета промышленных запасов рудных месторождений с использованием программы GEOBLOCK //Минеральные ресурсы Казахстана. 2000. т.12. №13. С.58-62.
- Selifonov S.E. Agafonov V.A., Morgunova T.V., Vasil'ev P.V., Bujanov E.V. Komp'juternaja tehnolo-gija podscheta promyshlennyh zapasov rudnyh mestorozhdenij s ispol'zovaniem programmy GEOBLOCK //Mineral'nye resursy Kazahstana. 2000. t.12. №13. S.58-62.
9. Васильев П.В., Буянов Е.В. О методике совместной работы программ MapInfo и Geoblock по оконтуриванию и подсчету запасов рудных месторождений //Информационный Бюллетень ГИС Ассоциации. 2000. №2. С.32-33.
- Vasil'ev P.V., Bujanov E.V. O metodike sovmestnoj raboty programm MapInfo i Geoblock po okon-turivaniju i podschetu zapasov rudnyh mestorozhdenij //Informacionnyj Bjulleten' GIS Associacii. 2000. №2. S.32-33.
10. Михелев В.М., Хачатрян В.Е., Петров Д.В., Кузнецов К.В. Принципы создания программного обеспечения информационной системы «Гермес-КНиТ» БелГУ Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. Т. 17. № 1-1 (96). С. 121-129.
- Mihelev V.M., Hachatryan V.E., Petrov D.V., Kuznecov K.V. Principy sozdanija programmno obes-pechenija informacionnoj sistemy «Germes-KNiT» BelGU Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudar-stvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2011. T. 17. № 1-1 (96). S. 121-129.

УДК 303.732.4

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ КРАТНЫХ КОРНЕЙ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ

HEURISTIC COMPUTER ALGORITHM OF CALCULATION OF MULTIPLE ROOTS OF NONLINEAR EQUATION

М.Ф. Тубольцев, С.И. Маторин, О.М. Тубольцева
M.F. Tuboltsev, S.I. Matorin, O.M. Tuboltseva

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

e-mail: tuboltsev@bsu.edu.ru, matorin@bsu.edu.ru

Аннотация. Процедуры расчёта параметров многофазных финансовых операций в задачах анализа и оптимизации приводят к необходимости вычисления корней характеристической функции кратности, которая на единицу меньше числа фаз.

В таких ситуациях классические математические методы расчёта корней нелинейных уравнений, основанные на методе Ньютона, реализованные на компьютере, недостаточно эффективны, поскольку расчёт корня требует раскрытия неопределённости и порождает плохо контролируемый вычислительный процесс. Это даёт основание к применению новых методов, учитывающих кратность корня.

Resume. Procedures of calculation of multiphase financial operations for the analysis and result optimization in the need for calculation of the roots of the characteristic function of multiplicity, which is one less than the number of phases.

In such situations, the classical mathematical methods for calculating the roots of nonlinear equations based on Newton's method, implemented on a computer, are not effective enough because the calculation of the root requires disclosure of uncertainties and creates poorly controlled computing process. This gives grounds to the use of new methods that take into account the multiplicity of the root.

Ключевые слова: уровень внутренней доходности финансовых операций, компьютерное моделирование, метод Ньютона, решение нелинейных уравнений.

Keywords: level of internal rate of return of financial transactions, computer modeling, Newton's method, the solution of nonlinear equations.

В настоящее время всё чаще возникает необходимость анализировать знакопеременные финансовые потоки CF (Cash Flow), в которых смена знака происходит не один раз, а – многократно [1]. Если для финансового потока $\{(x_i, t_i)\}_{i=1}^N$ определить характеристическую функцию по формуле

$$\chi(V) = NPV(\{(x_i, t_i)\}_{i=1}^N, t_1, V^{-1} - 1) = \sum_{i=1}^N x_i V^{t_i - t_1}, \quad (1)$$

то модель многофазной финансовой операции задаётся следующей системой уравнений [2], в которую входит характеристическая функция финансового потока и её производные по переменной V , вычисленные в некоторой фиксированной точке $V \in (0, 1)$:

$$\begin{cases} \chi(V) = 0, \\ \chi'(V) = 0, \\ \dots\dots\dots \\ \chi^{(m-1)}(V) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где число фаз операции равно $m+1$. Система уравнений (2) зависит от большого числа параметров, хотя явно указан только один параметр V (множитель дисконтирования). Система уравнений (2) позволяет определить m параметров, задав остальные произвольным образом. Поскольку все параметры x_i входят в уравнения системы (2) линейно, то их достаточно просто исключить из системы, сведя задачу к решению нелинейного уравнения от переменной V с корнем кратности m .



Выполнение условий системы уравнений (2) гарантирует существование на сегменте $[0, 1]$ единственного корня кратности m точке $V \in [0, 1]$, а других корней на сегменте $[0, 1]$ согласно теореме Декарта быть не может [3, с.109]. Поэтому сохраняется возможность традиционной трактовки параметра $r = V^{-1} - 1$, выражающего через корень системы уравнений (2), как уровня внутренней доходности финансового потока многофазной финансовой операции.

Проблематика вычисления корней нелинейного уравнения $f(x)=0$ хорошо изучена в теоретическом плане. Однако, основные методы решения нелинейных уравнений: метод деления отрезка пополам, метод Ньютона, а также их модификации не учитывают кратность корня и конечную точность компьютерных вычислений. Метод деления пополам в принципе не может быть применён для вычисления корней чётной кратности, поскольку в малой окрестности корня функция не меняет знак. Метод Ньютона, порождает вычислительный процесс по формуле:

$$x_n = x_c - \frac{f(x_c)}{f'(x_c)}, \quad (3)$$

где x_n (**n**ew) новое приближённое значение корня, а x_c (**c**urrent) – текущее. В математических рассуждениях, неявно предполагающих абсолютную точность вычислений, проблем не возникает и доказано, что метод обладает локальной сходимостью к корню любой кратности.

Однако при реализации вычислений на компьютере для корней кратности 2 и более возникают сложности, связанные с наличием в правой части формулы (3) неопределённости, поскольку $f'(x)$ стремится к нулю также как и функция $f(x)$. В результате, процесс вычислений по методу Ньютона становится плохо обусловленным. В статье «О вычислении простых и кратных корней нелинейного уравнения» 2008 года известный специалист по численным методам Н.Н.Калиткин предложил модификацию метода Ньютона [4], на основе формулы

$$x_{s+1} = x_s - \tau_s \varphi(x_s), \quad \varphi(x) = f(x) / f'(x), \quad 0 < \tau_s \leq 1. \quad (4)$$

Отмечается, что предложенный метод вычислений превосходит ряд известных стандартных программ (FSOLVE и FZERO пакета MATLAB 6.5, SOLVE пакета MAPLE). Модифицированный метод Ньютона является далеко не тривиальным и требует «ручного» управления со стороны специалиста, осуществляющего расчёт. Такой подход к задачам анализа финансовых операций не эффективен, поскольку:

- требует от пользователя, занимающегося финансовым анализом очень высокого уровня теоретической подготовки в области численных методов;
- метод решения сложен для реализации на компьютере.

Понятна необходимость разработки простого компьютерного алгоритма решения уравнения $f(x)=0$, который бы учитывал априорно известную кратность корня, определяемую числом фаз финансовой операции.

Частный случай задачи вычисления кратных корней нелинейного уравнения рассматривался ранее [5], где предлагается организовать вычислительный процесс для определения корня кратности два по формуле:

$$x_n = x_c \mp \sqrt{\frac{2f(x_c)}{f''(x_c)}}, \quad (5)$$

обозначения те же, что в формуле (3). Знак «-» берётся в том случае, если начальное приближение больше корня, а знак «+» - в противоположном случае. В некоторых случаях это обстоятельство может осложнить применение метода, но в контексте финансовых расчётов всегда можно начинать с $V=1$, поскольку $V \in [0, 1]$ и использовать в формуле (5) знак «-». По сравнению с методом Ньютона характеристики эвристического метода лучше по точности определения корня более чем на порядок, а по количеству шагов итерационного процесса – в 3-5 раз.

Базовое отличие от метода Ньютона в том, что не возникает никакой неопределённости при приближении к корню, поскольку знаменатель в формуле (5) не стремится к нулю. При этом в формуле (5) явно учтено, что кратность корня в точности равна 2. Реализуя идею учёта кратности корня, можно предложить следующий метод вычисления корней известной кратности m .

Пусть функция $f(x)$ имеет в точке x_0 корень кратности m . Разлагая функцию по формуле Тэйлора с остаточным членом в форме Лагранжа, получаем:

$$\begin{aligned} f(x) &= \sum_{k=0}^{m-1} \frac{f^{(k)}(x_0)}{k!} (x-x_0)^k + \frac{f^{(m)}(c)}{m!} (x-x_0)^m = \\ &= \frac{f^{(m)}(c)}{m!} (x-x_0)^m, \end{aligned} \quad (6)$$

где $c \in [x_0, x]$. Тогда, полагая $x_0=x_n$, $x=x_c$, $c=x_c$, получаем следующий итерационный процесс:

$$x_n = \begin{cases} x_c - \sqrt[m]{\frac{m! f(x_c)}{f^{(m)}(x_c)}}, & m - \text{нечётное}, \\ x_c \mp \sqrt[m]{\left| \frac{m! f(x_c)}{f^{(m)}(x_c)} \right|}, & m - \text{чётное}. \end{cases} \quad (7)$$

В случае чётного m знак выбирается так же, как при $m=2$.

Поскольку не дано строгого математического обоснования формулы (7) и сходимости порождаемого ею итерационного процесса, метод расчёта следует считать эвристическим.

Проведём сравнение вычислительных процессов, использующих формулы (3) и (7) на примере простейшей функции, имеющей корень кратности m : $f(x)=x^m$. При подстановке в формулу (3) получаем:

$$x_n = x_c - \frac{f(x_c)}{f'(x_c)} = x_c - \frac{x_c^m}{m x_c^{m-1}} = x_c \frac{m-1}{m}. \quad (8)$$

Формула (8) даёт линейную (как и положено по теории для кратных корней) скорость сходимости метода Ньютона. Подстановка в формулу (7) даёт:

$$x_n = x_c - \sqrt[m]{\frac{m! f(x_c)}{f^{(m)}(x_c)}} = x_c - \sqrt[m]{\frac{m! x_c^m}{m!}} = x_c - x_c = 0. \quad (9)$$

Формула (8) порождает бесконечный сходящийся процесс, а формула (9) в данном конкретном примере даёт правильный ответ за 1 шаг. Следует обратить внимание на то, что итерационный вычислительный процесс (8), порождая геометрическую прогрессию, имеет знаменатель $q=(m-1)/m$, который при большой кратности корня близок к 1, поэтому для вычисления корня с большой точностью может понадобиться значительное число итераций.

Рассмотренный выше пример позволяет надеяться, что реализованный на компьютере итерационный процесс вычисления кратных корней, использующий формулу (7), окажется эффективнее метода Ньютона. Более высокая точность вычислений достигается за счёт того, что явный учёт кратности искомого корня нелинейного уравнения, устраняет неопределённость в методе Ньютона, возникающую вследствие стремления знаменателя к нулю. При подходе к вычислениям на основе формулы Тэйлора, знаменатель в формуле (7) не стремится к нулю, поскольку порядок производной в каждом конкретном случае выбирается должным образом: он равен номеру первой отличной от нуля производной. Расчёты проведём для стандартной функции, имеющей корень $x_0=0$ кратности m [4, с.60]:

$$f(x) = e^x - \sum_{k=0}^{m-1} \frac{x^k}{k!}. \quad (10)$$

На рис.1 приведён пример расчёта корня кратности 3 для трансцендентной целой функции $f(x) = \exp(x) - 1 - x - x^2/2$.

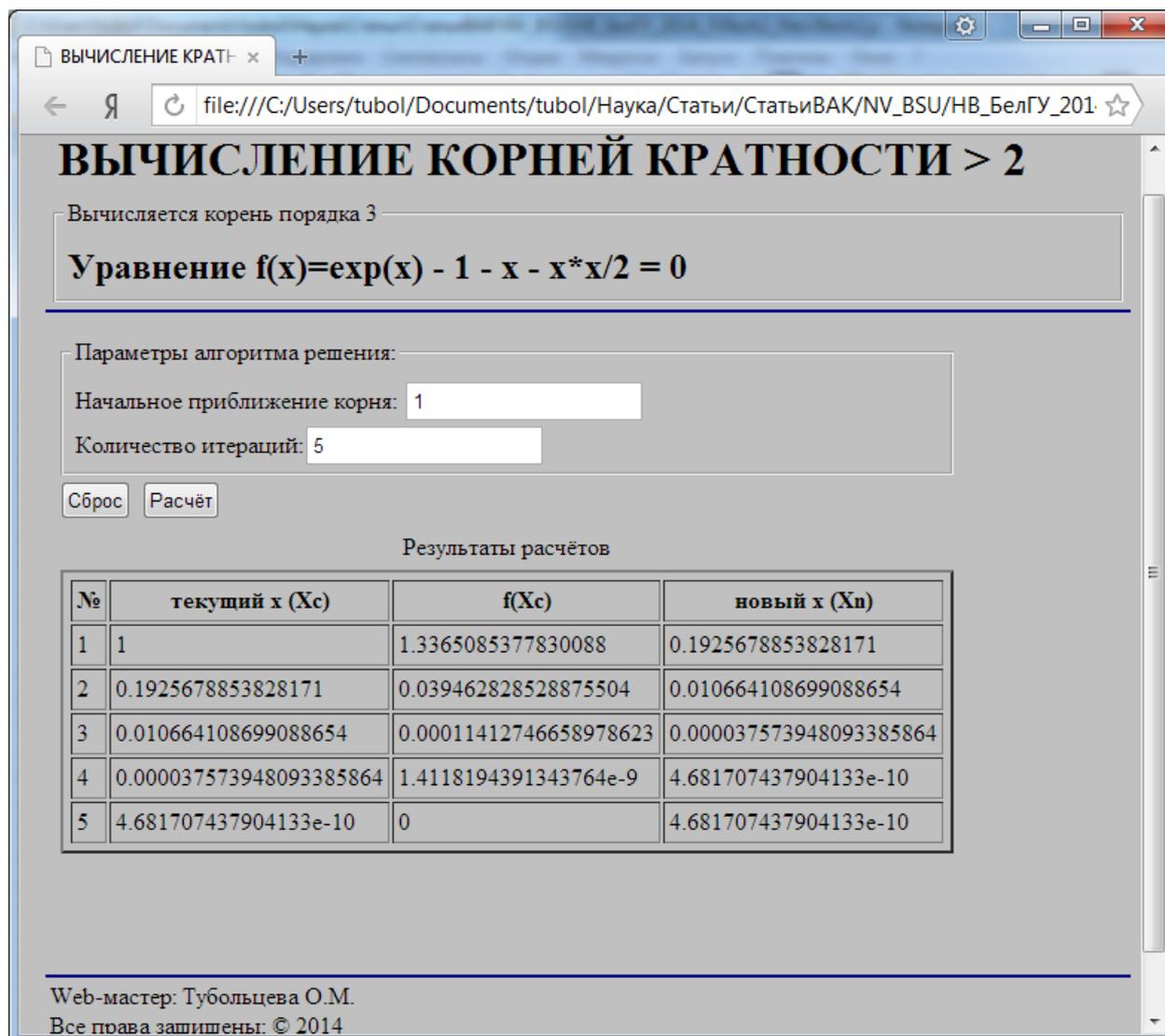


Рис. 1. Результаты расчётов корня кратности 3 функции $f(x) = \exp(x) - 1 - x - x^2/2$

Fig. 1. The results of calculations of the root of multiplicity 3 features $f(x) = \exp(x) - 1 - x - x^2/2$

Предлагаемый эвристический метод дал результат за 4 итерации. Дальнейшие итерации не имеют смысла ввиду того, что значение функции равно машинному нулю (при вычислениях произошла потеря точности) и вычисления по формуле (7) стабилизируются.

На рис.2 приведён пример расчёта корня кратности 3 для трансцендентной целой функции $f(x) = \exp(x) - 1 - x - x^2/2$ методом Ньютона. Ввиду того, что число итераций ограничено значением 120 на рис.2 показана информация о заключительных итерациях.

Сравнительный анализ протоколов вычислений, приведённых на рис.1 и рис.2, показывает, что на расчёт корня эвристический алгоритм потребовал всего 5 итераций, в то время как метод Ньютона не смог завершить работу за 120 итераций. При проведении вычислений корня уравнения $f(x) = 0$ на компьютере естественным моментом остановки алгоритма следует считать момент потери точности при вычислении функции, т.е. момент стабилизации последовательности приближённых значений корня. При этом, эвристический алгоритм дал приближённое значение корня (истинное значение корня равно нулю) $x = 4.681707437904133e-10$, а алгоритм Ньютона вообще не стабилизировался.

102	0.00030170701930400	4.377008030230209e-12	0.00020114001256325294
103	0.00020114001256325294	1.3564161341435517e-12	0.0001340903067836778
104	0.0001340903067836778	4.0182623732600244e-13	0.00008939580437696175
105	0.00008939580437696175	1.1898928613490528e-13	0.0000596181387273861
106	0.0000596181387273861	3.5339782455071496e-14	0.00003973301009103931
107	0.00003973301009103931	1.0457203024379859e-14	0.000026485421056960417
108	0.000026485421056960417	3.142874760213718e-15	0.000017524773081676173
109	0.000017524773081676173	9.092902983910245e-16	0.000011603362506514041
110	0.000011603362506514041	3.434910093944982e-16	0.000006500951567261683
111	0.000006500951567261683	-6.064699871840282e-17	0.000009370983273508203
112	0.000009370983273508203	1.7656416193968185e-16	0.000005349738761104782
113	0.000005349738761104782	2.5099902017820576e-17	0.0000035957124245823643
114	0.0000035957124245823643	-7.400665352328907e-17	0.000015043876167117526
115	0.000015043876167117526	5.014244084183009e-16	0.000010612750750807756
116	0.000010612750750807756	2.2109887522985493e-16	0.000006686673011896326
117	0.000006686673011896326	1.5806958285714681e-16	-3.839073058590273e-7
118	-3.839073058590273e-7	5.1162944387940267e-17	-0.0006941792106981912
119	-0.0006941792106981912	-5.5742714742680917e-11	-0.0004627727970664474
120	-0.0004627727970664474	-1.651587110359239e-11	-0.0003085094227428307

Web-мастер: Тубольцева О.М.

Рис. 2. Результаты расчётов корня кратности 2 функции $f(x) = \exp(x) - 1 - x - x^2/2$ методом Ньютона

Fig. 2. The results of calculations of the root of multiplicity 2 $f(x) = \exp(x) - 1 - x - x^2/2$ function by Newton

Анализ протокола вычислений метода Ньютона показывает явную неустойчивость расчётов: в итерации с номером 117 при значении $x = 0,000006686673011896326$ значение функции составляет $f(x) = 1,5806958285714681e-16$. В следующей итерации при $x = -3,839073058590273e-7$ значение функции составляет $f(x) = 5,1162944387940267e-17$, т.е. точность вычисления и корня и функции повысилась. Но в следующей итерации $x = 0,0006941792106981912$, а $f(x) = 5,5742714742680917e-11$. Таким образом, точность вычисления и корня и функции понизилась (на 3 и 6 порядков соответственно), что свидетельствует о нестабильности вычислительного процесса. Можно сказать, что сходимость последовательности вычислений вообще отсутствует.

Можно, подводя итог, отметить, что проведённые многочисленные расчёты на компьютере показали хорошую сходимость эвристического метода, в том случае когда алгоритм согласован с кратностью корня. Если же параметр алгоритма m больше или меньше истинной кратности корня, то процесс вычислений является неустойчивым. Метод Ньютона при кратности корня больше 2 всегда порождал неустойчивый вычислительный процесс при приближении к значению корня менее чем на 10^{-5} .

Исследования поддержаны грантом РФФИ 14-07-00149

Список литературы
References

1. Тубольцев М.Ф., Маторин С.И., Тубольцева О.М. Системный подход к построению комбинированных схем ипотечного кредитования // Труды ИСА РАН, том 62, выпуск 1, 2012. – стр. 91-100.
Tubol'cev M.F., Matorin S.I., Tubol'ceva O.M. Sistemnyj podhod k postroeniju kombinirovan-nyh shem ipotechnogo kreditovaniya // Trudy ISA RAN, tom 62, vypusk 1, 2012. – str. 91-100.
2. Тубольцев М.Ф., Маторин С.И., Тубольцева О.М. Управление многофазовыми финансовыми потоками на основе математического моделирования финансовых операций // Научные ведомости Белгородского государственного университета, серия «История, Политология, Экономика, Информатика», №1 (172) 2014, выпуск 29/1.- Белгород: Изд-во НИУ БелГУ, 2014.- стр.135-141.
Tubol'cev M.F., Matorin S.I., Tubol'ceva O.M. Upravlenie mnogofazovymi finansovymi potokami na osnove matematicheskogo modelirovaniya finansovyh operacij // Nauchnye vedomosti Belgorod-skogo gosudarstvennogo universiteta, serija «Istorija, Politologija, Jekonomika, Informatika», №1 (172) 2014, vypusk 29/1.- Belgorod: Izd-vo NIU BelGU, 2014.- str.135-141.
3. Винберг Э.Б. Курс алгебры. – М.: Факториал пресс, 2001. – 544 с.
Vinberg Je.V. Kurs algebry. – M.: Faktorial press, 2001. – 544 s.
4. Н.Н.Калиткин, И.П.Пошивайло. О вычислении простых и кратных корней нелинейного уравнения // Матем. моделирование, 2008, т. 20, №7, с. 57 – 64.
N.N.Kalitkin, I.P.Poshivajlo. O vychislenii prostyh i kratnyh kornej nelinejnogo uravnenija // Matem. modelirovanie, 2008, t. 20, №7, s. 57 – 64.
5. Тубольцев М.Ф., Маторин С.И., Тубольцева О.М. Компьютерный метод вычисления корней нелинейного уравнения кратности два // Научные ведомости Белгородского государственного университета, серия «Экономика, Информатика», №1 (198) 2015, выпуск 33/1.- Белгород: Изд-во НИУ БелГУ, 2015.- стр.79-84.
Tubol'cev M.F., Matorin S.I., Tubol'ceva O.M. Komp'juternyj metod vychislenija kornej neli-nejnogo uravnenija kratnosti dva // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta, serija «Jekonomika, Informatika», №1 (198) 2015, vypusk 33/1.- Belgorod: Izd-vo NIU BelGU, 2015.- str.79-84.



УДК 004.93:519.2

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

THE NEW CONCEPT OF THE SOFTWARE OF STATISTICAL INFORMATION PROCESSING ON THE BASIS OF PREDICTIVE FUNCTION OF PROBABILITY THEORY

В.В. Савченко
V.V. Savchenko

*Нижегородский государственный лингвистический университет, Россия, 603155, Нижний Новгород, ул. Минина, 31-а
Nizhny Novgorod state linguistic university, 31-a Minin St, Nizhny Novgorod, 603155, Russia*

e-mail: svv@lunn.ru

Аннотация. На основе прогностической функции теории вероятностей предложена новая концепция учебного курса в расчете на самую широкую категорию пользователей современного программного обеспечения статистической обработки информации, в том числе, в области социально-экономических и гуманитарных исследований. В статье дан анализ недостатков традиционного подхода к изучению теории вероятностей и определены уточненные понятия ее предмета, цели и задач. При этом особое внимание уделено прикладному значению статистических методов.

Resume. On the basis of predictive function of probability theory the new concept of a training course counting on the broadest category of users of the modern software of statistical information processing, including, in the field of social and economic and humanitarian researches is offered. In article the analysis of shortcomings of traditional approach to studying of probability theory is given and the specified concepts of its subject, the purpose and tasks are defined. Thus the special attention is paid to applied value of statistical methods.

Ключевые слова: статистическая обработка информации, теоретико-вероятностный подход, прогностическая функция теории вероятностей.

Keywords: statistical information processing, probability-theoretic approach, predictive function of probability theory.

В связи с повсеместным распространением информационных технологий в мире все шире проникают в самые разные сферы человеческой деятельности математические методы обработки информации и, прежде всего, статистические методы, в том числе в области социально-экономического и гуманитарного знания. В этой связи на практике явно обозначился определенный разрыв между потребностями исследователей в универсальном математическом аппарате, с одной стороны, и их ограниченными, часто интуитивными представлениями о его возможностях и методике применения, с другой. И этим сильно ограничивается эффективность современного программного обеспечения. Для преодоления указанного противоречия должны быть внесены коррективы в традиционную концепцию, а также в структуру учебного курса современной теории вероятностей (ТВ), усилив роль физического подхода ко всем ключевым понятиям и определениям. Решению данной задачи и посвящена настоящая статья.

В Большой советской энциклопедии ([1], см. по ссылке <http://www.big-soviet.ru/99/14680/%D0%92%D0%B5%D1%80%D0%BE%D1%8F%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C>) «вероятность» определяется как «характеристика степени объективной возможности определённого события в будущем». И там же уточняется: «окончательное познавательное значение для ТВ ... имеют лишь вероятности со значениями в непосредственной близости к единице». БСЭ вторит автор современного учебного пособия: «Цель ТВ – предсказать, появится ли изучаемое событие при осуществлении некоторого наперед заданного комплекса факторов (явлений-причин)» [2, с.12]. Правда, чуть ниже он же утверждает и прямо противоположное: «предсказать результат единичного испытания можно лишь для достоверных или невозможных событий» [2, с.14], явно путая при этом задачу прогнозирования с предсказанием. Предсказание – это, скорее, из области астрологии. К науке оно отношения не имеет. В результате несложных рассуждений приходим к неизбежному выводу: задача прогнозирования вероятного развития наблюдаемых явлений в будущем – центральная задача современной ТВ. По этому поводу в конспекте лекций [3, с. 12] сказано следующее: «Выявление и изучение статистических закономерностей и ... прогнозирование их дальнейшего развития – главная цель ТВ».



Таким образом, неубывающий интерес человечества к своему будущему – главный мотив существующего в мире спроса на математический аппарат ТВ.

Математическую основу современной ТВ образует абстрактная булева алгебра, точнее, алгебра событий [2, с. 19]. События A, B, \dots, C – универсальная форма качественного описания вероятного развития (поведения) явления в будущем: состоялось или не состоялось. При этом норма $P(A)$ события A со свойствами

- А) $0 \leq P(A) \leq 1$;
- Б) $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$,
- В) $P(A+B) = P(A)+P(B)$ при $AB = O$,

где \bar{A} – противоположное событие, в ТВ [1] получила название «вероятности события». И вместе с этим названием приобрела свой ясный физический смысл как объективной меры степени возможности каждого конкретного события в будущем. При равенстве $P(A)=1$ здесь по традиции можно говорить о достоверном событии, при $P(A)=0$ – о невозможном событии. Но в промежуточном случае $0 < P(A) < 1$ мы будем говорить о вероятном (в будущем) событии A . Это и есть истинный объект исследования в рамках современной ТВ. А ее предметом исследования служат статистические (т.е. основанные на выборке в ретроспективе) методы прогнозирования вероятных событий в будущем или, в качестве синонима, вероятностные методы. Понятие «случайное событие», как и «случайное явление», из теории исключаются как атавизмы. И вслед за этим утрачивается всякий практический смысл понятие массового случайного явления.

Основу строгого, статистического определения вероятности события A в будущем

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{m_A(n)}{n} \right) \tag{1}$$

образует фундаментальная гипотеза [4, с. 28] об идеальной устойчивости относительной частоты $w_A = m_A(n)/n$ его появления на бесконечно большом временном интервале в ретроспективе. Здесь n – объем наблюдений или выборки. Понятно, что всякая асимптотика – всегда абстракция. Как и неявное предположение об однородности выборки и независимости наблюдений на бесконечном временном интервале. Поэтому абстрактный характер имеет и представленное определение вероятности. Однако ее физический смысл от этого, отнюдь, не утрачивается. Вероятность, по-прежнему, играет роль объективной меры возможности события A в будущем. По существу, именно рассмотренное выше выражение определяет в наиболее общем виде строгое решение центральной задачи прогнозирования – в вероятностной или, говорят, статистической (т.е. по выборке в ретроспективе) форме $P(A)$. На это, кстати, явно указывает и этимология слова «вероятность» [1].

Сделанный вывод усиливается фундаментальной теоремой Бернулли: в условиях схемы независимых испытаний с двумя возможными исходами A и \bar{A} с вероятностями $P(A)=p$ и $P(\bar{A})=1-p=q$ соответственно при любом, сколь угодно малом значении константы $a>0$ справедливо соотношение вида

$$P \left\{ \left| \frac{m_A(n)}{n} - P(A) \right| > a \right\} \leq \frac{pq}{na^2} \leq \frac{0,25}{na^2}. \tag{2}$$

Иными словами, всегда найдется такое достаточно большое значение n , при котором относительная частота w_A события A практически не будет отличаться от его вероятности $P(A)$. И при любом конечном объеме выборки $n < \infty$ константа a из этого соотношения характеризует точность статистической оценки прогнозирования случайного события A по формуле его относительной частоты с доверительной вероятностью $\beta \geq 1 - \frac{0,25}{na^2} > 0$. Этим дается строгое обоснование статистических прогнозов.

Таким образом, вероятностные методы прогнозирования будущих явлений и событий – суть статистические методы. И, наоборот, говоря о вероятных событиях, мы всегда подразумеваем определенную степень их обусловленности в будущем. Вероятность события – количественная характеристика степени такой обусловленности. При этом, как указывалось выше со ссылкой на БСЭ, практическое значение имеют, прежде всего, близкие к единице значения вероятности – согласно самой логике прогнозирования.



Для сравнения, в вышеупомянутом фундаментальном объемном (576 с.) учебнике профессора Е.С. Вентцель понятие «прогноз» встречается всего лишь 5 раз, причем безотносительно к целям и задачам ТВ, а лишь как иллюстрация ее приложений. Однако в более позднем (2006 г) учебном пособии [5, с. 6-198] оно упоминается уже 35 раз, причем, всего на 193 страницах. Правда, и в этом случае закон больших чисел по традиции представлен лишь в середине учебного курса. Кроме того, не обошлось без подробного освещения элементов комбинаторики и, главное, мирно соседствуют два противоречивых взгляда автора на понятие «вероятность»: «классическое» определение вероятности события по Лапласу (там же, с.16) и ее статистическое – единственно строгое – определение. А это недопустимо. Общеизвестная формула Лапласа – всего лишь равенство, справедливое в очень частном случае построения статистического эксперимента по схеме с равновозможными, несовместными и образующими полную группу событий исходами.

Случайная величина – ключевое понятие ТВ. Традиционно, ее почему-то противопоставляют, явно или неявно, понятию случайного события, как некую «количественную характеристику случайного явления». На наш взгляд, это еще одна методическая ошибка. И первое, и второе понятия – тесно связаны между собой, как связаны, например, понятия «интегральная функция распределения» $F(x) = P(X < x)$ и «плотность вероятности случайной величины X » $f(x) = \frac{\Delta F(x)}{\Delta x}$. Это всего лишь разные формы математического описания (задания) закона распределения случайной величины. Так и понятие случайной величины – универсальная и весьма продуктивная форма математического описания вероятного события в будущем.

В нашем случае ценность данного понятия еще более возрастает для теории, поскольку возникает в самом начале учебного курса – при доказательстве рассмотренной выше теоремы Бер-

нулли. В самом деле, вводя обозначение случайной величины $X_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ – с ее равенством 1 при

появлении события A и 0 – в отсутствии A в i -м наблюдении, по результатам n повторных испытаний будем иметь

$\sum_{i=1}^n X_i = m_A$; $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \bar{X}_n = \frac{m_A}{n}$; $M(X_i) = M(X) = 1 \cdot p + 0 \cdot q = p$; $D(X_i) = D(X) = pq$. Здесь симво-

лами $M(\cdot)$ и $D(\cdot)$ обозначены математическое ожидание и дисперсия случайной величины соответственно. Их этих выражений со ссылкой на теорему Чебышева

$$P\left\{\left|\bar{X}_n - M(X)\right| > a\right\} \leq \frac{D(X)}{a^2 n} \quad (3)$$

приходим к формулировке теоремы Бернулли (2), что и требовалось доказать.

Особо отметим, что понятие случайной величины возникло в настоящем исследовании практически сразу вслед за понятием вероятности события A . Причем, одновременно возникла необходимость и в понятиях математического ожидания и дисперсии случайной величины. Все перечисленные понятия объединяются в законе больших чисел (3). И это, подчеркнем, в самом начале учебного курса. Ничего подобного в известных курсах не до сих пор встречается. Однако простая логика подсказывает: здесь кроется глубокий смысл. И он действительно существует – в классическом выражении для вычисления вероятности случайного события (1) через плотность вероятности случайной величины согласно известному выражению $P(A) = \int_A f(x) dx$ [1]. Здесь инте-

грирование ведется по области определения события A . При заданной плотности вероятности $f(x)$ мы этим получили второй вариант статистического решения задачи прогнозирования, который легко обобщается [4, с.159-184] на случай многомерного закона распределения: $P(A) = \int_A f(\vec{x}) dx_1 dx_2 \dots dx_m$. Здесь $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ – m -мерная переменная величина в качестве век-

торного аргумента многомерной плотности вероятности. Последнее выражение традиционно изучается в рамках завершающего раздела ТВ – теории случайных процессов.

Случайный процесс – математическая модель для развивающихся во времени (динамических) явлений. Благодаря такой модели в ТВ формализуется универсальная схема последовательных наблюдений над сложным, динамическим явлением, причем, возможно с коррелированными отсчетами. В результате ее использования были открыты принципиально новые возможности решения задачи статистического прогнозирования. Так, отталкиваясь от критерия минимума дисперсии погрешности прогнозирования, получено в теории общее выражение для экстраполяции



данных по формуле условного математического ожидания $\xi_{n+1} = M(x_{n+1} / x_n, x_{n-1}, \dots, x_{n+1-m})$, $n = 1, 2, \dots$, m -го порядка. Во многих случаях на практике, в частности, при обработке временных рядов в экономике, такой тип прогноза выглядит предпочтительнее по сравнению с его вероятностной формой общего вида.

Проиллюстрируем сказанное на примере обработки стационарного временного ряда с гауссовским распределением и с обратной автоковариационной матрицей \mathbf{K}^{-1} ленточной структуры. Для этого случая оптимальный прогноз приобретает линейный вид

$$\xi_{n+1} = a_1 x_n + a_2 x_{n-1} + \dots + a_m x_{n+1-m}, \quad (4)$$

где (a_1, a_2, \dots, a_m) – вектор коэффициентов линейной авторегрессии m -го порядка. В теории пока-

зано [5, с.57], что с точностью до знака этот вектор определяется первой строкой матрицы \mathbf{K}^{-1} . И по индукции последнее выражение легко преобразуется к рекуррентному виду

$$\xi_{n+k} = \sum_{i=1}^k a_i \xi_{n+k-i} + \sum_{j=k}^q a_j x_{n+k-j}, \quad (5)$$

предназначенному для прогнозирования временного ряда на произвольное число шагов (отсчетов) $k \geq 1$ в будущее.

Последняя зависимость охватывает (4) как частный случай при равенстве $k=1$. Она определяет ближайшую (краткосрочную) перспективу поведения явления в будущем. В качестве примера несколько иного рода можно сослаться на работу автора [6], в которой оптимальная обработка речевого сигнала осуществляется по методу обеляющего фильтра, основанного на авторегрессионной оценке прогнозирования (4), (5) на интервале длительностью в одну минимальную речевую единицу.

В основе рассмотренного примера ключевое значение имел закон распределения случайного процесса. И в этом смысле нельзя обойти вниманием краеугольную проблему ТВ – априорной неопределенности. По существу, именно в ней заключен и смысл, и сама идея статистического подхода. В самом деле, в подавляющем большинстве случаев на практике исследователь не знает априори точного закона распределения случайной величины. Единственный выход для него – восстановление или оценивание закона по выборке данных в ретроспективе. Указанная задача относится к области математической статистики. Таким образом, с позиций прогностической функции ТВ математическая статистика является ее неотъемлемой частью. Причем, именно этот раздел теории, как никакой другой, способен (и должен) адаптировать ее универсальный математический аппарат под конкретную профессиональную подготовку студентов вуза. В результате примерная структура учебного курса примет следующий вид:

1. Аксиоматика нормированной алгебры событий и введение в ТВ;
2. Понятие случайной величины и ее закон распределения вероятностей;
3. Закон больших чисел и введение в математическую статистику;
4. Актуальные (по профилю подготовки специалистов) главы математической статистики;
5. Актуальные главы теории случайных процессов.

Цель первого раздела теории – аксиоматическое введение в понятие «вероятность события в будущем» и его статистическое (строгое) определение. Здесь же излагаются основные теоремы ТВ, формулы полной вероятности, Байеса и другие. Во втором разделе через понятие «возможного в будущем события» вводятся понятия случайной величины и ее закона распределения. Назначение последнего – вычисление математическими методами вероятности возможного события в будущем. Далее определяются все основные статистические моменты вероятностного распределения: от математического ожидания и дисперсии до центрального корреляционного момента. Затем рассматриваются примеры распространенных распределений, подробно изучается нормальный или гауссовский закон, его вероятностные характеристики. Третий раздел теории играет роль своеобразного буфера или введения в проблему априорной неопределенности. Здесь впервые возникает понятие статистической выборки, в частности, репрезентативной. Под предлогом ее минимизации в четвертом разделе излагаются основные формулировки статистических задач, статистические критерии, статистические оценки распределений и наиболее эффективные из статистических методов обработки информации. И, наконец, в заключительном, пятом разделе теории рассмотренные ранее статистические критерии и методы распространяются на многомерный случай в расчете на их дальнейшее применение при анализе динамических процессов в экономике, социологии, лингвистике и в других областях человеческой деятельности.

Таким образом, благодаря проведенному исследованию с акцентом на прогностическую функцию вероятности в представленной статье удалось не только уточнить цель, объект и предмет

исследований в рамках современной ТВ, но и существенным образом видоизменить структуру учебного курса в расчете на широкую аудиторию обучающихся и в соответствии с объективным процессом резкого расширения сферы практических приложений данной научной дисциплины в области информационных технологий. На междисциплинарный характер исследования указывает и то немаловажное обстоятельство, что большинство современных наук, в которых применяются статистические методы, таких как статистическая теория связи, диагностика, социология, лингвистика и другие, по существу использует тот же прогностический потенциал понятия «вероятность события в будущем», что и сама ТВ, поскольку рассчитано на устойчивость своих выводов и оценок в обозримой перспективе. Зачем, иначе, проводить исследования статистическими методами? Например, никто не измеряет площадь местности под новую застройку в вероятностном смысле. А вот показатель качества продукции предприятия в пределах малой выборки наблюдений при определенных условиях [7] распространяют (прогнозируют) на всю партию товара. Также и в социологии. Поэтому и теория статистических оценок, и проверка статистических гипотез с их бесконечными модификациями на практике по существу представляют собой ту или иную разновидность вероятностного подхода к прогнозированию.

Список литературы References

1. Большая советская энциклопедия: 3-е изд. [Электронный ресурс]. – М.: ЭКСМО, 2008. – URL: <http://www.big-soviet.ru/> (23.12.2014).
2. Bol'shaja sovetskaja jenciklopedija: 3-e izd. [Jelektronnyj resurs]. – М.: JeKSMO, 2008. – URL: <http://www.big-soviet.ru/> (23.12.2014).
3. Фирсов А. Н. Теория вероятностей. Часть 1: Уч. пособие. – С.-Пб.: Изд-во С.-Пб. гос. ун-та, 2005. – 112 с.
4. Firsov A. N. Teorija verojatnostej. Chast' 1: Uch. posobie. – S.-Pb.: Izd-vo S.-Pb. gos. un-ta, 2005. – 112 s.
5. Савченко В. В. Теория вероятностей и математическая статистика. Конспект лекций: Уч. пособие. 2-е изд. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. гос. лингв. ун-та, 2003. – 104 с.
6. Savchenko V. V. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika. Konspekt lekcij: Uch. posobie. 2-e izd. – Nizhnij Novgorod: Izd-vo Nizhegorod. gos. lingv. un-ta, 2003. – 104 s.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 5-е изд. – М.: Высшая школа, 1998. – 576 с.
8. Ventcel' E. S. Teorija verojatnostej: Ucheb. dlja vuzov. – 5-e izd. – M.: Vysshaja shkola, 1998. – 576 s.
9. Савченко В. В. Информационная теория колебаний биржевых котировок в динамике // Информационные технологии. – 2011. – № 3. – С. 57-63.
10. Savchenko V. V. Informacionnaja teorija kolebanij birzhevyh kotirovok v dinamike // Informacionnye tehnologii. – 2011. – № 3. – S. 57-63.
11. Савченко В.В., Васильев Р.А. Анализ эмоционального состояния диктора по голосу на основе фонетического детектора лжи // Научные ведомости БелГУ: Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». 2014. № 21 (192). Вып. 32/1. С. 186-195.
12. Savchenko V.V., Vasil'ev R.A. Analiz jemocional'nogo sostojanija diktora po golosu na osnove foneticheskogo detektora lzhi // Nauchnye vedomosti BelGU: Serija «Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika». 2014. № 21 (192). Vyp. 32/1. S. 186-195.
13. Савченко В.В. Определение объема контрольной выборки в условиях априорной неопределенности по принципу гарантированного результата // Научные ведомости БелГУ: Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». 2015. № 212(193). Вып. 33/1. С. 184-192.
14. Savchenko V.V. Opredelenie ob#ema kontrol'noj vyborki v uslovijah apriornoj neopredelen-nosti po principu garantirovannogo rezul'tata // Nauchnye vedomosti BelGU: Serija «Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika». 2015. № 212(193). Vyp. 33/1. S. 184-192.
15. Жилияков Е.Г., Белов С.П. Обнаружение звуков речи на фоне шумов // Научные ведомости БелГУ: Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». 2012. Т. 22. № 7-1. С. 182-189.
16. Zhilyakov E.G., Belov S.P. Obnaruzhenie zvukov rechi na fone шумов // Nauchnye vedomosti Bel-GU: Serija «Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika». 2012. T. 22. № 7-1. S. 182-189.
17. Лисьев В. П. Теория вероятностей и математическая статистика: Уч. пособие. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та экономики, статистики и информатики, 2006. – 199 с.
18. Lis'ev V. P. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika: Uch. posobie. – M.: Izd-vo Mosk. gos. un-ta jekonomiki, statistiki i informatiki, 2006. – 199 s.

УДК 66.011

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА
В ИЗОЛИРУЮЩЕМ ДЫХАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ****COMPUTER RESEARCH OF AIR REGENERATION PROCESS
IN THE REBREATHER****А.В.Майстренко, Н.В.Майстренко, О.И. Ерохин
A.V.Maystrenko, N.V.Maystrenko, O.I. Erokhin***Тамбовский государственный технический университет, Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, 106
Tambov state technical university, 106 Sovetskaja St, Tambov, 392000, Russia**e-mail: postmaster@amast.tstu.ru*

Аннотация. Представлена математическая модель процесса регенерации воздуха в изолирующем дыхательном аппарате (ИДА), описывающая процесс взаимодействия пластинсерегенеративным продуктом с воздушной смесью.

Приводятся результаты компьютерного исследования процесса регенерации воздуха в ИДА с использованием математической модели при различных режимах работы.

Resume. The mathematical model of air regeneration process in a rebreather, describing the process of interaction between of the plateswitharegenerative product in the cartridge with air mixture is presented.

The resultsof computerresearch ofair regenerationinrebreather usingwitha mathematical modelunder different operating conditionsis provided.

Ключевые слова: изолирующий дыхательный аппарат, регенеративный продукт, математическая модель, вычислительный эксперимент.

Keywords: the rebreather, regenerative product, mathematical model, computational experiment.

Важным элементом системы защиты населения от вредных воздействий ядовитых веществ, образующихся при пожарах, в случаях химического поражения и т.п. являются изолирующие дыхательные аппараты (ИДА) – переносные средства защиты органов дыхания, глаз и кожи лица. В качестве источников кислорода и поглотителей диоксида углерода в ИДА с химически связанным кислородом используются в основном регенеративные продукты на основе надпероксида калия.

Устройство подобных ИДА таково, что при выдохе газозвдушная смесь (ГВС) проходит через гофротрубку («вредный объем») и попадает в корпус патрона, охлаждается фильтром-теплообменником и проходит в пакет пластин. Регенерируемый воздух, проходя между пластинами, турбулизируется в разветвленных каналах и на поверхности регенеративного продукта, и реагирует с продуктом, при этом поглощается диоксид углерода и выделяется необходимый кислород. Очищенный воздух проходит через фильтрующую оболочку в дыхательный мешок. При вдохе воздух из дыхательного мешка вновь проходит через пакет пластин, охлаждается на фильтре-холодильнике, а затем поступает на вдох. Избыток дыхательной смеси сбрасывается из мешка через клапан избыточного давления в окружающую среду.

Наиболее ответственным узлом, входящим в состав самоспасателя, является регенеративный патрон (РП). Использование надпероксида калия в системах регенерации воздуха, выдыхаемого человеком, основано на взаимодействии надпероксида с диоксидом углерода в присутствии влаги, сопровождающееся выделением эквивалентного количества кислорода [1]. Моделируемый РП изготавливается в виде оболочки из вспененного полипропилена с газораспределительным устройством. Оболочка представляет собой обечайку, наполненную регенеративным продуктом и снабженную крышкой с центральным отверстием для присоединительного патрубка и ребрами жесткости, выполненными в виде угловых сварных швов. Пластины регенеративного продукта снабжены рифлями, образующими выступы, расположенные под углом к продольной оси пластины. При сборке в пакет соседние пластины развернуты относительно друг друга на 180°, таким образом, между выступами образуются газораспределительные каналы. За счет образования зазоров между пластинами уменьшается гидравлическое сопротивление регенеративного продукта, обеспечивается равномерная обработка за счет достижения равномерной толщины пластин и их пористости. Регенеративный продукт имеет максимально развернутую поверхность, легко доступную (практически к каждому кристаллу надпероксида калия) к взаимодействию с парами воды и диоксидом углерода.

Важнейшей характеристикой ИДА является время защитного действия (ВЗД), определяющая величину временного интервала, в течение которого будут выдержаны объемные концентрации диоксида углерода и кислорода, а также температура и сопротивление дыханию в заданных пределах. Согласно ГОСТ 53260-2009, объемная доля диоксида углерода на вдохе и в дыхательном мешке в течение всего времени работы не должна превышать 3% (об); объемная доля кислорода во вдыхаемой смеси должна быть не менее 20% (об) (в течение первых двух минут после включения допускается снижение доли кислорода до 17%); температура вдыхаемой из самоспасателя смеси при температуре окружающей среды $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ не должна превышать 50°C .

Будем считать, что :

- режим течения ГВС в дыхательном мешке и вредном объеме представляет собой «идеальное смешение»,
- регенеративный патрон представляет собой реактор диффузионного типа.

Математическая модель процесса регенерации воздуха в ИДА, описывающая процесс взаимодействия регенеративных пластин в патроне с воздушной смесью, дополненная уравнениями материального баланса в дыхательном мешке и вредном объеме, а также начальными и граничными условиями для стадий вдоха и выдоха выглядит следующим образом [2]:

Уравнения материального баланса:

вдох

$$V^{\text{вдм}} \frac{dC^{\text{вдм}}}{dt} = -G^{\text{выд}} C^{\text{вдм}}$$

$$V^{\text{вдм}} \frac{dC_{O_2}^{\text{вдм}}}{dt} = -G^{\text{выд}} C_{O_2}^{\text{вдм}}$$

$$V^{\text{во}} \frac{dC^{\text{во}}}{dt} = G^{\text{выд}} C^{\text{П}} - G^{\text{выд}} C^{\text{во}}$$

$$V^{\text{во}} \frac{dC_{O_2}^{\text{во}}}{dt} = G^{\text{выд}} C_{O_2}^{\text{П}} - G^{\text{выд}} C_{O_2}^{\text{во}}$$

выдох

$$V^{\text{вдм}} \frac{dC^{\text{вдм}}}{dt} = G^{\text{выд}} C^{\text{П}}$$

$$V^{\text{вдм}} \frac{dC_{O_2}^{\text{вдм}}}{dt} = G^{\text{выд}} C_{O_2}^{\text{П}}$$

$$V^{\text{во}} \frac{dC^{\text{во}}}{dt} = G^{\text{выд}} C^{\text{выд}} - G^{\text{выд}} C^{\text{во}} + G^{\text{выд}} C^{\text{Л}}$$

$$V^{\text{во}} \frac{dC_{O_2}^{\text{во}}}{dt} = G^{\text{выд}} C_{O_2}^{\text{выд}} - G^{\text{выд}} C_{O_2}^{\text{во}} - G^{\text{выд}} C_{O_2}^{\text{Л}}$$

Начальные условия:

$$c(z,0) = c_0$$

$$c_{O_2}(z,0) = c_{O_2,0}$$

$$a(z,0) = 0$$

$$a_{O_2}(z,0) = a_{O_2,0}$$

$$C^{\text{вдм}}(0) = C^{\text{вдм}}_0$$

$$C_{O_2}^{\text{вдм}}(0) = C_{O_2}^{\text{вдм}}_0$$

$$T(z,0) = T_0$$

Граничные условия:

вдох

$$c(H,\tau) = c^{\text{вдм}}(\tau)$$

$$c_{O_2}(H,\tau) = c_{O_2}^{\text{вдм}}(\tau)$$

$$\frac{\partial c(0,\tau)}{\partial \tau} - w_x \frac{\partial c(0,\tau)}{\partial x} = -(1-\varepsilon) \frac{\partial a(0,\tau)}{\partial \tau}$$

$$\frac{\partial c_{O_2}(0,\tau)}{\partial \tau} - w_x \frac{\partial c_{O_2}(0,\tau)}{\partial x} = -(1-\varepsilon) \frac{\partial a_{O_2}(0,\tau)}{\partial \tau}$$

$$T(H,\tau) = T^{\text{вдм}}(\tau)$$

$$\frac{\partial T(0,\tau)}{\partial \tau} - w_x \frac{\partial T(0,\tau)}{\partial x} = -(1-\varepsilon) \frac{\partial a(0,\tau)}{\partial \tau}$$

выдох

$$c(0,\tau) = c^{\text{во}}(\tau)$$

$$c_{O_2}(0,\tau) = c_{O_2}^{\text{во}}(\tau)$$

$$\frac{\partial c(H,\tau)}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial c(H,\tau)}{\partial x} = -(1-\varepsilon) \frac{\partial a(H,\tau)}{\partial \tau}$$

$$\frac{\partial c_{O_2}(H,\tau)}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial c_{O_2}(H,\tau)}{\partial x} = -(1-\varepsilon) \frac{\partial a_{O_2}(H,\tau)}{\partial \tau}$$

$$T(0,\tau) = T^{\text{во}}(\tau)$$

$$\frac{\partial T(H,\tau)}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial T(H,\tau)}{\partial x} = -(1-\varepsilon) \frac{\partial a(H,\tau)}{\partial \tau}$$

Вредный объем ИДА включает подмасочное пространство, гофротрубку и свободное от адсорбента пространство в патроне ИДА. Вредный объем нарастает по мере отработки регенеративного продукта. Приблизительно объем вредного пространства $V^{\text{во}}$ можно рассчитать по формуле:

$$V^{eo} = V_0^{eo} + \frac{\gamma}{d} \cdot V_{II} \cdot \frac{1}{H} \int_0^H \chi(x, t, T) dx,$$

где V_0^{eo} - начальный вредный объем, $\chi(x, t, T) = \frac{a(x, t)}{a_0(x, t, T)}$ - степень отработки регенеративного продукта, V_{II} - объем патрона, H - высота патрона.

При расчете температуры во вредном пространстве (на входе и на выходе в патрон при выдохе) должна быть учтена теплоотдача от стенок гофротрубки (S_i) и от торца патрона.

$$\widehat{T}^{ex} = \frac{T^{vyd} \cdot (V^{vyd} - V^{eo}) + T^n \cdot V^{eo}}{V^{vyd}}$$

$$\widehat{T}^{ed} = \frac{T^{vyd} \cdot V^{eo} + T^n \cdot (V^{vyd} - V^{eo})}{V^{vyd}}$$

$$A_1 = \frac{\alpha_1 \cdot S_2 \cdot t_e}{c_p \cdot \rho_p \cdot (V^{eo} + V^{vyd})}$$

$$T^{ex} = \frac{\widehat{T}^{ex} + A_1 \cdot T^{cp}}{1 + A_1}$$

$$T^{ed} = \frac{\widehat{T}^{ed} + A_1 \cdot T^{cp}}{1 + A_1},$$

где $S_2 = S_1 + S$; $\alpha_1 = 10 \text{ Bm} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$; $T^{vyd} = 36,6^\circ \text{C}$

T^n находится как средняя за период вдоха температура на выходе из патрона:

$$T^n = \frac{1}{V} \int_{t_1+t_e}^{t_2} T(0, \tau) \cdot V(\tau) d\tau$$

где $V(\tau)$ - объемная скорость вдоха-выдоха.

T^{dm} находится как средняя за период выдоха температура на выходе из патрона с учетом потерь тепла в окружающую среду:

$$\widehat{T}^{dm} = \frac{1}{V} \int_{t_1}^{t_1+t_e} T(H, \tau) \cdot V(\tau) d\tau,$$

$$A_2 = \frac{\alpha_1 \cdot S_3 \cdot t_e}{c_p \cdot \rho_p \cdot V^{vyd}},$$

$$T^{dm} = \frac{\widehat{T}^{dm} + A_2 \cdot T^{cp}}{1 + A_2},$$

где S_3 - площадь поверхности дыхательного мешка.

Объемная скорость выдыхаемого воздуха периодически изменяется во времени по синусоидальному закону, описываемому уравнением

$$V(\tau) = \frac{\pi V^{vyd}}{2t_{vyd}} \sin\left(\frac{\pi \tau}{t_{vyd}}\right),$$

где V^{vyd} - объем вдоха-выдоха, м³; t_{vyd} - период вдоха-выдоха, с.

В общем случае, величина предельной емкости a_0 уменьшается с ростом температуры. Зависимость a_0 от температуры может быть выражена функцией $a_0 = 250 - 0.62 \cdot T$ [3].

В начальный период времени, пока температура не превышает 100 °С, можно считать величину предельной емкости независимой от температуры. Экспериментально значение данной величины было получено в [4]: $a_0 = 131$ л/л или $3,592 \times 10^{-3}$ моль/см³.

Исходя из стехиометрии целевой реакции определим значение предельного концентрации кислорода $a_{k_9} = 1,5 \cdot a_0$.

Коэффициент продольного перемешивания зависит от скорости течения ГВС и может быть рассчитан по формуле [3]:

$$D(x) = 0,39 \cdot 10^{-6} + 0,21 \cdot 10^{-6} \cdot w_{cm} \quad m^2/c$$

Система дифференциальных уравнений в частных производных решалась с использованием двухслойной консервативной разностной схемы, которая так же, как и дифференциальные уравнения, удовлетворяют законам сохранения [5].

Экспериментальные исследования работоспособности ИДА проводились на установке «Искусственные легкие», где создаются заданные техническими условиями параметры ГВС, имитирующие параметры дыхания человека (частота дыхания, объем легочной вентиляции, концентрация диоксида углерода в выдыхаемом воздухе).

При испытаниях аппарата на установке ИЛ использовался режим с накоплением, ГВС из дыхательного мешка одновременно отсасывалась через штуцер и сбрасывалась через клапан избыточного давления, так что точная скорость выделения кислорода не фиксировалась.

Испытания проводились при значениях легочной вентиляции 10, 30, 35, 60, 70 л/мин (соответствующие значения частоты дыхания 10, 18, 20, 25, 30 1/мин; значения входной концентрации CO_2 4% при нагрузках 30, 35, 60, 70 л/мин и 2,4% при нагрузке 15 л/мин).

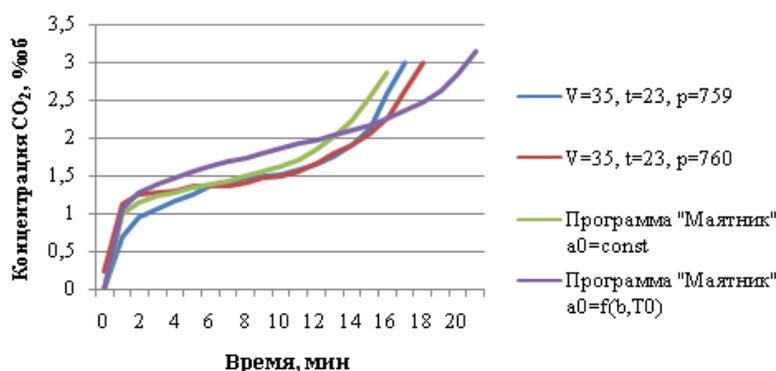
Вычислительный эксперимент проводился при различных режимах нагрузки на аппарат и различных начальных условиях.

1. Номинальный режим: объем легочной вентиляции – 35 дм³/мин; частота дыхания – 20 мин⁻¹, температура окружающей среды $t = 23^{\circ}C$ (рис. 1 а, б, в).

2. Номинальный режим: объем легочной вентиляции – 35 дм³/мин; частота дыхания – 20 мин⁻¹, температура окружающей среды $t = 23^{\circ}C$ начальная температура ИДА - $t_0 = -5^{\circ}C$ (рис. 2 а, б, в).

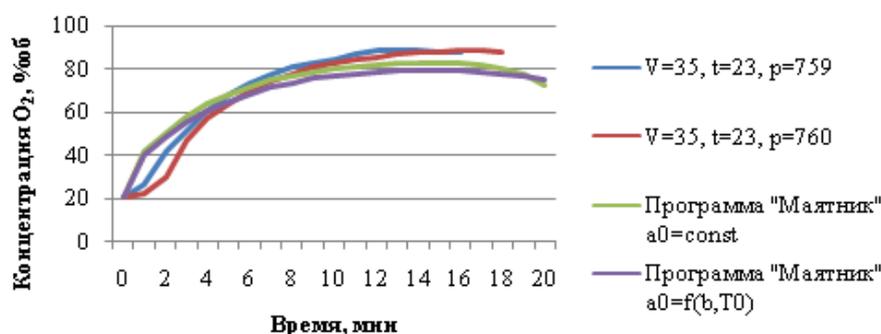
3. Номинальный режим: объем легочной вентиляции – 35 дм³/мин; частота дыхания – 20 мин⁻¹, температура окружающей среды $t = 23^{\circ}C$ начальная температура ИДА - $t_0 = 60^{\circ}C$ (рис. 3 а, б, в).

Диоксид углерода $V=35, t_0=23$

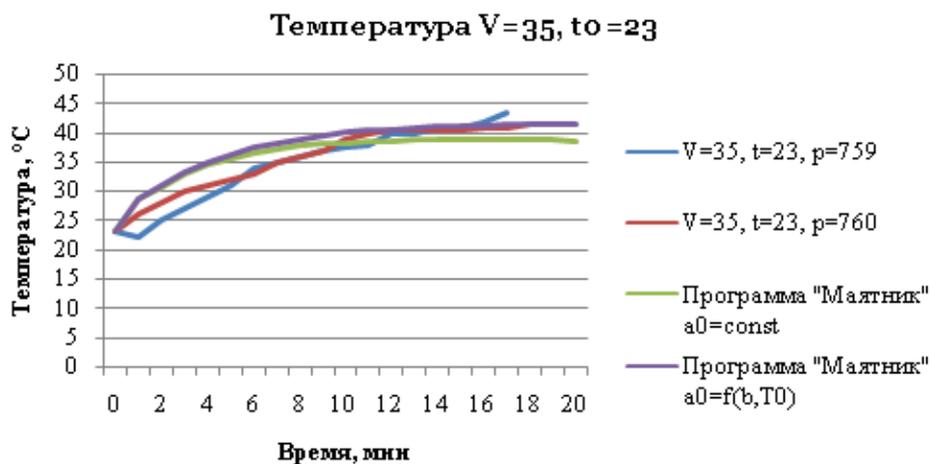


а

Кислород $V=35, t_0=23$



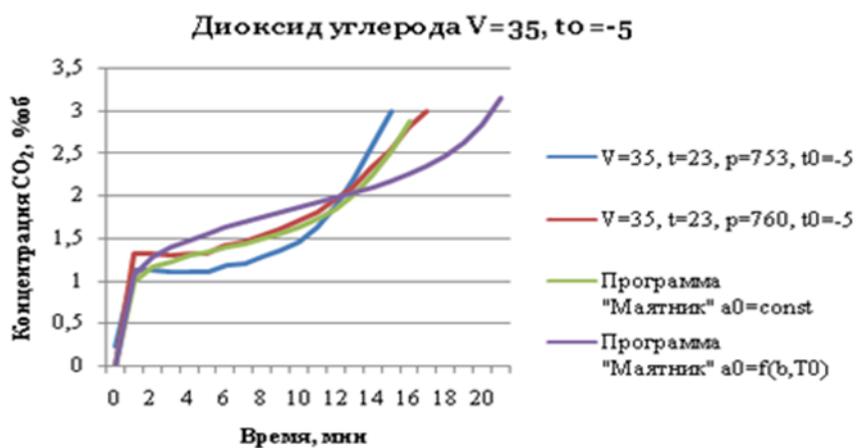
б



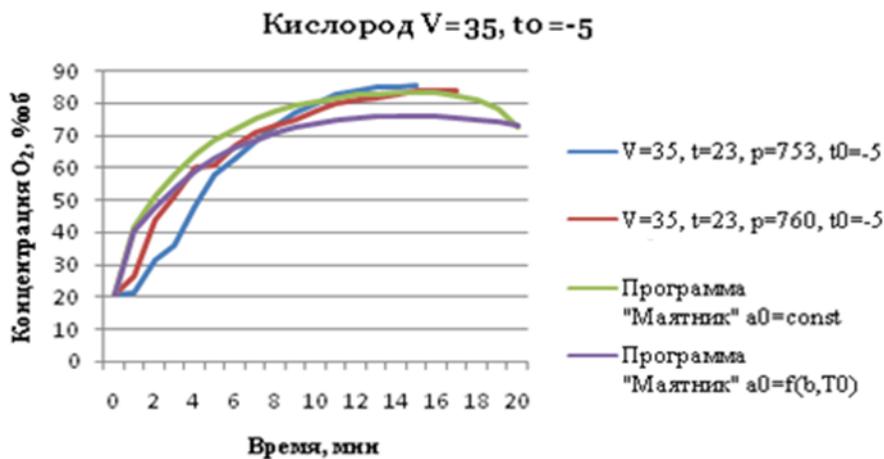
в

Рис. 1. Изменение параметров процесса регенерации воздуха c^{e0} , $c_{O_2}^{e0}$, T^{e0} в номинальном режиме при $t_0=23^{\circ}C$

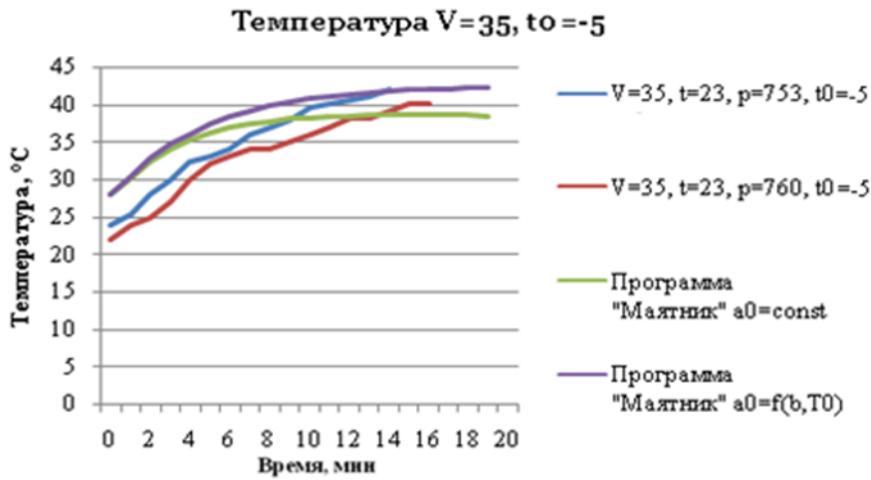
Fig. 1. Change the parameters of the process of regeneration air c^{e0} , $c_{O_2}^{e0}$, T^{e0} in nominal mode when $t_0=23^{\circ}C$



а



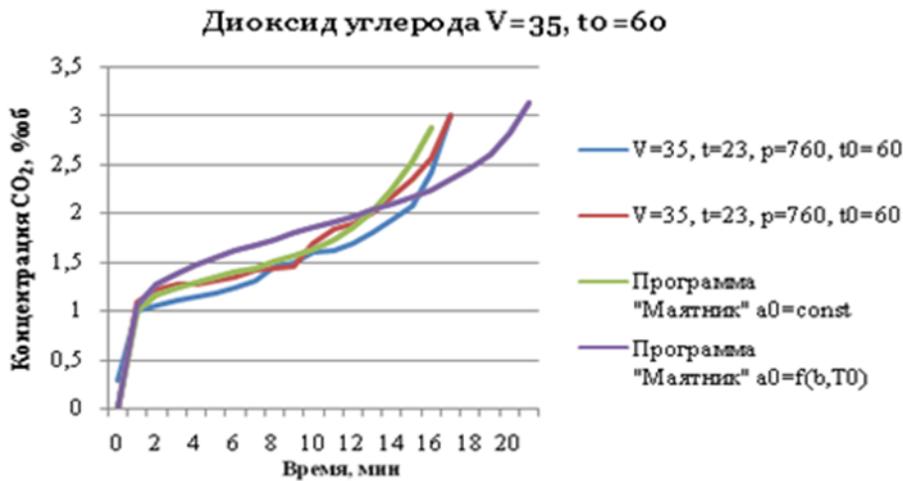
б



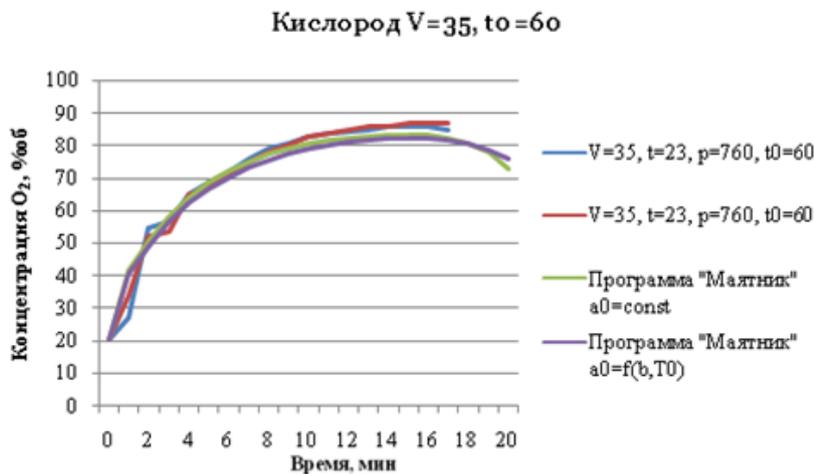
В

Рис. 2. Изменение параметров процесса регенерации воздуха c^{e0} , $c_{O_2}^{e0}$, T^{e0} в номинальном режиме при $t_0=-50C$

Fig. 2. Change the parameters of the process of regeneration air c^{e0} , $c_{O_2}^{e0}$, T^{e0} in nominal mode when $t_0=-50C$



а



б

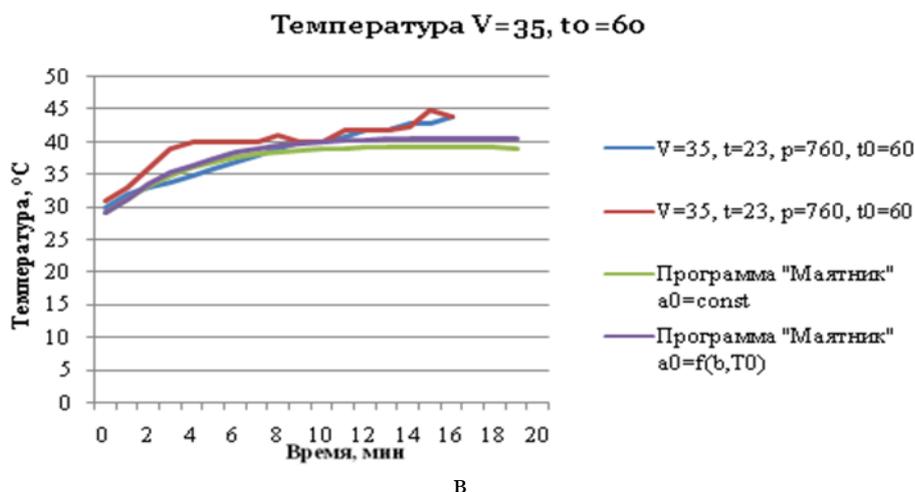


Рис. 3. Изменение параметров процесса регенерации воздуха $c^{e0}, c_{O_2}^{e0}, T^{e0}$ в номинальном режиме при $t_0=600C$

Fig. 3. Change the parameters of the process of regeneration air $c^{e0}, c_{O_2}^{e0}, T^{e0}$ in nominal mode when $t_0=600C$

Для наделения математической модели количественными характеристиками конкретного процесса регенерации в ИДА КС-15 была решена задача параметрической идентификации модели неизвестного вектора кинетических коэффициентов $\beta = \{\beta, \beta_{O_2}\}$, который соответствует решению задачи $\beta^* = \arg \min F(\beta)$, где $F(\beta) = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (c_{k_n}(H, \tau_n) - (c_{k_n}^e(H, \tau_n)))^2$, K – количество экспериментальных выходных кривых концентраций компонент смеси, N – количество замеров концентраций для одной выходной кривой; τ_n – значения времени, в которых фиксируются расчетные и экспериментальные значения. Для нахождения значений вектора β^* построена процедура безусловной оптимизации на основе метода Нелдера-Мида. Были получены значения коэффициентов скоростей реакции $\beta = 9,3 c^{-1}, \beta_{O_2} = 12,09 c^{-1}$.

Отклонения расчетных и экспериментальных данных не превышают 11,5%, что согласуется с погрешностью экспериментов. Расхождение расчетной и экспериментальной кривой при низких нагрузках объясняется неравномерной скоростью движения воздуха по сечению патрона, что может быть учтено при использовании двумерной модели и расчете профиля скоростей. При больших нагрузках расхождение расчетных и экспериментальных данных может быть объяснено недостаточно полным учетом особенностей кинетики поглощения CO_2 при высоких температурах (при начале разложения продукта).

График степени отработки также согласуется с данными опыта. Из-за невысокой скорости течения ГВС практически весь диоксид углерода поглощается «лобовым слоем» регенеративного продукта. Таким образом, к концу эксперимента фронтальные слои отработали практически полностью и по диоксиду углерода и по кислороду в то время, как противоположные слои отработали лишь на 70% и 80% соответственно.

Список литературы References

1. Вольнов, И.И. Перекисные соединения щелочных металлов / И.И. Вольнов // М. : Наука, 1980. – 160 с.
Vol'nov, I.I. Perekisnye soedineniya shhelochnyh metallov / I.I. Vol'nov // М. : Nauka, 1980. – 160 s.
2. Майстренко А.В., Майстренко Н.В., Ерохин О.И. Моделирование изолирующих дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия История. Политология. Экономика. Информатика. 2014. № 1 (172). Вып. 29/1. С. 81-87



Majstrenko A.V., Majstrenko N.V., Erohin O.I. Modelirovanie izolirujushhix dyhatel'nyh ap-paratov na himicheski svjazanom kislorode // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo uni-versiteta. Serija Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2014. № 1 (172). Vyp. 29/1. S. 81-87

3. Плотникова С.В. Кинетика и математическое моделирование процессов массо- и теплопереноса в изолирующих дыхательных аппаратах : дис. канд. техн. наук : 05.17.08. – Тамбов, 1994. – 137 с.

Plotnikova S.V. Kinetika i matematicheskoe modelirovanie processov masso- i teplopereno-sa v izolirujushhix dyhatel'nyh apparatah : dis. kand. tehn. nauk : 05.17.08. – Tambov, 1994. – 137 s.

4. Холодилин Н.Ю. Кинетика и аппаратурно-технологическое оформление процесса регенерации воздуха с использованием регенеративного продукта на матрице: дис. канд. техн. наук : 05.17.08. – Тамбов, 2006. – 174 с.

Holodilin N.Ju. Kinetika i apparaturno-tehnologicheskoe oformlenie processa regeneracii vozduha s ispol'zovaniem regenerativnogo produkta na matrice: dis. kand. tehn. nauk : 05.17.08. – Tambov, 2006. – 174 s.

5. Тихонов А.Н, Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Издательство МГУ, 1999. – С. 799.

Tihonov A.N, Samarskij A.A. Uravnenija matematicheskoj fiziki. M.: Izdatel'stvo MGU, 1999. – S. 799.



УДК 621.397

ОБОБЩЕННЫЙ СУБПОЛОСНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ УНИТАРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

THE GENERALIZED SUBBAND ANALYSIS ON THE BASIS OF UNITARY TRANSFORMATIONS

А.А.Черноморец, Е.В. Болгова, Д.А. Черноморец
A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova, D.A. Chernomorets

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru, zhilyakov@bsu.edu.ru, bolgova_e@bsu.edu.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрен единый подход к исследованию свойств сигналов и изображений на основе обобщенного субполосного анализа при использовании различных унитарных преобразований. Приведены соотношения для вычисления обобщенных субполосных матриц.

Resume. In this paper uniform approach to research of properties of signals and images on the basis of the generalized subband analysis using different unitary transformations is considered. Ratios for computation of the generalized subband matrixes are given.

Ключевые слова: унитарные преобразования, ортогональные функции, обобщенный субполосный анализ, обобщенные субполосные матрицы.

Keywords: unitary transformations, orthogonal functions, generalized subband analysis, generalized subband matrixes.

В современных информационно-телекоммуникационных системах основной объем информации представляется в виде сигналов и изображений в цифровой форме. Анализ данной информации осуществляется как во временной (пространственной) области, так и в области преобразований. В данной статье рассматривается возможность единого подхода к анализу свойств сигналов и изображений при использовании различных ортогональных преобразований.

При анализе сигналов и изображений в цифровой форме в области преобразований, также называемом анализом изображений в частотной области D_2 (области нормированных пространственных частот (ПЧ)), в настоящее время широко применяют различные ортогональные системы базисных функций [1-3]:

- тригонометрические функции ($\exp(-jnu)$, $\sin(nu)$, $\cos(nu)$), функции Хартли $cas(nu)$,

- функции Уолша ($wal(n, u)$, $had(n, u)$, $pal(n, u)$),

- функции Хаара $har(nu)$ и др.,

которым соответствуют различные унитарные преобразования сигналов и изображений.

Далее в работе в качестве объекта анализа использованы изображения [4], что не снижает общности полученных результатов.

В дискретном случае анализ в области пространственных частот позволяет выделить различные свойства изображений $\Phi = (f_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, M$, на основе анализа значений коэффициентов F_{nm} , $n = 1, 2, \dots, N$, $m = 1, 2, \dots, M$, унитарного преобразования W в выбранном базисе на основе ортогональной системы базисных функций $\{w_{nm}(u, v)\}$, $n = 1, 2, \dots, N$, $m = 1, 2, \dots, M$, $(u, v) \in D_2$:

$$F_{nm} = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik} w_{nm}(i, k). \quad (1)$$

При этом элементы анализируемого изображения Φ могут быть представлены частичными суммами обобщенного ряда Фурье,

$$f_{ik} = \frac{1}{ab} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M F_{nm} w_{nm}^*(i, k), \quad (2)$$

где $w_{nm}^*(i, k)$ – сопряженные функции, значения a, b зависят от выбранного унитарного преобразования и, в большинстве случаев, равны N и M соответственно,

$$a = N, \quad b = M.$$



Коэффициенты F_{nm} , $n=1,2,\dots,N$, $m=1,2,\dots,M$, унитарного преобразования W изображения Φ можно представить в виде матрицы $F = (F_{nm})$, размерность $N \times M$ которой совпадает с размерностью анализируемого изображения.

Кроме того, известно, что указанные выше двумерные ортогональные функции, используемые в качестве базиса при обработке изображений, являются разделяемыми, поэтому, преобразование можно представить в виде преобразования строк изображения в базисе функций $\{w_n(i)\}$, $i,n=1,2,\dots,N$, с последующим преобразованием столбцов полученного результата в базисе функций $\{w_m(k)\}$, $k,m=1,2,\dots,M$.

Следовательно, выражения (1), (2) могут быть записаны в матричном виде:

$$F = W_N \Phi W_M^T, \quad (3)$$

$$\Phi = \frac{1}{ab} W_N^{-1} F (W_M^T)^{-1}, \quad (4)$$

где W_N и W_M – матрицы унитарных преобразований размерности $N \times N$ и $M \times M$ соответственно, строки которых составлены из базисных функций $\{w_n(i)\}$, $i,n=1,2,\dots,N$, и $\{w_m(k)\}$, $k,m=1,2,\dots,M$.

Очевидно, что матрицы W_N и W_M являются ортогональными. Следовательно,

$$W_N^T = W_N^{-1}, \quad W_M^T = W_M^{-1}.$$

Тогда, соотношение (4) может быть записано в виде:

$$\Phi = \frac{1}{ab} W_N^T F W_M. \quad (5)$$

Если W_N и W_M – симметрические матрицы с действительными элементами, то справедливы следующие соотношения:

$$F = W_N \Phi W_M, \quad (6)$$

$$\Phi = \frac{1}{ab} W_N F W_M. \quad (7)$$

Если W_N и W_M – симметрические матрицы с комплексными элементами, то, обычно, применяют следующие преобразования:

$$F = W_N \Phi W_M, \quad (8)$$

$$\Phi = \frac{1}{ab} W_N^* F W_M^*, \quad (9)$$

где W_N^* и W_M^* – комплексно-сопряженные матрицы.

Известно, что для преобразования (3) в базисе ортогональных функций справедлива теорема Парсеваля [2] (теорема Планшереля, обобщенная формула Релея), которая в дискретном виде для изображений в цифровой форме записывается следующим образом:

$$\|\Phi\|^2 = \frac{1}{ab} \|F\|^2$$

или

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik}^2 = \frac{1}{ab} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M |F_{nm}|^2.$$

В случае непрерывных базисных функций соответствующие соотношения для вычисления коэффициентов преобразования, представления изображения в виде обобщенного ряда Фурье и теорема Парсеваля имеют следующий вид:

$$F(u, v) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik} w_u(i) w_v(k), \quad (10)$$

$$f_{ik} = \frac{1}{a_0 b_0} \iint_{(u,v) \in D_2} F(u, v) w_u^*(i) w_v^*(k) dudv, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik}^2 = \frac{1}{a_0 b_0} \iint_{(u,v) \in D_2} |F(u, v)|^2 dudv, \quad (12)$$



где значения a_0, b_0 зависят от выбранного преобразования.

В контексте субполосного анализа равенство Парсевалья (12) целесообразно представить в виде

$$\|\Phi\|^2 = \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R E_{sr}(\Phi), \tag{13}$$

где

$$E_{sr}(\Phi) = \frac{1}{a_0 b_0} \iint_{(u,v) \in V_{sr}} |F(u,v)|^2 dudv, \tag{14}$$

$$s = 1, 2, \dots, S, \quad r = 1, 2, \dots, R,$$

где V_{sr} – подобласти пространственных частот (ППЧ), которые получены на основании разбиения области пространственных частот D_2 на непересекающиеся подобласти (в общем случае, выбор разбиения области пространственных частот зависит от применяемой системы базисных функций),

$$D_2 = \bigcup_{s=1}^S \bigcup_{r=1}^R V_{sr},$$

$$V_{sr} = D_s \cap G_r, \tag{15}$$

где D_s и G_r – некоторые субполосы в области D_2 (зависят от выбранного преобразования).

Представляется естественным интегралы вида (14) называть частями энергии (евклидовой нормы) изображения в заданном базисе функций, попадающей в соответствующие ППЧ.

В свою очередь отношения

$$P_{sr}(\Phi) = E_{sr}(\Phi) / \|\Phi\|^2, \tag{16}$$

$$s = 1, 2, \dots, S, \quad r = 1, 2, \dots, R,$$

представляют собой доли энергии, которые позволяют судить о ее сосредоточенности в выбранных ППЧ V_{sr} , $s = 1, 2, \dots, S$, $r = 1, 2, \dots, R$.

Можно доказать следующее утверждение. Значения частей энергий изображения вида (14), соответствующие подобласти пространственных частот V_{sr} вида (15) при заданной системе базисных функций, определяются соотношением

$$E_{sr}(\Phi) = \text{tr}(A_s \Phi B_r \Phi^T), \tag{17}$$

где « tr » означает след матрицы, а « T » – операцию транспонирования матрицы, $A_s = (a_{in}^s)$, $i, n = 1, 2, \dots, N$, и $B_r = (b_{km}^r)$, $k, m = 1, 2, \dots, M$, – обобщенные субполосные матрицы, соответствующие подобласти V_{sr} при заданной системе базисных функций, значения элементов которых определяются на основании следующих выражений:

$$a_{in}^s = \frac{1}{a_0} \int_{u \in D_s} w_u(i-1) w_u(n-1) du, \tag{18}$$

$$b_{km}^r = \frac{1}{b_0} \int_{v \in G_r} w_v(k-1) w_v(m-1) dv. \tag{19}$$

Справедливость этого утверждения доказывается непосредственной подстановкой в определение (14) представления (10).

Для унитарных преобразований, соответствующих симметрической матрице, интегралы в выражениях (18) и (19), в большинстве случаев, можно вычислить точно.

Учитывая соотношения (16) и (17), соотношение для вычисления доли энергии изображения, соответствующей ППЧ V_{sr} , при заданной системе базисных функций имеет вид

$$P_{sr}(\Phi) = \frac{\text{tr}(A_s \Phi B_r \Phi^T)}{\text{tr}(\Phi \Phi^T)}. \tag{20}$$

Соотношение (20) позволяет при заданной системе базисных функций реализовать анализ распределения значений долей энергий изображения по различным подобластям пространственных частот вида (14), на которые разбита вся область пространственных частот.

Так, при дискретном преобразовании Фурье (ДПФ) изображение представляется в виде ряда Фурье по следующим системам базисных комплексных функций:

$$w_n(i) = \exp(-j2\pi(n-1)(i-1)/N), \quad i, n = 1, 2, \dots, N,$$

$$w_m(k) = \exp(-j2\pi(m-1)(k-1)/M), \quad k, m = 1, 2, \dots, M,$$

где j – мнимая единица.

Тогда, комплексная матрица W_N ДПФ в соотношениях (3)-(9) имеет вид (матрица W_M задается аналогично):

$$W_N = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & e^{-j\frac{2\pi}{N}} & \dots & e^{-j\frac{2\pi}{N}(N-1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & e^{-j\frac{2\pi}{N}(N-1)} & \dots & e^{-j\frac{2\pi}{N}(N-1)(N-1)} \end{pmatrix}.$$

Непрерывные базисные функции и параметры в соотношениях (10)-(12) для преобразования Фурье задаются следующими значениями:

$$w_u(i) = e^{-ju(i-1)}, \tag{21}$$

$$a_0 = b_0 = \frac{1}{2\pi}, \tag{22}$$

$$D_2 = \{(u, v) \mid -\pi \leq u, v < \pi\}. \tag{23}$$

При анализе изображений на основе преобразования Фурье подобласть пространственных частот V_{sr} задается следующим образом

$$V_{sr} = \{ (u \in [-u_{s2}, -u_{s1}] \cup [u_{s1}, u_{s2}]) \cap (v \in [-v_{r2}, -v_{r1}] \cup [v_{r1}, v_{r2}]) \},$$

$$s = 1, 2, \dots, S, \quad r = 1, 2, \dots, R,$$

$$u_{11} = 0, \quad u_{S,2} = \pi, \quad u_{s+1,1} = u_{s,2}, \quad v_{11} = 0, \quad v_{R,2} = \pi, \quad v_{r+1,1} = v_{r,2}.$$

При указанном разбиении в подобласти V_{sr} переменная u принимает значения из интервала D_s (субполосы) оси абсцисс плоскости ПЧ

$$D_s = [-u_{s2}, -u_{s1}] \cup [u_{s1}, u_{s2}], \tag{24}$$

тогда как одновременно переменная v попадает в интервал G_r (субполосу) оси ординат

$$G_r = [-v_{r2}, -v_{r1}] \cup [v_{r1}, v_{r2}]. \tag{25}$$

Подобласть пространственных частот V_{sr} при анализе изображений на основе преобразования Фурье схематично изображена на рисунке 1.

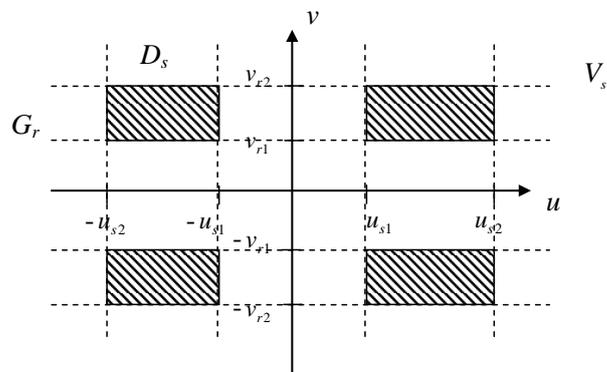


Рис. 1. Подобласть пространственных частот V_{sr} при анализе изображений на основе преобразования Фурье

Fig. 1. Subarea of spatial frequencies V_{sr} in the analysis of images on the basis of Fourier transform

При анализе изображений на основе преобразования Фурье можно показать, что значения элементов субполосных матриц в выражениях (18)-(19) для областей D_s и G_r вида (24)-(25) определяются следующими соотношениями [4, 5]:

$$a_{in}^s = \frac{1}{2\pi} \int_{u \in D_s} e^{-ju(i-1)} e^{-ju(n-1)} du = \frac{1}{2\pi} \int_{u \in D_s} e^{-ju(i-n)} du = \begin{cases} \frac{\sin(u_{s2}(i-n)) - \sin(u_{s1}(i-n))}{\pi(i-n)}, & i \neq n, \\ \frac{u_{s2} - u_{s1}}{\pi}, & i = n, \end{cases} \quad (26)$$

$$b_{km}^r = \frac{1}{2\pi} \int_{v \in G_r} e^{-jv(k-1)} e^{-jv(m-1)} dv = \frac{1}{2\pi} \int_{v \in G_r} e^{-jv(k-m)} dv = \begin{cases} \frac{\sin(v_{r2}(k-m)) - \sin(v_{r1}(k-m))}{\pi(k-m)}, & k \neq m, \\ \frac{v_{r2} - v_{r1}}{\pi}, & k = m. \end{cases} \quad (27)$$

Аналогичным образом могут быть получены субполосные матрицы для косинусного преобразования Фурье [6, 7].

Преобразование Уолша (Уолша-Адамара) основано на базисе функций Уолша, которые образуют полную систему ортонормированных прямоугольных функций (принимают значения -1 и +1). Множество функций Уолша обычно рассматривают в трех вариантах, отличающихся последовательностью расположения функций в системе, а именно:

- упорядочение по Уолшу (по частности),
- упорядочение по Адамару (естественное),
- упорядочение по Пэли (диадическое).

При упорядочении по Адамару матрица преобразования Уолша-Адамара для системы из $N = 2^n$ функций Уолша может быть получена в результате последовательного построения n блочных матриц H_k , $k = 1, 2, \dots, n$, следующим образом:

$$H_k = \begin{pmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & -H_{k-1} \end{pmatrix}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad H_0 = (1).$$

В данном случае матрица преобразования (базисным функциям соответствуют строки данной матрицы) задается соотношением:

$$W_N = H_n.$$

Так, при упорядочении по Адамару матрица преобразования Уолша-Адамара для системы из восьми функций Уолша имеет вид:

$$W_N = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

Значения функций Уолша также можно получить из множества функций Радемахера при использовании кода Грея [1].

Непрерывные базисные функции и параметры в соотношениях (10)-(12) для преобразований Уолша-Адамара задаются следующими значениями:

$$a_0 = b_0 = 1, \quad (28)$$

$$D_2 = \{(u, v) \mid 0 \leq u, v < 1\}, \quad (29)$$

Первые восемь непрерывных функций Уолша приведены на рисунке 2.

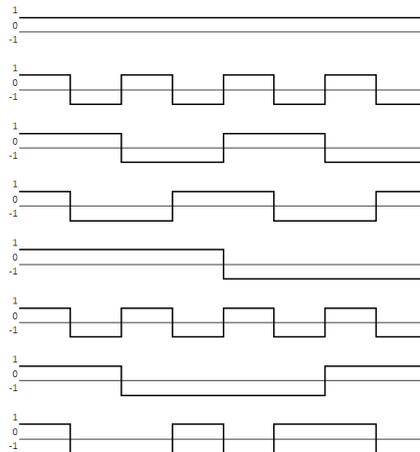


Рис. 2. Пример функций Уолша
Fig. 2. Example of Walsh functions

При применении преобразований Уолша-Адамара подобласть пространственных частот V_{sr} определяется следующим образом:

$$V_{sr} = \{ (u \in [u_{s1}, u_{s2}) \cap (v \in [v_{r1}, v_{r2})) \},$$

$$s = 1, 2, \dots, S, \quad r = 1, 2, \dots, R,$$

$$u_{11} = 0, \quad u_{S,2} = 1, \quad u_{s+1,1} = u_{s,2}, \quad v_{11} = 0, \quad v_{R,2} = 1, \quad v_{r+1,1} = v_{r,2}.$$

При указанном разбиении в подобласти V_{sr} переменные u, v принимают значения из интервалов D_s и G_r ,

$$D_s = [u_{s1}, u_{s2}), \tag{30}$$

$$G_r = [v_{r1}, v_{r2}). \tag{31}$$

При применении преобразования Уолша-Адамара подобласть пространственных частот V_{sr} схематично изображена на рисунке 3.

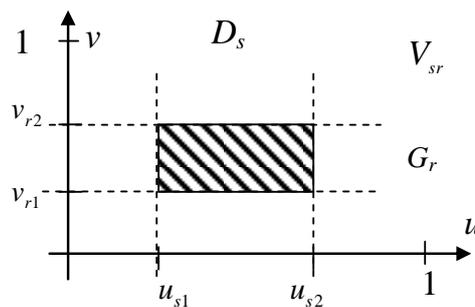


Рис. 3. Подобласть пространственных частот V_{sr}
при анализе изображений на основе преобразований Уолша

Fig. 3. Subarea of spatial frequencies V_{sr} in the analysis of images on the basis of Walsh transforms

При анализе изображений на основе преобразования Уолша-Адамара (базисные функции упорядочены по Адамару) значения элементов a_{in}^s субполосной матрицы A_s в выражении (18) для области D_s вида (30) определяется следующим образом (учтем симметричность матрицы преобразования Уолша-Адамара при упорядочении функций по Адамару, а также соотношения (28), (30)):

$$a_{in}^s = \int_{u \in D_s} w_u(i-1)w_u(n-1)du = \int_{u_{s1}}^{u_{s2}} w_{i-1}(u)w_{n-1}(u)du = \int_{u_{s1}}^{u_{s2}} w_{(i-1) \oplus (n-1)}(u)du, \tag{32}$$

где $(i-1) \oplus (n-1)$ – результат сложения по модулю 2 номеров в двоичной системе чисел $(i-1)$ и $(n-1)$.

Учитывая тот факт, что функции Уолша являются кусочно-постоянными, то интеграл в правой части выражения (32) может быть записан в виде конечной суммы. Тогда,

$$a_{in}^s = \frac{1}{N} \sum_{n_0=u_{s1}}^{u_{s2}} w_{(i-1) \oplus (n-1)}(n_0), \tag{33}$$

$$i, n = 1, 2, \dots, N, \quad s = 1, 2, \dots, S.$$

Аналогично можно получить следующее соотношение для вычисления значений элементов субполосной матрицы B_r при анализе изображений на основе преобразования Уолша-Адамара:

$$b_{km}^r = \frac{1}{M} \sum_{n_0=u_{r1}}^{u_{r2}} w_{(k-1) \oplus (m-1)}(n_0), \tag{34}$$

$$k, m = 1, 2, \dots, M, \quad r = 1, 2, \dots, R.$$

Преобразование Хаара основано на функциях Хаара $har_i(x)$, определенных на интервале $x \in [0,1)$ и $i = 0, 1, \dots, N-1$, где $N = 2^n$.

Базисные функции Хаара задаются на основании следующих соотношений:

$$har_0(x) = \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad x \in [0,1),$$

$$har_i(x) = h_{pq}(x) = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{cases} 2^{p/2}, & x \in [(q-1)/2^p, (q-1/2)/2^p), \\ -2^{p/2}, & x \in [(q-1/2)/2^p, q/2^p), \\ 0, & \text{для всех остальных } x \in [0,1], \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \tag{35}$$

где p, q – целые положительные числа,

$$i = 2^p + q - 1, \quad 1 \leq q < 2^p.$$

Матрица преобразования Хаара, строки которой составлены из базисных функций Хаара, при $N = 8$ имеет следующий вид:

$$W_N = \frac{1}{\sqrt{8}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} \\ 2 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -2 \end{pmatrix}.$$

Первые восемь непрерывных функций Хаара приведены на рисунке 4.

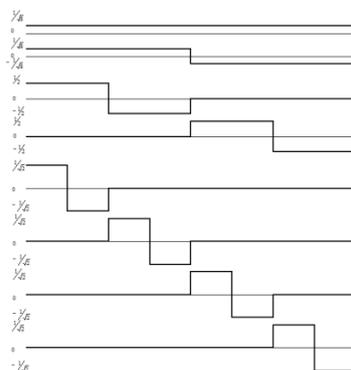


Рис.4. Пример функций Хаара
Fig. 4. Example of Haar functions

При применении преобразования Хаара подобласть пространственных частот V_{sr} совпадает с ППЧ, применяемом при преобразовании Уолша-Адамара.

При анализе изображений на основе преобразования Хаара значения элементов a_{in}^s субполосной матрицы A_s в выражении (18) для области D_s вида (30) определяется следующим образом (в виду несимметричности матрицы преобразования Хаара соответствующий интеграл может быть вычислен приблизительно):

$$a_{in}^s = \int_{u \in D_s} har_u(i-1)har_u(n-1)du = \sum_{u=u_{s1}}^{u_{s2}} har_u(i-1)har_u(n-1), \quad (36)$$

Аналогичным образом можно указать значения элементов субполосных матриц для других унитарных преобразований.

Применение субполосных матриц, их собственных чисел и собственных векторов позволяет вычислить распределение долей энергий изображений по соответствующим подобластям пространственных частот, а также выделять оптимальные (в выбранном базисе) субполосные компоненты изображений [8], соответствующие различным унитарным преобразованиям. Применение субполосных матриц также обеспечивает решение задач повышения визуального качества изображений, выделение контуров и др.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-07-01570а и при поддержке Государственного задания НИУ «БелГУ» (код проекта № 358).

Список литературы

References

1. Ахмед Н., Рао К. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
Ahmed N., Rao K. Ortogonal'nye preobrazovaniya pri obrabotke cifrovyyh signalov. – М.: Svjaz', 1980. – 248 s.
2. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Сов. Радио, 1979. – 312 с.
Jaroslavskij L.P. Vvedenie v cifrovuju obrabotku izobrazhenij. – М.: Sov. Radio, 1979. – 312 s.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – 312 с.
Prjett U. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. – М.: Mir, 1982. – 312 s.
4. Жилияков, Е.Г., Черноморец А.А. О частотном анализе изображений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. – 2010. – Вып. 1. – С. 94-103.
Zhilyakov, E.G., Chernomorets A.A. O chastotnom analize izobrazhenij // Voprosy radioelektroni-ki. Ser. JeVT. – 2010. – Vyp. 1. – S. 94-103.
5. Черноморец, А.А. Метод анализа распределения энергий изображений по заданным частотным интервалам [Текст] / А.А. Черноморец, О.Н. Иванов // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2010. – № 19 (90). – Вып. 16/1. – С. 161-166.
Chernomorets, A.A. Metod analiza raspredelenija jenergij izobrazhenij po zadannym chastotnym intervalam [Tekst] / A.A. Chernomorets, O.N. Ivanov // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2010. – № 19 (90). – Vyp. 16/1. – S. 161-166.
6. Черноморец А.А., Волчков В.П. О свойствах квазисубполосных и G-субполосных матриц // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2012. – № 1 (120). – Вып. 21/1. – С. 126-134.
Chernomorets A.A., Volchkov V.P. O svojstvah kvazisubpolosnyh i G-subpolosnyh matric // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2012. – № 1 (120). – Vyp. 21/1. – S. 126-134.
7. Черноморец А.А., Болгова Е.В. Об анализе данных на основе косинусного преобразования // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2015. – № 1 (198). – Вып. 33/1. – С. 68-73.
Chernomorets A.A., Bolgova E.V. Ob analize dannyh na osnove kosinusnogo preobrazovaniya // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2015. – № 1 (198). – Vyp. 33/1. – S. 68-73.
8. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А. Об оптимальном выделении субполосных компонент изображений // Информационные системы и технологии. – № 1 (75). – 2013. – С. 5-11.
Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A. Ob optimal'nom vydelenii subpolosnyh komponent izobrazhenij // Informacionnye sistemy i tehnologii. – № 1 (75). – 2013. – S. 5-11.

УДК 004.421.5

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОНКРЕТНЫХ ГРУПП В КАСКАДНОМ МЕТОДЕ ANALYSIS OF THE APPLICATION SPECIFIC GROUPS IN THE CASCADE METHOD

В.В. Румбешт, А.З. Ядута
V.V. Rumbesht, A.Z. Yaduta

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia*

e-mail: rumbesht@bsu.edu.ru, yaduta@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье проводится анализ применения конкретных групп в каскадном методе.

Для этого определяется множество операций, элементы которого будут использоваться для конкретизации циклической группы, и оценивается его мощность. Затем на этом множестве операций вводится отношение конгруэнтности. Далее формулируется и доказывается утверждение об условиях равенства кумулятивных последовательностей с учетом применения различных конкретных групп, вводится формальное определение конфигурации каскадов и уточняется оценка количества последовательностей, порождаемых каскадным методом в любой допустимой конфигурации, рассматривается множество последовательностей, порождаемых во всех конфигурациях в целом, и устанавливается его мощность. В завершении статьи приводятся условия, при которых в каждой конфигурации формируется уникальное множество последовательностей.

Resume. The article analyzes the application of specific groups in a cascade method.

This defines the set of operations whose elements will be used to specify a cyclic group, and its capacity is estimated. Then on this set of operations is entered, the relation of congruence. Next we formulate and prove a statement about the equality of cumulative sequences with regard to the application of various specific groups, introduces a formal definition of the configuration of the cascades and refined the estimate of the number of sequences generated by the cascade method in any valid configuration, the set of sequences generated in all configurations in General, and set its power. At the end of the article describes the conditions under which each configuration is formed by a unique set of sequences.

Ключевые слова: каскадный метод, конфигурация каскадов, отношение конгруэнтности операций, кумулятивная последовательность, количество последовательностей.

Keywords: cascade method, the configuration of the cascades, congruence relation operations, cumulative sequence, the number of sequences.

Введение

Каскадный метод порождения периодических последовательностей, предложенный в статье [Румбешт, 2014], сформулирован для абстрактной циклической группы. Такая формулировка определяет лишь общие структурные свойства элементов множества последовательностей, порождаемых посредством применения каскадного метода, но не позволяет установить мощность и состав этого множества. Тем ни менее, в [Румбешт, 2014] отмечается, что при реализации каскадного метода имеется возможность выбора конкретной группы, и даже совмещения в одной реализации нескольких конкретных групп.

В работе [Румбешт, Ядута, 2014] показано, что конкретизация одной циклической группы позволяет установить состав множества порождаемых последовательностей и оценить его мощность. При этом конкретизация единственной группы сама по себе дает уникальный результат применения каскадного метода.

Другое дело, когда конкретизируется несколько групп (в идеале - все возможные конкретные циклические группы заданного конечного порядка), и предоставляется возможность применения на каждом уровне преобразования любой из них. Это приводит к появлению множества конфигураций каскадов. Совсем не очевидно, что метод в двух различных конфигурациях порождает уникальное множество последовательностей. Вполне возможна ситуация, при которой в двух различных конфигурациях порождаются пересекающиеся или даже совпадающие результаты.

Целью данной статьи является исследование влияния конфигураций каскадов на множество порождаемых последовательностей и нахождение условий, при которых каскадный метод в каждой допустимой конфигурации формировал свой уникальный результат.

Множество операций для конкретизации циклической группы

Вообще говоря, конкретизация группы предполагает точное указание множества ее элементов и точное указание алгоритма вычисления результата групповой операции. Для нашей цели



такая полная конкретизация не требуется. Мы будем исходить из того, что имеется произвольное конечное множество U , содержащее $N > 2$ элементов, и над ним задано множество двуместных операций, которые, совместно с U , образуют циклическую группу. Обозначим это множество операций символом Θ и определим его, как $\Theta = \{ \otimes : U \times U \rightarrow U \mid \langle U, \otimes \rangle - \text{циклическая группа порядка } N \}$. Будем предполагать, что каждый элемент Θ задается таблицей Кэли. Исходя из этих постулатов, под конкретизацией группы будем понимать выбор конкретного элемента Θ .

Чтобы различать элементы множества Θ примем следующее определение.

Определение 1. Операция $\otimes \in \Theta$ равна операции $\bar{\otimes} \in \Theta$, если $\forall x, y \in U : x \otimes y = x \bar{\otimes} y$.

Для ответа на вопрос о количестве двуместных операций, образующих над U циклическую группу, сформулируем и докажем следующее утверждение.

Утверждение 1. Мощность множества Θ составляет $\frac{N!}{\varphi(N)}$, где N - порядок группы, φ - функция Эйлера.

Доказательство. Все циклические группы заданного порядка N изоморфны между собой. В частности, любая такая группа $\langle U, \otimes \rangle$ изоморфна аддитивной группе кольца вычетов по модулю N . Обозначим аддитивную группу этого кольца как $\langle Z_N, + \rangle$, где $Z_N = \{0, 1, \dots, N-1\}$, "+" - операция сложения по модулю N . Рассмотрим изоморфизм $\psi : Z_N \rightarrow U$, такой, что $\forall z \in Z_N : \psi(z) = g^z$, где g - образующий элемент группы $\langle U, \otimes \rangle$. Очевидно, что $\forall a, b \in Z_N : \psi(a) \otimes \psi(b) = g^a \otimes g^b = g^{a+b} = \psi(a+b)$.

Всего таких изоморфизмов существует столько, сколько существует перестановок из N элементов, то есть $N!$. Каждый из таких изоморфизмов зависит от операции $\otimes \in \Theta$ и выбора образующего элемента g . Для конкретной группы $\langle U, \otimes \rangle$ существует $\varphi(N)$ возможностей выбора g . Следовательно, всего операций, образующих из U циклическую группу, есть $|\Theta| = \frac{N!}{\varphi(N)}$.

Что и требовалось доказать.

Отношение конгруэнтности операций

Определение 2. Операция $\otimes \in \Theta$ и операция $\bar{\otimes} \in \Theta$ называются конгруэнтными (обозначается $\otimes \approx \bar{\otimes}$), если $\forall x, y \in U, \exists p \in U : x \bar{\otimes} y = x \otimes y \otimes p$ и $\forall x, y \in U, \exists q \in U : x \otimes y = x \bar{\otimes} y \bar{\otimes} q$. Элементы $p, q \in U$ будем называть параметрами конгруэнтности, p - параметр конгруэнтности \otimes и $\bar{\otimes}$, q - параметр конгруэнтности $\bar{\otimes}$ и \otimes .

Если для операций \otimes и $\bar{\otimes}$ существуют параметры конгруэнтности, то между ними выполняются соотношения $q = p^{-1} \otimes p^{-1}$ и $p = q^{-1} \bar{\otimes} q^{-1}$, где p^{-1} - элемент обратный элементу p в группе $\langle U, \otimes \rangle$, q^{-1} - элемент обратный q в группе $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$. Действительно, по определению 2, с одной стороны имеем $x \otimes y = x \otimes y \otimes p \otimes q \otimes p$, то есть $q = p^{-1} \otimes p^{-1}$, а с другой стороны: $x \bar{\otimes} y = x \bar{\otimes} y \bar{\otimes} q \bar{\otimes} p \bar{\otimes} q$, то есть $p = q^{-1} \bar{\otimes} q^{-1}$.

Более того, элемент p^{-1} является нейтральным в группе $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$, а элемент q^{-1} является нейтральным в группе $\langle U, \otimes \rangle$. Покажем это.

Пусть $\otimes \approx \bar{\otimes}$, а $p \in U$ и $q \in U$ - параметры конгруэнтности. Рассмотрим биекцию $f : U \rightarrow U$ такую, что $\forall x \in U : f(x) = x \otimes p^{-1}$. Это отображение является автоморфизмом группы $\langle U, \otimes \rangle$ на группу $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$, в чем несложно убедиться: $\forall x, y \in U$ по определению 2 имеем

$$f(x) \bar{\otimes} f(y) = (x \otimes p^{-1}) \bar{\otimes} (y \otimes p^{-1}) = x \otimes p^{-1} \otimes y \otimes p^{-1} \otimes p = x \otimes y \otimes p^{-1} = f(x \otimes y).$$



Аналогично, биекция $f': U \rightarrow U$ такая, что $\forall x \in U: f'(x) = x \bar{\otimes} q^{-1}$ является автоморфизмом группы $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$ на группу $\langle U, \otimes \rangle$:

$$\forall x, y \in U: f'(x) \otimes f'(y) = (x \bar{\otimes} q^{-1}) \otimes (y \bar{\otimes} q^{-1}) = x \bar{\otimes} q^{-1} \bar{\otimes} y \bar{\otimes} q^{-1} \bar{\otimes} q = f'(x \bar{\otimes} y).$$

Очевидно, что отображения f и f' должны быть взаимобратными ($f' = f^{-1}$ и $f = f'^{-1}$). Обращение биекций f и f' приводит к выражениям: $\forall x \in U: f^{-1}(x) = x \otimes p$ и $\forall x \in U: f'^{-1}(x) = x \bar{\otimes} q$.

С учетом этого, по определению 2 получим:

$$\forall x \in U: f'(x) = x \bar{\otimes} q^{-1} = x \otimes q^{-1} \otimes p = x \otimes p = f^{-1}(x),$$

$$\forall x \in U: f(x) = x \otimes p^{-1} = x \bar{\otimes} p^{-1} \bar{\otimes} q = x \bar{\otimes} q = f'^{-1}(x).$$

Но такое возможно только, если элемент q^{-1} является нейтральным в группе $\langle U, \otimes \rangle$, а элемент p^{-1} является нейтральным в группе $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$.

Можно заметить что, задавшись некоторой конкретной группой $\langle U, \otimes \rangle$ и применяя автоморфизмы вида f , в которых параметр p^{-1} пробегает все множество U , можно получить N конкретных групп, групповые операции которых являются конгруэнтными между собой. То есть для любой операции $\otimes \in \Theta$ существуют ровно N операций ей конгруэнтных.

Утверждение 2. Конгруэнтность операций есть отношение эквивалентности.

Доказательство. Рефлексивность отношения конгруэнтности операций очевидна при параметрах конгруэнтности, равных нейтральному элементу группы. Симметричность этого отношения очевидна по определению.

Докажем транзитивность. Пусть $\otimes \simeq \bar{\otimes}$ с параметрами конгруэнтности p_1, q_1 и $\bar{\otimes} \simeq \bar{\bar{\otimes}}$ с параметрами конгруэнтности p_2, q_2 . То есть $\forall x, y \in U: x \bar{\otimes} y = x \otimes y \otimes p_1$, $x \otimes y = x \bar{\otimes} y \bar{\otimes} q_1$ и $\forall x, y \in U: x \bar{\bar{\otimes}} y = x \bar{\otimes} y \bar{\otimes} p_2$, $x \bar{\otimes} y = x \bar{\bar{\otimes}} y \bar{\bar{\otimes}} q_2$. Выполнив подстановку первого выражения в третье и четвертого выражения во второе, получим:

$$\forall x, y \in U: x \bar{\bar{\otimes}} y = x \bar{\otimes} y \otimes p_1 \otimes p_2 \otimes p_1 = x \otimes y \otimes p_3 \text{ и}$$

$$\forall x, y \in U: x \otimes y = x \bar{\bar{\otimes}} y \bar{\bar{\otimes}} q_2 \bar{\bar{\otimes}} q_1 \bar{\bar{\otimes}} q_2 = x \bar{\bar{\otimes}} y \bar{\bar{\otimes}} q_3,$$

где $p_3 = p_1 \otimes p_2 \otimes p_1$ и $q_3 = q_2 \bar{\bar{\otimes}} q_1 \bar{\bar{\otimes}} q_2$. Следовательно, $\otimes \simeq \bar{\bar{\otimes}}$ с параметрами конгруэнтности p_3, q_3 . Что и требовалось доказать.

Таким образом, отношение конгруэнтности операций разбивает множество Θ на $\frac{(N-1)!}{\varphi(N)}$ классов эквивалентности, имеющих по N операций в каждом классе.

По теореме Кэли [Калужнин, Суцанский, 1985] любая конечная группа $\langle U, \otimes \rangle$ изоморфна некоторой подгруппе симметрической группы $S(U)$. Рассмотрим такие изоморфизмы для групп $\langle U, \otimes \rangle$ и $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$, в которых $\otimes \simeq \bar{\otimes}$: каждому элементу $u \in U$ сопоставляются перестановки π_u и η_u , такие что $\forall x \in U: \pi_u(x) = u \otimes x$ и $\forall x \in U: \eta_u(x) = u \bar{\otimes} x$. Очевидно, что $\forall u \in U: \pi_{u \otimes p} = \eta_u$. То есть группы $\langle U, \otimes \rangle$ и $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$ оказываются изоморфными одной и той же группе подстановок. Более того, все группы, операции которых принадлежат одному классу конгруэнтности, по изоморфизмам указанного вида, имеют один и тот же изоморфный образ.

Следствием этого наблюдения является то, что таблицы Кэли конгруэнтных операций совпадают с точностью до порядка следования строк (столбцов), в то время как в таблицах Кэли не конгруэнтных операций совпадают лишь строки (столбцы), соответствующие нейтральным элементам групп.

Условия равенства последовательностей, порождаемых каскадным методом

Последовательности, порождаемые каскадным методом, являются так называемыми чисто периодическими и кумулятивными. В статье [Румбешт, 2014] даны определения этим понятиям. В соответствии с определением 1 из [Румбешт, Ядута, 2014], две последовательности над U являются равными, если каждый член первой последовательности равен соответствующему члену второй.

Кроме того, в работе [Румбешт, Ядута, 2014] сформулировано утверждение о том, что две чисто периодические кумулятивные последовательности равны тогда и только тогда, когда равны их начальные элементы и равны их порождающие последовательности. В этом утверждении не явно предполагается, что кумулятивные последовательности формируются с использованием одной и той же конкретной группы. В контексте статьи [Румбешт, Ядута, 2014] это утверждение справедливо. Однако, в общем случае применения конкретных групп с операциями из Θ , это не верно.

Действительно, понятия начального элемента, порождающей и кумулятивной последовательностей имеют смысл только для последовательностей над элементами группы. Более того, если задаться конкретной циклической группой $\langle U, \otimes \rangle$, то любая последовательность над U является кумулятивной, и для нее можно установить порождающую последовательность с точностью до начального элемента. Если же, при этом, данная последовательность является чисто периодической, то установление начального элемента и порождающей однозначно. То есть, например, при наличии двух конкретных циклических групп $\langle U, \otimes \rangle$ и $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$, для одной и той же чисто периодической кумулятивной последовательности соответствующие порождающие последовательности не обязательно равны.

Поэтому, утверждение о равенстве кумулятивных последовательностей, порождаемых каскадным методом, требует уточнения. Здесь важно то, что в каскадном методе порождающие последовательности не произвольные, а обладают определенными структурными свойствами, и метод гарантирует наличие этих свойств. Для формализации этого будем использовать определения и обозначения, введенные в [Румбешт, 2014]:

- $X_{\rightarrow} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots)$ и $\bar{X}_{\rightarrow} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots)$ - чисто периодические последовательности над U , имеющие одинаковый период τ ;

- $h_{X_{\rightarrow}} = x_1 \otimes x_2 \otimes \dots \otimes x_{\tau}$ - характеристический элемент X_{\rightarrow} в группе $\langle U, \otimes \rangle$, $h_{\bar{X}_{\rightarrow}} = \bar{x}_1 \bar{\otimes} \bar{x}_2 \bar{\otimes} \dots \bar{\otimes} \bar{x}_{\tau}$ - характеристический элемент \bar{X}_{\rightarrow} в группе $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$, причем $Ord(h_{X_{\rightarrow}}) = Ord(h_{\bar{X}_{\rightarrow}}) = N$ (то есть $h_{X_{\rightarrow}} \in G_{\langle U, \otimes \rangle}$, а $h_{\bar{X}_{\rightarrow}} \in G_{\langle U, \bar{\otimes} \rangle}$, где $G_{\langle U, \otimes \rangle}$ и $G_{\langle U, \bar{\otimes} \rangle}$ - множества образующих элементов в группах $\langle U, \otimes \rangle$ и $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$ соответственно);

- $Y_{\rightarrow} = (y_1, y_2, \dots, y_i, \dots)$ и $\bar{Y}_{\rightarrow} = (\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_i, \dots)$ - кумулятивные последовательности с начальными элементами $y_0 \in U$ и $\bar{y}_0 \in U$, а так же порождающими X_{\rightarrow} и \bar{X}_{\rightarrow} соответственно.

Будем считать, что для формирования Y_{\rightarrow} применяется операция группы $\langle U, \otimes \rangle$, а для формирования \bar{Y}_{\rightarrow} - операция группы $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$, то есть для всех натуральных i : $y_i = y_{i-1} \otimes x_i$ и $\bar{y}_i = \bar{y}_{i-1} \bar{\otimes} \bar{x}_i$.

Утверждение 3. Необходимым условием для равенства Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} является $y_0 = \bar{y}_0$.

Доказательство. По утверждению 1 в статье [Румбешт, 2014] в силу периодичности Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} имеем $y_{\tau \cdot N} = y_0$ и $\bar{y}_{\tau \cdot N} = \bar{y}_0$. Пусть $y_0 \neq \bar{y}_0$. Тогда $y_{\tau \cdot N} \neq \bar{y}_{\tau \cdot N}$, что противоречит равенству Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} . Что и требовалось доказать.

Утверждение 4. Необходимым условием для равенства Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} является $\otimes \simeq \bar{\otimes}$.

Доказательство. Согласно утверждению 1 в статье [Румбешт, 2014] период кумулятивной последовательности Y_{\rightarrow} составляет $\pi = N \cdot \tau$. Если разбить периодический отрезок $[Y_{\rightarrow}]$ на N участков, то несложно заметить, что $y_{\tau+1} = y_1 \otimes h_{X_{\rightarrow}}$, $y_{2\tau+1} = y_{\tau+1} \otimes h_{X_{\rightarrow}}, \dots, y_{(N-1)\tau+1} = y_{(N-1)\tau+1} \otimes h_{X_{\rightarrow}} = y_1$. Аналогично, для кумулятивной последовательности \bar{Y}_{\rightarrow} : $\bar{y}_{\tau+1} = \bar{y}_1 \bar{\otimes} h_{\bar{X}_{\rightarrow}}$, $\bar{y}_{2\tau+1} = \bar{y}_{\tau+1} \bar{\otimes} h_{\bar{X}_{\rightarrow}}, \dots, \bar{y}_{(N-1)\tau+1} = \bar{y}_{(N-1)\tau+1} \bar{\otimes} h_{\bar{X}_{\rightarrow}} = \bar{y}_1$. Получается, что члены $y_1, y_{\tau+1}, y_{2\tau+1}, \dots, y_{(N-1)\tau+1}$ пробегают все множество U и формируют строку (столбец), соответствующую элементу $h_{X_{\rightarrow}}$ в таблице Кэли для операции \otimes , а члены $\bar{y}_1, \bar{y}_{\tau+1}, \bar{y}_{2\tau+1}, \dots, \bar{y}_{(N-1)\tau+1}$ - строку (столбец), соответствующую элементу $h_{\bar{X}_{\rightarrow}}$ в таблице Кэли для операции $\bar{\otimes}$.



Пусть $\otimes \neq \bar{\otimes}$. Как было показано выше, если операции не конгруэнтны, то в таблицах Кэли данных операций нет совпадающих строк (столбцов) за исключением тех, которые соответствуют нейтральным элементам соответствующих групп. Элементы $h_{X_{\rightarrow}}$ и $h_{\bar{X}_{\rightarrow}}$ не являются нейтральными и, следовательно $\exists i \in \{0, 1, \dots, N-1\} : y_{i\tau+1} \neq \bar{y}_{i\tau+1}$, такие что $y_{i\tau+1} = y_{(i-1)\tau+1} \otimes h_{X_{\rightarrow}}$, $\bar{y}_{i\tau+1} = \bar{y}_{(i-1)\tau+1} \bar{\otimes} h_{\bar{X}_{\rightarrow}}$ при $y_{(i-1)\tau+1} = \bar{y}_{(i-1)\tau+1}$. Это противоречит равенству Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} . *Что и требовалось доказать.*

Утверждение 5. При $\otimes \simeq \bar{\otimes}$ необходимым условием для равенства Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} является $\bar{x}_i = x_i \otimes p^{-1}$ для всех натуральных i , где p - параметр конгруэнтности \otimes и $\bar{\otimes}$.

Доказательство. Пусть $\exists i \in \{1, 2, \dots\} : \bar{x}_i \neq x_i \otimes p^{-1}$. По начальным условиям: $y_i = y_{i-1} \otimes x_i$ и $\bar{y}_i = \bar{y}_{i-1} \bar{\otimes} \bar{x}_i = \bar{y}_{i-1} \otimes \bar{x}_i \otimes p$. Случай $y_{i-1} \neq \bar{y}_{i-1}$ сразу противоречит равенству Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} . При $y_{i-1} = \bar{y}_{i-1}$ и $\bar{x}_i \neq x_i \otimes p^{-1}$ имеем: $\bar{y}_i \neq y_i$, что так же противоречит равенству Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} . *Что и требовалось доказать.*

Утверждение 6. Для равенства Y_{\rightarrow} и \bar{Y}_{\rightarrow} необходимо и достаточно $y_0 = \bar{y}_0$, $\otimes \simeq \bar{\otimes}$ и для всех натуральных i : $\bar{x}_i = x_i \otimes p^{-1}$, где p - параметр конгруэнтности \otimes и $\bar{\otimes}$.

Доказательство. Необходимость этого условия уже доказана по частям (см. утверждения 3, 4 и 5). Достаточность доказывается по индукции.

1) $\bar{y}_1 = \bar{y}_0 \bar{\otimes} \bar{x}_1 = \bar{y}_0 \otimes x_1 \otimes p^{-1} \otimes p = y_0 \otimes x_1 = y_1$;

2) пусть $i > 1$ и $y_{i-1} = \bar{y}_{i-1}$, тогда $\bar{y}_i = \bar{y}_{i-1} \bar{\otimes} \bar{x}_i = \bar{y}_{i-1} \otimes x_i \otimes p^{-1} \otimes p = y_{i-1} \otimes x_i = y_i$.

Следовательно $Y_{\rightarrow} = \bar{Y}_{\rightarrow}$. *Что и требовалось доказать.*

Учитывая рефлексивность отношения конгруэнтности операций и то, что параметр конгруэнтности равных операций является нейтральным элементом соответствующей группы, утверждение 6 в этом частном случае полностью соответствует упомянутому выше утверждению из работы [Румбешт, Ядута, 2014].

Обобщением утверждения 6 на случай $y_0 \neq \bar{y}_0$ является то, что для всех натуральных i : $\bar{y}_i = y_i \otimes \bar{y}_0 \otimes y_0^{-1}$ тогда и только тогда, когда $\otimes \simeq \bar{\otimes}$ и $\bar{x}_i = x_i \otimes p^{-1}$, где p - параметр конгруэнтности \otimes и $\bar{\otimes}$.

Конфигурации в каскадном методе

Определение 3. Конфигурация каскадов - это вектор $C = \langle \otimes^{(1)}, \otimes^{(2)}, \dots, \otimes^{(k)} \rangle$, компонентами которого являются операции из Θ , такие, что на первом уровне преобразования каскадного метода применяется группа $\langle U, \otimes^{(1)} \rangle$, на втором - группа $\langle U, \otimes^{(2)} \rangle$, и так далее, вплоть до k -го уровня, на котором применяется группа $\langle U, \otimes^{(k)} \rangle$. На каждом уровне преобразования, начиная со второго, соответствующая группа применяется и в процедуре-фильтре, и в процедуре порождения кумулятивной последовательности.

Конфигурации, в которых все операции равны между собой будем называть однородными, а все остальные - смешанными. Когда требуется уточнение количества компонентов в конфигурации, будем применять термин " k -уровневая конфигурация".

Две конфигурации будем называть эквивалентными, если каскадный метод в этих конфигурациях порождает равные между собой множества последовательностей. То есть, для любой последовательности, порожденной каскадным методом в первой конфигурации, найдется равная ей последовательность, порожденная во второй конфигурации, и наоборот.

Утверждение 7. Любая k -уровневая конфигурация каскадов $C = \langle \otimes^{(1)}, \otimes^{(2)}, \dots, \otimes^{(k)} \rangle$, в которой все операции конгруэнтны, эквивалентна однородной k -уровневой конфигурации $\bar{C} = \langle \bar{\otimes}, \dots \rangle$, в которой операция $\bar{\otimes}$ конгруэнтна операциям из C .

Доказательство. Каскадный метод использует два вида преобразований: процедуру порождения кумулятивной последовательности (процедура порождения КП) и процедуру-фильтр.

Процедура порождения КП применяется на всех уровнях преобразования. Ее входным параметром является начальный элемент $x_0^{(i)}$, где i - номер уровня преобразования. Кроме этого, на первом уровне преобразования применяется параметр $g^{(1)}$ - характеристический элемент стационарной последовательности, поступающей на вход процедуры порождения КП [Румбешт, 2014]. Для всех уровней преобразования i , начиная со второго, применению процедуры порождения КП предшествует применение процедуры-фильтра. Эта процедура принимает на вход параметры: характеристический элемент выходной последовательности $g^{(i)}$ и позицию замены $m^{(i)}$ [Румбешт, 2014]. Поскольку количества комбинаций значений указанных параметров не зависят от применяемой конфигурации, примем гипотезу о равной мощности множеств последовательностей, порождаемых каскадным методом в конфигурациях C и \bar{C} .

Для доказательства утверждения требуется показать, что с одной стороны, при равенстве порождаемых последовательностей выполняется условие конгруэнтности операций, а с другой стороны, для любого возможного набора значений параметров в конфигурации \bar{C} найдется набор значений параметров в конфигурации C , такой, что каскадный метод и в первом и во втором случае порождает равные последовательности. Для этого достаточно ограничиться рассмотрением случаев 1 и 2-уровневых конфигураций, поскольку рассуждения для количества уровней больше 2 оказываются аналогичными.

Случай 1-уровневых конфигураций. Пусть $X_{\rightarrow}^{(1)}$ - последовательность, порожденная каскадным методом в конфигурации C при заданных параметрах $g^{(1)} \in G_{\langle U, \otimes^{(1)} \rangle}$, $x_0^{(1)} \in U$; $\bar{X}_{\rightarrow}^{(1)}$ - последовательность, порожденная каскадным методом в конфигурации \bar{C} при заданных параметрах $\bar{g}^{(1)} \in G_{\langle U, \bar{\otimes} \rangle}$, $\bar{x}_0^{(1)} \in U$.

С одной стороны, если $X_{\rightarrow}^{(1)} = \bar{X}_{\rightarrow}^{(1)}$, то по утверждению 6: $\bar{\otimes} \simeq \otimes^{(1)}$. С другой стороны, пусть $\bar{\otimes} \simeq \otimes^{(1)}$ и p_1 - параметр конгруэнтности $\bar{\otimes}$ и $\otimes^{(1)}$. Биекция $f: U \rightarrow U$, такая, что $\forall x \in U: f(x) = x \bar{\otimes} p_1^{-1}$, является автоморфизмом группы $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$ на группу $\langle U, \otimes^{(1)} \rangle$. Следовательно $(\bar{g}^{(1)} \bar{\otimes} p_1^{-1}) \in G_{\langle U, \otimes^{(1)} \rangle}$. По утверждению 6, при $g^{(1)} = \bar{g}^{(1)} \bar{\otimes} p_1^{-1}$ и $x_0^{(1)} = \bar{x}_0^{(1)}$ имеем $X_{\rightarrow}^{(1)} = \bar{X}_{\rightarrow}^{(1)}$.

Случай 2-уровневых конфигураций. Пусть $\bar{X}_{\rightarrow}^{(1)}$, $\bar{X}_{\rightarrow}^{(2)}$, $X_{\rightarrow}^{(1)}$ и $X_{\rightarrow}^{(2)}$ - последовательности, порожденные первым и вторым уровнями преобразования каскадного метода в конфигурациях \bar{C} и C соответственно; $\bar{g}^{(1)}, \bar{g}^{(2)} \in G_{\langle U, \bar{\otimes} \rangle}$, $\bar{x}_0^{(1)}, \bar{x}_0^{(2)} \in U$, $\bar{m}^{(2)} \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ - параметры каскадного метода в конфигурации \bar{C} ; $g^{(1)} \in G_{\langle U, \otimes^{(1)} \rangle}$, $g^{(2)} \in G_{\langle U, \otimes^{(2)} \rangle}$, $x_0^{(1)}, x_0^{(2)} \in U$, $m^{(2)} \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ - параметры каскадного метода в конфигурации C .

С одной стороны, если $X_{\rightarrow}^{(2)} = \bar{X}_{\rightarrow}^{(2)}$, то по утверждению 6: $\bar{\otimes} \simeq \otimes^{(2)}$ и $\tilde{x}_i = \tilde{\tilde{x}}_i \bar{\otimes} p_2^{-1}$ для $\forall i \in \{1, 2, \dots\}$. Здесь $\tilde{\tilde{x}}_i$ и \tilde{x}_i - члены последовательностей $\tilde{\tilde{X}}_{\rightarrow}$ и \tilde{X}_{\rightarrow} , формируемых процедурой-фильтром из $X_{\rightarrow}^{(1)}$ и $\bar{X}_{\rightarrow}^{(1)}$, p_2 - параметр конгруэнтности $\bar{\otimes}$ и $\otimes^{(2)}$.

Очевидно, что такой результат может быть получен только при $m^{(2)} = \bar{m}^{(2)}$. В силу автоморфизма группы $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$ на группу $\langle U, \otimes^{(2)} \rangle$ имеем: $h_{x_{\rightarrow}^{(1)}} = h_{\bar{x}_{\rightarrow}^{(1)}} \bar{\otimes} p_2^{-1}$ и $h_{\tilde{x}_{\rightarrow}} = h_{\tilde{\tilde{x}}_{\rightarrow}} \otimes p_2^{-1}$, где $h_{x_{\rightarrow}^{(1)}}$ и $h_{\tilde{x}_{\rightarrow}}$ - характеристические элементы $X_{\rightarrow}^{(1)}$ и \tilde{X}_{\rightarrow} в группе $\langle U, \otimes^{(2)} \rangle$, а $h_{\bar{x}_{\rightarrow}^{(1)}}$ и $h_{\tilde{\tilde{x}}_{\rightarrow}}$ - характеристические элементы $\bar{X}_{\rightarrow}^{(1)}$ и $\tilde{\tilde{X}}_{\rightarrow}$ в группе $\langle U, \bar{\otimes} \rangle$. По определению процедуры-фильтра [Румбешт, 2014]: $h_{\tilde{x}_{\rightarrow}} = g^{(2)}$ и $h_{\tilde{\tilde{x}}_{\rightarrow}} = \bar{g}^{(2)}$. Проведем обращение результата применения процедуры-фильтра. Получим члены $\bar{X}_{\rightarrow}^{(1)}$ и $X_{\rightarrow}^{(1)}$, такие, что $\forall i \in \{1, 2, \dots\}$:



$$\bar{x}_i^{(1)} = \begin{cases} \tilde{x}_i, & \text{если } \bar{m}^{(2)} \neq (i \bmod N); \\ \tilde{x}_i \otimes \bar{g}^{(2)-1} \otimes h_{\bar{x}_i^{(1)}}, & \text{если } \bar{m}^{(2)} = (i \bmod N); \end{cases}$$

$$x_i^{(1)} = \begin{cases} \tilde{x}_i, & \text{если } m^{(2)} \neq (i \bmod N); \\ \tilde{x}_i \otimes g^{(2)-1} \otimes h_{x_i^{(1)}}, & \text{если } m^{(2)} = (i \bmod N); \end{cases}$$

Учитывая, что $m^{(2)} = \bar{m}^{(2)}$, $h_{x_i^{(1)}} = h_{\bar{x}_i^{(1)}} \otimes p_2^{-1}$ и $g^{(2)-1} = \bar{g}^{(2)-1} \otimes p_2^{-1}$, получим соотношение между членами последовательностей $X_{\rightarrow}^{(1)}$ и $\bar{X}_{\rightarrow}^{(1)}$: $x_i^{(1)} = \bar{x}_i^{(1)} \otimes p_2^{-1}$ для $\forall i \in \{1, 2, \dots\}$. Из этого, по обобщению утверждения 6, следует, что $\bar{\otimes} \simeq \otimes^{(1)}$. И в силу того, что конгруэнтность есть отношение эквивалентности, $\otimes^{(2)} \simeq \otimes^{(1)}$.

С другой стороны, несложно видеть, при $\bar{\otimes} \simeq \otimes^{(1)}$, $\bar{\otimes} \simeq \otimes^{(2)}$, $\otimes^{(2)} \simeq \otimes^{(1)}$ и значениях параметров $g^{(1)} = \bar{g}^{(1)} \otimes p_1^{-1}$, $x_0^{(1)} = \bar{x}_0^{(1)} \otimes^{(1)} (p_2^{-1} \otimes p_1^{-1})$, $g^{(2)} = \bar{g}^{(2)} \otimes p_2^{-1}$, $m^{(2)} = \bar{m}^{(1)}$, $x_0^{(2)} = \bar{x}_0^{(2)}$ каскадный метод в конфигурациях C и \bar{C} порождает равные последовательности $X_{\rightarrow}^{(2)}$ и $\bar{X}_{\rightarrow}^{(2)}$. *Что и требовалось доказать.*

Следствием утверждения 7 является то, что конфигурации каскадов, все компоненты которых принадлежат одному и тому же классу эквивалентности конгруэнтных операций, эквивалентны между собой. Это позволяет сделать вывод о том, что для построения конфигураций каскадов применение всех возможных операций из Θ избыточно.

Во множестве Θ выделим подмножество $\Theta_{\neq} \subset \Theta$, элементами которого являются операции такие, что они попарно не конгруэнтны, и их состав покрывает все классы эквивалентности конгруэнтных операций. Другими словами, элементами множества Θ_{\neq} являются операции, выбранные по одной из каждого класса эквивалентности.

Для построения конфигураций каскадов ограничимся операциями из Θ_{\neq} . Это ограничивает и гарантирует, что среди всех различных конфигураций не будет эквивалентных.

Обозначим символом $Conf_k$ множество всех возможных k -уровневых конфигураций каскадов, компоненты которых выбираются из Θ_{\neq} . Мощность множества Θ_{\neq} есть $\frac{(N-1)!}{\varphi(N)}$ и, следова-

тельно, мощность $Conf_k$ составляет: $|Conf_k| = \left(\frac{(N-1)!}{\varphi(N)} \right)^k$.

Уточнение оценки количества последовательностей, порождаемых каскадным методом в любой допустимой конфигурации

В работе [Румбешт, Ядута, 2014] оценивалось количество последовательностей, порождаемых каскадным методом, но результаты, в ней полученные, справедливы для отдельно взятых однородных конфигураций. Для оценки количества последовательностей, порождаемых смешанными конфигурациями, требуется дополнительный анализ.

Этот анализ показывает, что для групп более чем 4-го порядка оценка, полученная в статье [Румбешт, Ядута, 2014], остается справедливой для любой допустимой конфигурации (как однородной, так и смешанной). Дело в том, что любые две неравные последовательности, поступающие на вход любой процедуры-фильтра, не удовлетворяют условию равенства последовательностей, ею формируемых [Румбешт, Ядута, 2014], поскольку их периодические отрезки имеют более двух позиций не совпадения. Эта ситуация никак не зависит от того, какая группа применяется для порождения таких последовательностей, и какая группа применяется в процедуре-фильтре. Полученная оценка справедлива и для групп 3-го порядка, поскольку в этом случае множество Θ_{\neq} содержит только одну операцию и, следовательно, k -уровневая конфигурация единственна и является однородной.

Исключение составляет оценка для групп 4-го порядка. Анализируя последовательности, порожденные первым уровнем преобразования при $N = 4$, можно заметить, что из них можно выделить пары последовательностей, такие, что их периодические отрезки имеют две позиции несовпадения. Элементы, находящиеся в позициях несовпадения, являются образующими группы

$\langle U, \otimes^{(1)} \rangle$, где $\otimes^{(1)}$ - групповая операция первого уровня преобразования. Если на втором уровне преобразования применяется операция $\otimes^{(2)} = \otimes^{(1)}$, то условие равенства последовательностей, формируемых процедурой-фильтром, не выполняется и количество последовательностей, порождаемых на втором уровне преобразования, составляет 256. Это показано в [Румбешт, Ядута, 2014].

Если же $\otimes^{(2)} \neq \otimes^{(1)}$, то в силу не конгруэнтности операций, эти же элементы получают другой "статус" в группе $\langle U, \otimes^{(2)} \rangle$: один из них все так же остается образующим, а другой является либо нейтральным, либо элементом второго порядка. В этом случае условие равенства последовательностей, формируемых процедурой-фильтром, может стать истинным. То есть, существуют пары различных между собой комбинаций значений параметров процедуры-фильтра, которые приводят к формированию одной и той же последовательности на ее выходе. Следовательно, количество последовательностей, порождаемых на втором уровне преобразования при $\otimes^{(2)} \neq \otimes^{(1)}$ вдвое меньше, чем при $\otimes^{(2)} = \otimes^{(1)}$, и составляет 128.

Для уровней преобразования больших, чем 2, любые две неравные последовательности, поступающие на вход процедуры-фильтра, не удовлетворяют условию равенства последовательностей, ею формируемых, поскольку их периодические отрезки имеют более двух позиций не совпадения. Эта ситуация также никак не зависит от того, какая группа применяется для порождения этих последовательностей, и, какая группа применяется в процедуре-фильтре. То есть, при любой комбинации значений параметров, порождается уникальная последовательность. Оценка количества последовательностей при $\otimes^{(2)} = \otimes^{(1)}$ совпадает с результатами [Румбешт, Ядута, 2014], а при $\otimes^{(2)} \neq \otimes^{(1)}$ вдвое меньше, чем при $\otimes^{(2)} = \otimes^{(1)}$. Таким образом, уточненная оценка есть:

$$v(N, k) = \begin{cases} N \cdot \varphi(N), & \text{если } k = 1; \\ \frac{N^{\frac{k^2+k}{2}} \cdot \varphi(N)^k}{2}, & \text{если } k > 1 \text{ \& } (N = 3 \vee (N = 4 \text{ \& } \otimes^{(2)} \neq \otimes^{(1)})); \\ N^{\frac{k^2+k}{2}} \cdot \varphi(N)^k, & \text{если } k > 1 \text{ \& } (N > 4 \vee (N = 4 \text{ \& } \otimes^{(2)} = \otimes^{(1)})); \end{cases} \quad (1)$$

где N - порядок группы, k - количество уровней преобразования, $v(N, k)$ - количество последовательностей, порождаемых каскадным методом в любой конфигурации из $Conf_k$, $\otimes^{(1)}$ и $\otimes^{(2)}$ - операции первого и второго уровней преобразования.

Множество последовательностей, порождаемых во всех конфигурациях каскадов, и его мощность

Введение множества $Conf_k$ позволяет говорить не только о множестве последовательностей, порождаемых в отдельной конфигурации $C \in Conf_k$, но и множестве последовательностей, порождаемых во всех конфигурациях в целом. Обозначим через Δ_C - множество последовательностей, порождаемых каскадным методом в k -уровневой конфигурации $C \in Conf_k$, а через $\Delta_k = \bigcup_{C \in Conf_k} \Delta_C$ - множество последовательностей, порождаемых во всех возможных конфигурациях из $Conf_k$. Согласно выше приведенному уточнению $\forall C \in Conf_k : |\Delta_C| = v(N, k)$, где $|\Delta_C|$ обозначает мощность Δ_C (см. формулу 1).

Выбор конфигураций из $Conf_k$ гарантирует, что каскадный метод в любых двух не равных конфигурациях порождает не равные между собой множества последовательностей. Однако, это не означает, что в любых конфигурациях порождаются не пересекающиеся множества последовательностей. По этому, вообще говоря, все Δ_C , в которых $C \in Conf_k$, не образуют разбиение Δ_k , и для нахождения мощности Δ_k нельзя просто воспользоваться оценкой $v(N, k)$.

Для упрощения дальнейшего описания введем отображение $Op: Conf_k \times \{1, 2, \dots, k\} \rightarrow \Theta_z$, которое определяет, какая конкретная операция применяется в заданной конфигурации на заданном уровне преобразования.



Учитывая утверждение 6, с уверенностью можно говорить о том, что $\forall C_1, C_2 \in Conf_k : \Delta_{C_1} \cap \Delta_{C_2} = \emptyset$, если $Op(C_1, k) \neq Op(C_2, k)$.

Рассмотрим $\Delta_{(k, \otimes)} = \bigcup_{\substack{C \in Conf_k \\ Op(C, k) = \otimes}} \Delta_C$ - множество последовательностей, порождаемых каскадным методом во всех конфигурациях, имеющих операции равные \otimes на k -том (последнем) уровне преобразования, и $\eta(N, k)$ - оценку количества последовательностей, порождаемых методом во всех конфигурациях с фиксированной операцией на k -том уровне. Очевидно, что $\forall \otimes \in \Theta_\neq : |\Delta_{(k, \otimes)}| = \eta(N, k)$.

Множество Δ_k можно рассматривать как $\Delta_k = \bigcup_{\otimes \in \Theta_\neq} \Delta_{(k, \otimes)}$. По утверждению 6: $\forall \otimes, \bar{\otimes} \in \Theta_\neq : \Delta_{(k, \otimes)} \cap \Delta_{(k, \bar{\otimes})} = \emptyset$, если $\otimes \neq \bar{\otimes}$.

Отсюда следует, что

$$|\Delta_k| = \sum_{\otimes \in \Theta_\neq} |\Delta_{(k, \otimes)}| = \eta(N, k) \cdot \frac{(N-1)!}{\varphi(N)}. \tag{2}$$

Для 1-уровневых конфигураций имеем $\forall \otimes \in \Theta_\neq : \Delta_{(1, \otimes)} = \Delta_C$, где $C \in Conf_1$ и $Op(C, 1) = \otimes$. Следовательно, $\eta(N, 1) = \nu(N, 1)$ и по формулам (1) и (2):

$$|\Delta_1| = N \cdot \varphi(N) \cdot \frac{(N-1)!}{\varphi(N)} = N! \tag{3}$$

Таким образом, получается, что Δ_1 содержит последовательности, имеющие периодические отрезки, являющиеся всеми возможными перестановками элементов U .

Во всех 2-уровневых конфигурациях, в которых каскадный метод порождает множество последовательностей $\Delta_{(2, \otimes)}$, на вход процедуры-фильтра поступают последовательности из Δ_1 .

Количество комбинаций значений параметров, поступающих на вход процедуры-фильтра, составляет $N \cdot \varphi(N) \cdot N!$. Поскольку Δ_1 содержит последовательности, имеющие периодические отрезки, являющиеся всеми возможными перестановками элементов U , то для любой комбинации значений параметров найдется единственная, не равная ей, но такая, при которой условие равенства последовательностей, формируемых процедурой фильтром, становится истинным. Следовательно, при двух неравных комбинациях значений параметров на выходе этой процедуры формируется один и тот же результат. Получается, что на вход процедуры порождения КП во всех 2-уровневых конфигурациях с фиксированной операцией второго уровня поступает ровно $\frac{N \cdot \varphi(N) \cdot N!}{2}$ различных последовательностей. Учитывая, что существует N вариантов выбора

начального элемента этой процедуры, окончательно получим: $\eta(N, 2) = \frac{N^2 \cdot \varphi(N) \cdot N!}{2}$.

По формуле 2:

$$|\Delta_2| = \frac{N \cdot (N!)^2}{2} \tag{4}$$

В отличие от 2-уровневых конфигураций, при порождении последовательностей из $\Delta_{(k, \otimes)}$ ($k > 2$), на вход процедуры-фильтра k -го уровня преобразования поступают элементы Δ_{k-1} , которые уже не удовлетворяют условию равенства последовательностей, ею формируемых, поскольку периодические отрезки любых двух не равных элементов Δ_{k-1} имеют более двух позиций не совпадения. Поэтому, при $k > 2$ на выходе k -го уровня преобразования формируются последовательности в количестве равном произведению возможных вариантов выбора значений параметров этого уровня: $\eta(N, k) = |\Delta_{k-1}| \cdot N^k \cdot \varphi(N)$. Устранив рекурсию, окончательно получим:

$$\eta(N, k) = \begin{cases} N \cdot \varphi(N), & \text{если } k = 1; \\ \frac{N^{\frac{k^2-k+2}{2}} \cdot \varphi(N) \cdot (N!)^{k-1}}{2}, & \text{если } k > 1; \end{cases} \quad \text{и по формуле (2)}$$

$$|\Delta_k| = \begin{cases} N!, & \text{если } k = 1; \\ \frac{N^{\frac{k^2-k}{2}} \cdot (N!)^k}{2}, & \text{если } k > 1; \end{cases} \quad (5)$$

Заключение

Об уникальности результата каскадного метода в конфигурации $C_1 \in Conf_k$ можно говорить, если Δ_{C_1} не пересекается ни с каким другим Δ_{C_2} , где $C_2 \in Conf_k$ и $C_2 \neq C_1$. По этому, уникальные результаты каскадного метода формируются только в 1-уровневых конфигурациях. При $k > 1$, для любой $C_1 \in Conf_k$ найдется $C_2 \in Conf_k$, такая, что $C_2 \neq C_1$ и $\Delta_{C_2} \cap \Delta_{C_1} \neq \emptyset$. Причиной этому является показанная выше особенность порождения последовательностей на 2 уровне преобразования во всех возможных конфигурациях.

Добиться уникальности результатов каскадного метода в общем случае можно за счет введения ограничений на значения параметров уровней преобразования. Действительно, если для всех конфигураций каскадов зафиксировать значение позиции замены $m^{(2)} \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ на втором уровне преобразования, то условие равенства последовательностей, формируемых процедурой фильтром, не будет выполняться для не равных входных последовательностей, и в каждой конфигурации на выходе 2-го уровня, как и на выходе всех последующих уровней, будет формироваться уникальный результат.

Количество последовательностей, порождаемых при таком ограничении в любой конфигурации, сократится до:

$$v'(N, k) = \begin{cases} N \cdot \varphi(N), & \text{если } k = 1; \\ \frac{N^{\frac{k^2+k-2}{2}} \cdot \varphi(N)^k}{2}, & \text{если } k > 1; \end{cases} \quad (6)$$

Но каждой формируемой последовательности будет соответствовать единственный набор значений параметров вне зависимости от дополнительных условий.

Пусть $k > 1$. Обозначим символом $\Delta_C(m) \subset \Delta_C$ множество последовательностей, порождаемых каскадным методом в k -уровневой конфигурации $C \in Conf_k$ при значении $m^{(2)} = m$. Очевидно, что $\forall C \in Conf_k, \forall m \in \{0, 1, \dots, N-1\}: |\Delta_C(m)| = v'(N, k)$.

Множество $\Delta_k(m) = \bigcup_{C \in Conf_k} \Delta_C(m)$ содержит последовательности, порождаемые во всех возможных конфигурациях при $m^{(2)} = m$. Соответственно, все $\Delta_C(m)$ суть разбиение $\Delta_k(m)$ на непересекающиеся подмножества. Для любого $m \in \{0, 1, \dots, N-1\}$ мощность $\Delta_k(m)$ легко найти:

$$|\Delta_k(m)| = v'(N, k) \cdot \left(\frac{(N-1)!}{\varphi(N)} \right)^k = \begin{cases} N!, & \text{если } k = 1; \\ \frac{N^{\frac{k^2-k-2}{2}} \cdot (N!)^k}{2}, & \text{если } k > 1; \end{cases} \quad (7)$$

Таким образом, введение указанного ограничения уменьшает общее количество порождаемых последовательностей в $\frac{N}{2}$ раз, по сравнению с $|\Delta_k|$, если $k > 1$.

Список литературы References

- Калужнин Л. А., Сушанский В. И. 1985. Преобразования и перестановки. М., Наука, 160.
Kaluzhnnin L. A., Sushhanskij V. I. 1985. Preobrazovanija i perestankovki [Transformations and permutations]. Moscow, Nauka, 160. (in Russian)



Румбешт В.В. 2014. Каскадный метод порождения периодических последовательностей над элементами циклической группы. Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. № 8 (179) Выпуск 30/1: 103-112.

Rumbesht V.V. 2014. The cascade method of generation of periodic sequences over elements of a cyclic group. Nauchnye vedomosti BelGU. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. [Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Political science. Economics. Information technologies] № 8 (179) 30/1: 103-112. (in Russian)

Румбешт В.В., Ядута А.З. 2014. Оценка количества последовательностей, порождаемых каскадным методом. Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. № 21 (192) Выпуск 32/1: 109-117.

Rumbesht V.V., Jaduta A.Z. 2014. Evaluation of the number of sequences generated by the cascade method. Nauchnye vedomosti BelGU. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. [Belgorod State University Scientific Bulletin. History. Political science. Economics. Information technologies] № 21 (192) 32/1: 109-117. (in Russian)



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.942: 519.876.5

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЗАДАННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ КОМПОНЕНТОВ

EVOLUTIONARY SYNTHESIS OF SYSTEMS BASED ON A PRE ASSIGNED ELEMENT BASE OF COMPONENTS

Д.А. Петросов, В.А. Ломазов, Д.А. Басавин
D.A. Petrosov, V.A. Lomazov, D.A. Basavin

*Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, Россия, 308503, Белгородский район,
п. Майский, ул. Вавилова, 1*
Belgorod State Agricultural University named after V.J. Gorin, 1 Vavilova St, pos. Mayskiy, Belgorod region, 308503, Russia
e-mail: vlomazov@yandex.ru, scorpionss2002@mail.ru, greensnow@mail.ru

Аннотация. В работе проведено обоснование использования эволюционных методов в задачах структурного синтеза больших систем с заданным поведением. В рамках имитационного моделирования синтеза разработано представление процессов в виде вложенной сети Петри. Процесс структурного синтеза описан с использованием методологии IDEF0 и IDEF3. Проведены вычислительные эксперименты на базе разработанной специализированной информационной системы, подтвердившие предложенную в работе гипотезу о существовании оптимальной начальной популяции при эволюционном структурном синтезе систем при заданной элементной базе компонентов.

Resume. In the paper the use of evolutionary methods in problems of structural synthesis of large-scale systems with a pre assigned behavior is substantiated. As part of the simulation synthesis representation of processes in the form of a nested Petri nets is developed. The process of structural synthesis is described using IDEF0 and IDEF3 methodologies. Computational experiments based on the developed specialized information system, are confirming the hypothesis of the existence of an optimal initial population in the evolutionary synthesis of structural systems for a pre assigned element base of components.

Ключевые слова: структурный синтез, эволюционные методы, генетические алгоритмы, сети Петри.
Keywords: structural synthesis, evolutionary methods, genetic algorithms, Petri nets.

Проблема разработки адекватных моделей и эффективных методов структурного синтеза систем (выбора типов компонентов и связей между ними) является актуальной для различных сфер научных исследований (например, [1-4]). При синтезе структур больших систем с большим количеством компонентов и связей важное значение имеют временные характеристики используемых алгоритмов. В рамках существующих подходов уменьшение времени поиска оптимальной (рациональной) структуры системы достигалось, как правило, за счет оптимизации по стохастическим критериям и применения параллельных вычислений. При этом дополнительные возможности повышения эффективности могут быть обеспечены за счет применения эволюционных методов синтеза, одним из которых является генетический алгоритм (ГА).

Используемое в теории ГА представление объектов в виде кортежей признаков (хромосом) с последующим применением к ним эволюционных принципов изменчивости и наследственности дает возможность уменьшить время поиска решения за счет направленного перебора. При этом на скорость работы направленного перебора можно воздействовать с помощью различных стратегий

эволюции и настройки работы генетических операторов (как в классическом так и в модернизированном генетическом алгоритме). В настоящее время эволюционные подходы применяются, как правило, для решения многоэкстремальных задач скалярной оптимизации [5-7]. Применяя ГА, требуется выполнить его адаптацию к задачам из предметной области. При этом следует использовать унифицированный математический аппарат, который будет способен моделировать работы систем из различных предметных областей. Таким математическим аппаратом предлагается использовать теорию сетей Петри (СП), который достаточно широко применяется при моделировании различных систем [8] и достаточно развит для описания самой эволюционной процедуры синтеза систем [9,10].

Адаптация ГА к задаче структурного синтеза больших систем с заданным поведением, как для систем с фиксированными межкомпонентными связями (когда генетический алгоритм ограничивается работой только с элементами системы), так и для систем с динамическими межэлементными связями (когда генетический алгоритм осуществляет структурный синтез системы, не только основываясь на работе с элементами, но и обрабатывает межэлементные связи была проведена в [11, 12] (рис. 1). Моделирование ГА осуществляется с помощью вложенных СП, где существует возможность представлять метку в виде сети. Для этого на первом уровне СП проведено моделирование работы ГА. В данной модели переходы выполняют функции операторов ГА, а позиции служат для сохранения результатов работы операторов-переходов. Метки на первом уровне сети представляют собой генотипы, которые образуют популяцию, при этом они являются моделями синтезируемой системы, над которыми выполняют работу операторы ГА, представленные в виде переходов.

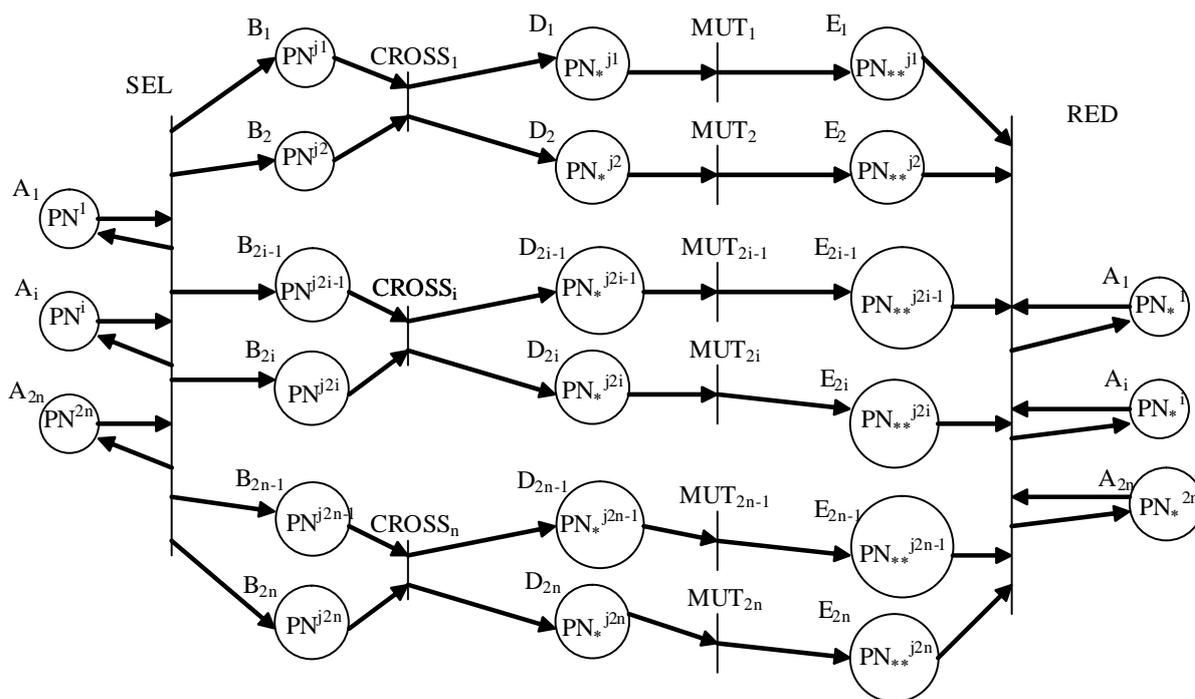


Рис. 1. Описание генетического алгоритма сетью Петри
Fig. 1. Petri net description of genetic algorithm

Работа представленной модели выполняется следующим образом:

1. Для каждого компонента, который может входить в состав синтезируемой системы следует построить модель каждого его экземпляра с использованием математического аппарата СП.
2. Определить структуру модели синтезируемой системы структуры, определив множество переходов и соответствие.
3. Задать свойство, которым должна обладать синтезируемая дискретная система с заданным поведением, в виде пары векторов (эталонный входной и выходной).
4. Сформировать начальную популяцию.

декомпозицию контекстной диаграммы «Структурный синтез систем с заданным поведением». Декомпозиция контекстной диаграммы структурного синтеза систем представлена на рисунке 3.

Основной процесс разбит на три составляющие: ввод параметров синтеза, автоматический синтез и анализ результатов синтеза.

Подпроцесс «Ввод параметров синтеза системы» дает возможность выполнить настройки процедуры синтеза. При этом эксперт может выбирать модели (из существующих или импортировать, например с использованием стандарта представления СП в информационных системах PNML), которые будут участвовать при поиске решения, выполнять настройку ГА. На данном этапе эксперт может руководствоваться своими знаниями в предметной области. Стоит отметить, что при разработке программных средств на основе предложенных моделей и методов существует возможность подключения теории экспертных технологий, которые также могут быть описаны с помощью математического аппарата СП и станут надстройками для предложенной модели эволюционного структурного синтеза (в настоящее время авторами ведется работа в данном направлении).

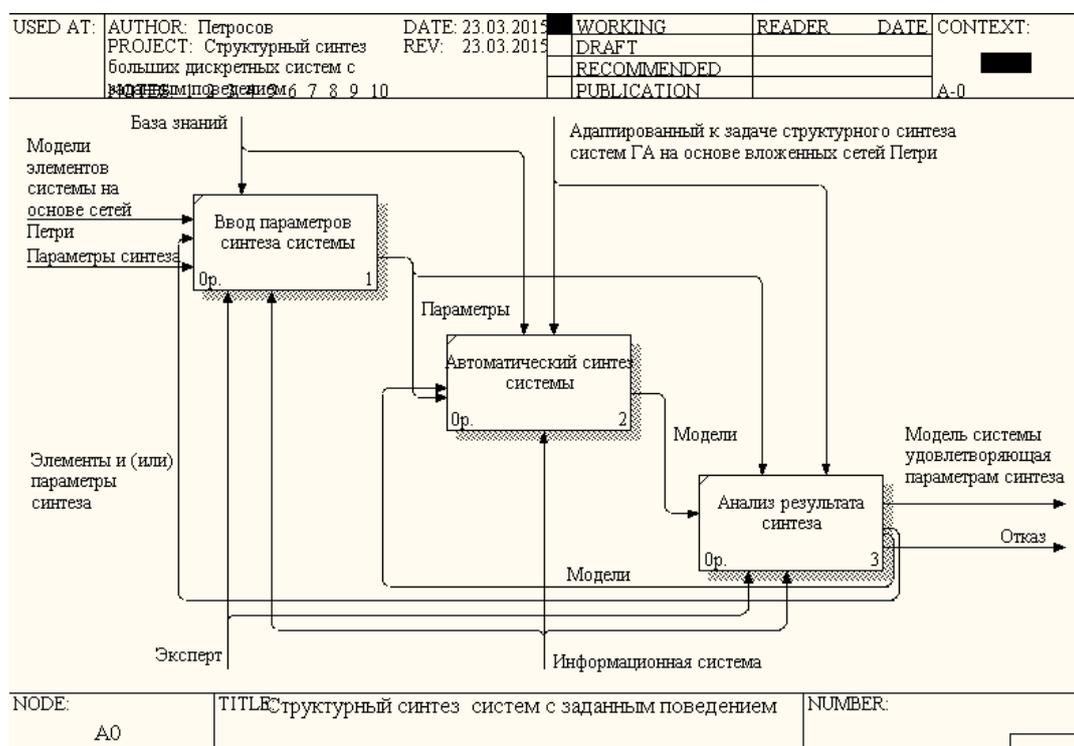


Рис. 3. Декомпозиция контекстной диаграммы структурного синтеза систем с заданным поведением

Fig. 3. Decomposition context diagrams of structural synthesis of systems with given behavior

В подпроцессе «Автоматический синтез систем» на основе переданных параметров, которые включают в себя элементную базу, настройки ГА и критерии поиска решения проходит процесс синтеза системы, удовлетворяющей выдвинутым условиям. Анализ результата синтеза проводится экспертом, который отбирает из наилучших решений такое, которое либо полностью удовлетворяет его требованиям, либо является частичным решением, найденным за отведенное время на выбранной элементной базе. Для полноты понимания подпроцесса «Автоматический синтез системы» проведем его декомпозицию (для этого используем методологию IDEF3 (рис. 4)).

В данном подпроцессе представлена работа классического генетического алгоритма (который был представлен в виде вложенной сети Петри ранее), т.е. не используется оператор инверсии, который позволяет уменьшить область поиска. Коротко работу данного подпроцесса можно объяснить следующим образом: на основе моделей элементов (описанных с использованием математического аппарата СП) происходит генерация начальной популяции, скрещивание ее особей, мутация потомков и редукция, в результате которой получается модифицированная популяция. После проверки критериев остановка либо описанный выше процесс повторяется, либо полученные модели выводятся эксперту на анализ.

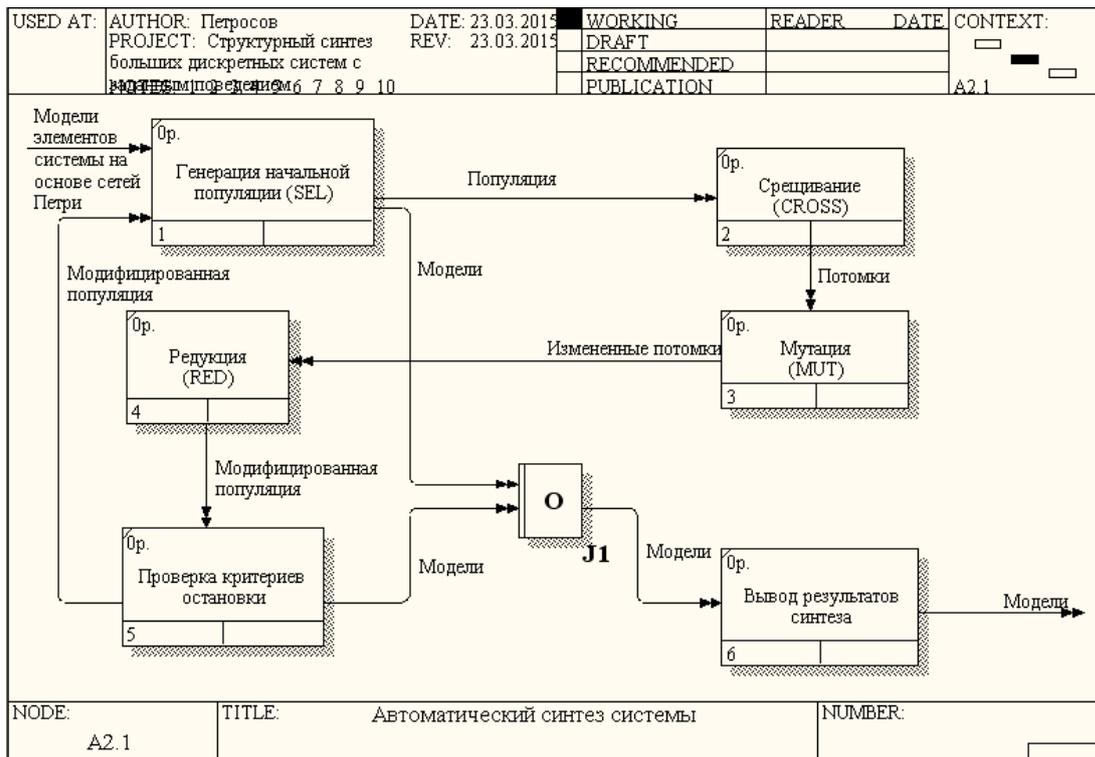


Рис. 4. Декомпозиция процесса автоматического проектирования
 Fig. 4. Decomposition process of automatic design

Подпроцесс «Анализ результата синтеза», с использованием методологии IDEF3, предлагается представить следующим образом (рис. 5).

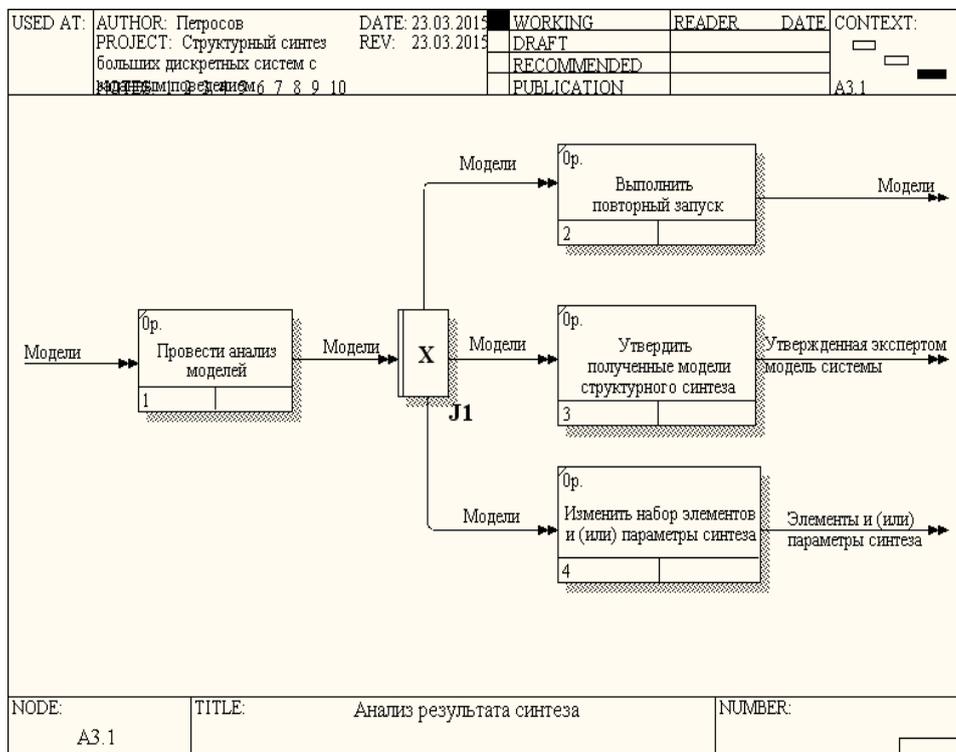


Рис. 5. Декомпозиция модели процесса анализа
 Fig. 5. Decomposition of process of model analyzing

В результате анализа полученных в результате синтеза моделей может быть осуществлен: повторный запуск процедуры, изменение набора элементов и (или) параметров синтеза, утверждение экспертом полученных моделей [4].

Проведенная работа по описанию процессов эволюционной процедуры структурного синтеза систем дает возможность разработать архитектуру для информационной системы (ИС), базирующейся на предложенных моделях и методах (рис. 6).

На основе предложенной архитектуры ИС было разработано программное обеспечение, которое дало возможность проводить вычислительные эксперименты по решению задачи структурного синтеза систем с элементами памяти.

В качестве элементов памяти использовались триггеры RS, D, T, для этого в были созданы модели триггеров (RS, D, T) на основе сетей Петри (рис. 7) [13].

Разработанное программного обеспечение и элементная база дала возможность проверить гипотезу о влиянии начальной популяции на время эволюционного структурного синтеза систем.

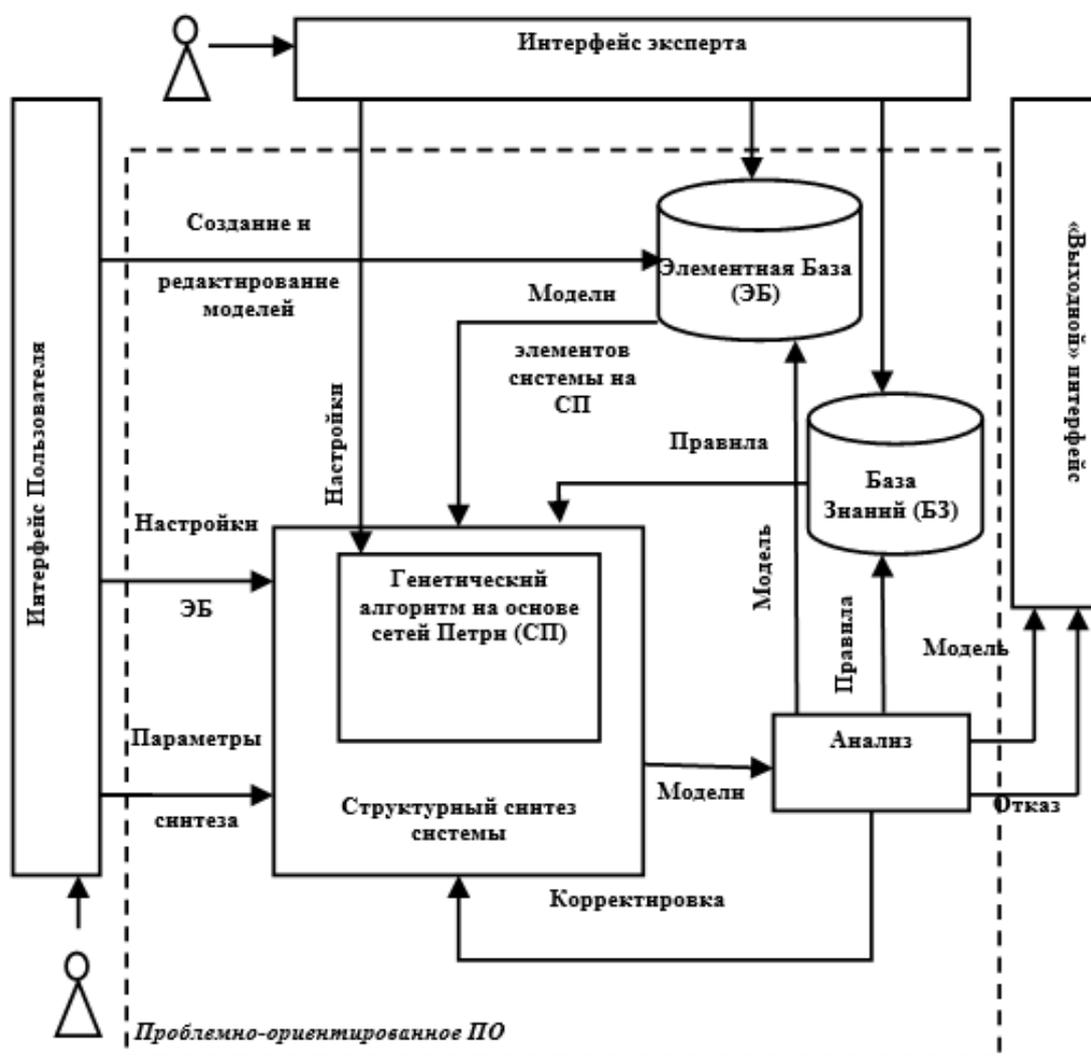


Рис. 6. Архитектура информационной системы
Fig. 6. The architecture of the information system

Гипотеза обосновывается тем, что:

- чем меньше размер популяции, тем больше времени требуется на поиск решения (больше операций скрещивания и мутации).
- начиная с некоторого (достаточно большого) размера популяции на операции скрещивания и мутации уходит так много времени, что дальнейшее увеличение популяции увеличивает время поиска решения.

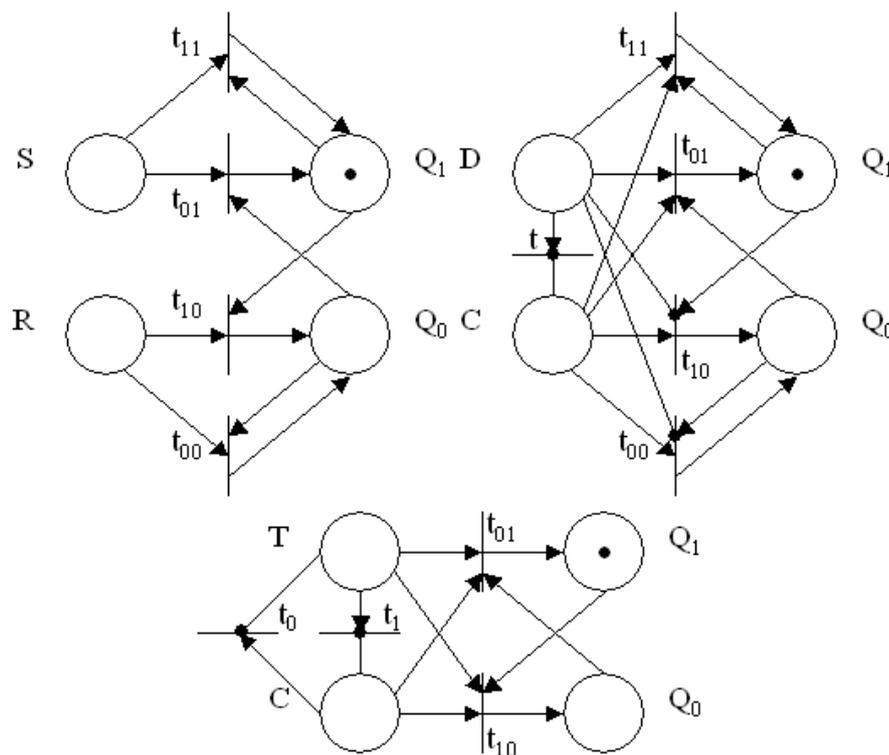


Рис. 7. Модели RS, D, T триггеров на основе сетей Петри
 Fig. 7. Models of RS, D, T triggers based on Petri nets

Для проверки выдвинутой гипотезы были проведены вычислительные эксперименты, с помощью зарегистрированного программного продукта GAPN v 1.0. результаты нахождения первой, соответствующей критерию поиска (входной вектор 101010 и выходной вектор 011010), структуры системы 3×4 приведены в таблице.

Таблица
Table

Результаты экспериментов (среднее время поиска)
The results of experiments (average time of search)

№	Кол-во генотипов	Повторов, n	Среднее время \bar{t}_n , с
1	5	4	3,251
2	6	7	2,745
3	7	4	1,236
4	8	9	0,854
5	9	25	0,512
6	10	15	0,438
7	20	33	0,375
8	30	10	0,406
9	40	22	0,421
10	100	89	0,516
11	150	94	0,703
12	200	151	0,906
13	300	157	0,875
14	400	50	1,359
15	500	74	2,328

На рисунке 8 отображен график среднего времени, требуемого, для синтеза системы размерностью 3×4 в зависимости от размеров начальной популяции генетического алгоритма.

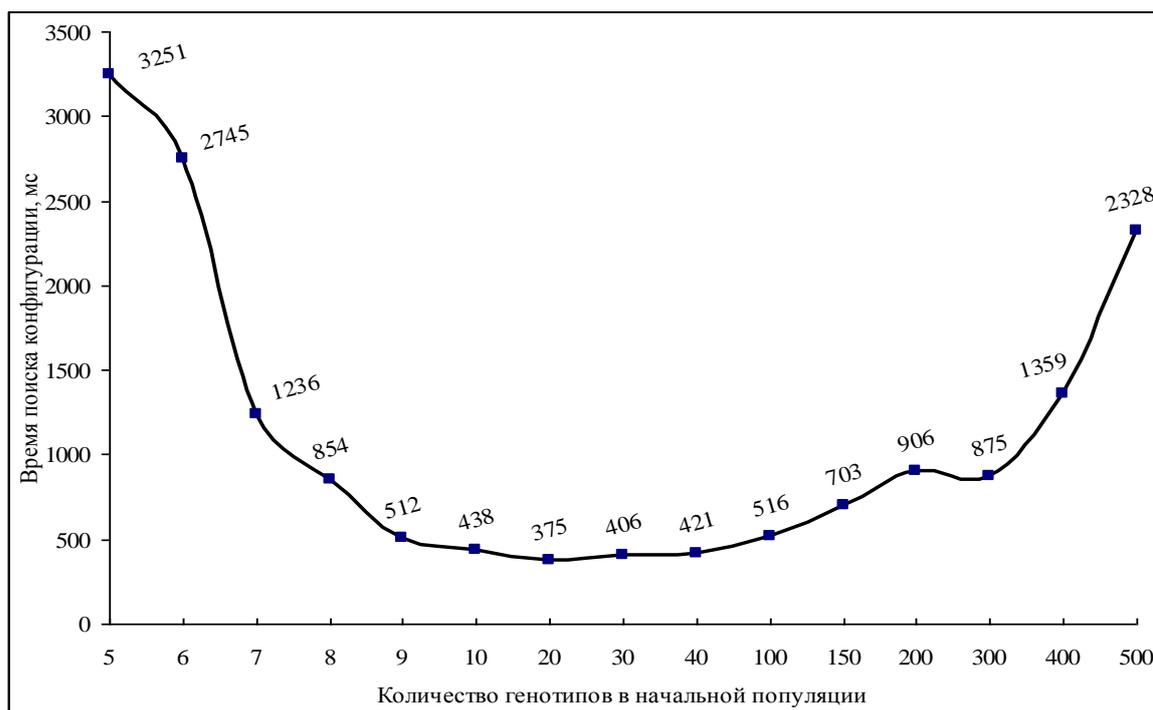


Рис. 8. Среднее время нахождения конфигурации ДО 3×4
Fig. 8. Average seek time for configuration ДО 3×4

Анализ результатов проведенных вычислительных экспериментов подтвердил выдвинутую гипотезу, что может свидетельствовать о правомочности ее использования при синтезе систем с заданной элементной базой компонентов. Это может служить обоснованием для применения эволюционных методов при решении рассмотренного круга задач. Дальнейшее развитие предложенного в работе подхода связано с его применением для конкретных предметных областей с использованием экспертной информации [14] и различных модификаций сети Петри.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 14-07-00246, 15-07-02371)

Список литературы References

1. Вовченко, А.И. Моделирование и анализ транспортных систем на основе эволюционных методов / А.И. Вовченко, В.А. Ломазов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. Т. 18. № 7-1 (102). С. 121-125.
Vovchenko, A.I. Modelirovanie i analiz transportnyh sistem na osnove jevoljucionnyh metodov / A.I. Vovchenko, V.A. Lomazov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2011. T. 18. № 7-1 (102). S. 121-125.
2. Жилияков, Е.Г. Селекция аддитивных функциональных моделей сложных систем/ Е.Г. Жилияков, В.И. Ломазова, В.А. Ломазов // Информационные системы и технологии. 2010. № 6. С. 66-70.
Zhilyakov, E.G. Selekcija additivnyh funkcional'nyh modelej slozhnyh sistem/ E.G. Zhilyakov, V.I. Lomazova, V.A. Lomazov // Informacionnye sistemy i tehnologii. 2010. № 6. S. 66-70.
3. Ломазов, В.А. Применение имитационного моделирования при поиске проектного решения для многоуровневых логистических агропроизводственных систем с заданным поведением/ В.А. Ломазов, Д.А. Петросов // В сборнике: Современные тенденции в сельском хозяйстве II Международная научная Интернет-конференция: материалы конференции; в 2 томах. ИП Синяев Дмитрий Николаевич. 2013. С. 129-131.
Lomazov, V.A. Primenenie imitacionnogo modelirovanija pri poiske proektnogo reshenija dlja mnogourovnevnyh logisticheskikh agroproduzvodstvennyh sistem s zadannym povedeniem/ V.A. Lomazov, D.A. Petrosov // V sbornike: Sovremennye tendencii v sel'skom hozjajstve II Mezhhdunarodnaja nauchnaja In-ternet-konferencija: materialy konferencii; v 2 tomah. IP Sinjaev Dmitrij Nikolaevich. 2013. S. 129-131.
4. Ломазов, В.А. Эволюционная процедура структурного и параметрического синтеза имитационных моделей систем документооборота/ В.А. Ломазов, В.Л. Михайлова, Д.А. Петросов, Д.Б. Ельчанинов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2013. Т. 28-1. С. 204.



Lomazov, V.A. Jevoljucionnaja procedura strukturnogo i parametricheskogo sinteza imitacionnyh modelej sistem dokumentooborota/V.A. Lomazov, V.L. Mihajlova, D.A. Petrosov, D.B. El'chaninov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija. Jeko-nomika. Informatika. 2013. T. 28-1. S. 204.

5. Емельянов, В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2003. – 432 с.

Emel'janov, V.V. Teorija i praktika jevoljucionnogo modelirovanija / V.V. Emel'janov, V.V. Kurejchik, V. M. Kurejchik. – М.: Fizmatlit, 2003. – 432 s.

6. Курейчик, В. М. Поисковая адаптация: теория и практика / В.М. Курейчик, Б.К. Лебедев, О.К. Лебедев. – М.: Физматлит, 2006. – 272 с.

Kurejchik, V. M. Poiskovaja adaptacija: teorija i praktika / V.M. Kurejchik, B.K. Lebedev, O.K. Lebedev. – М.: Fizmatlit, 2006. – 272 s.

7. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы: Учебное пособие / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.

Gladkov, L. A. Geneticheskie algoritmy: Uchebnoe posobie / L. A. Gladkov, V. V. Kurejchik, V. M. Kurejchik. – М.: Fizmatlit, 2006. – 320 s.

8. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

Piterson, Dzh. Teorija setej Petri i modelirovanie sistem / Dzh. Piterson. – М.: Mir, 1984. – 264 s.

9. Игнатенко, В.А. Описание динамических процессов при помощи информационной сети Петри / В. А. Игнатенко, В. З. Магергут // Научные ведомости БелГУ. История, Политология, Экономика, Информатика. – 2011. – Вып. № 13. – С. 161–179.

Ignatenko, V.A. Opisanie dinamicheskix processov pri pomoshhi informacionnoj seti Petri / V. A. Ignatenko, V. Z. Magergut // Nauchnye vedomosti BelGU. Istorija, Politologija, Jekonomika, In-formatika. – 2011. – Vyr. № 13. – S. 161–179.

10. Игнатенко, В.А. Информационная сеть Петри как инструмент для параллельной обработки алгоритмов управления / В. А. Игнатенко, В. З. Магергут // Научные ведомости БелГУ. История, Политология, Экономика, Информатика. 2011. Вып. № 19. – С. 119–126.

Ignatenko, V.A. Informacionnaja set' Petri kak instrument dlja parallel'noj obrabotki algo-ritmov upravlenija / V. A. Ignatenko, V. Z. Magergut // Nauchnye vedomosti BelGU. Istorija, Politologija, Jekonomika, Informatika. 2011. Vyr. № 19. – S. 119–126.

11. Петросов, Д.А. Адаптация генетических алгоритмов для моделирования вычислительной техники с фиксированной структурой / Д.А. Петросов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 3. С. 156-167.

Petrosov, D.A. Adaptacija geneticheskix algoritmov dlja modelirovanija vychislitel'noj tehniky s fiksirovannoj strukturoj / D.A. Petrosov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Teh-nicheskie nauki. 2011. № 3. S. 156-167.

12. Петросов, Д.А. Адаптация генетического алгоритма при моделировании вычислительной техники с изменяющейся структурой и набором компонентов на основе сетей Петри / Петросов Д.А. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 6. С. 54-64.

Petrosov, D.A. Adaptacija geneticheskogo algoritma pri modelirovanii vychislitel'noj tehniky s izmenjajushhejsja strukturoj i naborom komponentov na osnove setej Petri / Petrosov D.A. // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. 2009. № 6. S. 54-64.

13. Петросов, Д.А. Математическая модель формирования конфигурации вычислительной техники на основе триггеров / Д.А. Петросов // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2009. № 3. С. 139-143.

Petrosov, D.A. Matematicheskaja model' formirovanija konfiguracii vychislitel'noj tehniky na osnove triggerov / D.A. Petrosov // Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2009. № 3. S. 139-143.

14. Вовченко, А.И. Анализ сложных динамических систем на основе применения экспертных технологий / А.И. Вовченко, А.И. Добрунова, В.А. Ломазов, С.И. Маторин, В.Л. Михайлова, Д.А. Петросов. – Белгород: Изд-во БелГСХА, 2014. – 262 с.

Vovchenko, A.I. Analiz slozhnyh dinamicheskix sistem na osnove primenenija jekspertnyh tehno-logij / A.I. Vovchenko, A.I. Dobrunova, V.A. Lomazov, S.I. Matorin, V.L. Mihajlova, D.A. Petrosov. – Belgorod: Izd-vo BelGSHA, 2014. – 262 s.

УДК 004.9:519.8

**О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ****ABOUT CREATION OF DECISION SUPPORT SYSTEM WHICH BASED
ON THE MODIFIED ANALYTIC HIERARCHY PROCESS****Д.Г. Фурцев
D.G. Furtsev**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
e-mail: dfurtsev@gmail.com*

Аннотация. В работе рассматриваются этапы создания системы поддержки принятия решений. Приводятся требования к разрабатываемой программе, алгоритм нахождения лучшего решения и разработка пользовательского интерфейса. Предложены этапы реализации модифицированного метода анализа иерархий в качестве компьютерного алгоритма. Предложенная схема взята за основу при реализации интерфейса системы поддержки принятия решений на основе модифицированного метода анализа иерархий.

Resume. This paper considers the steps of creating a decision support system, the requirements for developing a program algorithm for finding the best solutions and user interface development. This paper proposed stages of implementation of the modified method of analysis of hierarchies as a computer algorithm. The proposed scheme is taken as the basis for the implementation of interface decision support system based on the modified method of analysis of hierarchies.

Ключевые слова: модифицированный метод анализа иерархий, автоматизация расчетов, экспертные системы, пользовательский интерфейс, критерии оценки, экспертная система.

Keywords: modified method of hierarchy analysis, automation of calculations, expert systems, user interface, the evaluation criteria, the expert system.

Описание алгоритма. Система поддержки принятия решений в условиях усложнения современных технических, экономических и других задач должна обеспечить потребности пользователей в доступном и интуитивно понятном инструменте по принятию решений. Такой автоматизированный инструмент необходим предприятиям и организациям для минимизации временных и материальных ресурсов при принятии стратегических и тактических решений. Система позволит увеличить надежность принятия решений, особенно для лиц, ответственных за конечный результат.

При решении таких задач часто используются технологии экспертных систем с применением искусственного интеллекта для интеллектуальной поддержки с использованием математических методов при определении тактических или стратегических направлений развития, финансирования и в других случаях, когда имеется неопределенность в исходных данных, используемых для принятия решения.

Единоличное принятие решений не всегда является правильным, а зачастую совершенно неприемлемым. В крупных фирмах применяются разнообразные методики выявления рационального решения проблем с участием группы специалистов. Является необходимым программно реализовать те алгоритмы принятия решений, которые позволяют задействовать экспертов.

Существует большое количество методов и алгоритмов принятия решений, таким образом, целью является изучение вариантов алгоритма выбора решения, разработка оптимальных требований внутри алгоритма и выбор оптимальной схемы алгоритма по критерию быстродействия, разработка алгоритма и проверка его работоспособности, тестирование скорости работы алгоритма и устранение ошибок в работе алгоритма. На основе этих данных предстоит разработать программный продукт, провести его тестирование и разработать тонкий клиент для доступа к программе с любого устройства. Решено реализовывать программу как отдельный продукт с дальнейшей возможностью внедрения в другие системы. На данном этапе начата разработка интеграции с системой учета научно-инновационной деятельности в Белгородском Государственном Национальном исследовательском университете.

Для этого необходимо выполнить следующий ряд задач:

1. провести анализ алгоритмов;
2. выбрать алгоритм выбора решения, подходящий для принятия альтернатив по любой предметной области;
3. разработать оптимальные требования внутри алгоритма;



4. провести анализ схем работы алгоритма и выбрать оптимальную по критерию быстродействия;
5. разработать алгоритм принятия лучшего решения;
6. выбрать прикладное средство для разработки;
7. объединить все в единый интерфейс, позволяющий пользователю взаимодействовать с разработанным алгоритмом;
8. отладить программный код для взаимодействия с пользовательским интерфейсом;
9. разработать тонкий клиент для доступа к системе;
10. запрограммировать алгоритм для применения в реальных условиях;
11. создать опытный образец системы поддержки принятия решений.

Пункты с 1 по 4 рассмотрены в статье [3]. В данной статье рассматриваются требования к разрабатываемой программе, приводится алгоритм нахождения лучшего решения и разработка пользовательского интерфейса.

В разрабатываемой программе предполагается использовать новые математические методы для автоматизации процессов обработки и анализа данных, необходимых для принятия решений.

В качестве исходных параметров могут выступать разнообразные числовые, качественные и видео материалы. Используя исходные параметры, проводится предварительный анализ, который в дальнейшем подвергается экспертной оценке.

В результате обработки исходных данных подготавливается обоснованное предложение по качеству предлагаемых вариантов и выполняется их ранжирование по различным отдельным и смешанным показателям.

Программа сможет функционировать в стационарном режиме как отдельный продукт, может работать как сдаваемое в аренду через серверы дата-центров и сервер разработчика, а также предоставлять режим работы тонкого клиента и веб-сервис, для неограниченного количества пользователей.

Особенностью программы является возможность сравнения детерминированных и качественных показателей, использование показателей в виде отклонения от заданной величины, использование для принятия решений документов, фото и видео материалов.

При проведении окончательной экспертной оценки программа позволяет провести учет значимости и компетенции, привлекаемых для оценки экспертов по разным параметрам (цитируемость, публикации, ученые звания и т.п.).

Программа обеспечивает независимый, закрытый доступ к анализируемым данным, обеспечивает синхронизацию открытия результатов только при завершении всего процесса и подписи его экспертами.

Программа должна быть инвариантной к предметным областям, что позволит применять ее не только для конкретного предприятия или отрасли.

Программа должна обрабатывать ошибки и следить за информацией, вводимой пользователем. Нельзя допускать каких-либо нарушений в целостности базы данных, что может привести к неправильному принятию решения.

Программа не должна иметь высоких требований к технической стороне клиента, чтобы любой потребитель мог воспользоваться ей со своего компьютера. В нынешних условиях популяризации мобильных устройств и повсеместного распространения интернета любой человек в любое время должен иметь доступ к данной системе, что позволит ему сэкономить, например, при выборе автомобиля.

Суммарно назначением научно-технического продукта является:

- Упрощение процесса принятия решений на основе математических методов с использованием детерминированных и качественных показателей.
- Использование интервалов для определения наилучшего в виде отклонения.
- Использование фото и видео материалов.
- Возможность удаленной экспертизы при принятии окончательного решения.
- Создание бизнес-процесса для каждого случая принятия решения.
- Предоставление различных визуальных инструментов показателей и выходные формы (отчеты, графики, индикаторы) для вывода итоговых отчетов.
- Интеграция с источниками данных пользователя в случае изменения исходных данных в процессе принятия решений.
- Для каждой решаемой проблемы должны быть определены альтернативы (варианты решений) и ряд критериев оценки, по которым эти альтернативы сравниваются.

Методы разработки алгоритмов, такие как: метод грубой силы, поиск с возвратом, уменьшение размера задачи, преобразование, метод ветвей и границ - не подходят для модификации метода анализа иерархий, применяемого в разрабатываемой СППР.

Для модификации метода анализа иерархий будет использоваться метод декомпозиции для разбиения метода на несколько подзадач: выбор экспертов для оценивания альтернатив, шкалирование экспертов лицом, принимающим решения, шкалирование альтернатив экспертами, шкалирование критериев альтернатив экспертами, принятие лучшей альтернативы ЛПР. Также будет использоваться метод динамического программирования для повторения тех задач, по которым не нужно отдельно рассчитывать показатели сравнения.

Модифицированный метод анализа иерархий (ММАИ) использует систематическую процедуру для составления иерархии тех элементов, что определяют суть проблемы. Метод состоит в декомпозиции проблемы на все более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений лица, принимающего решения, по парным сравнениям. В результате может быть выражена относительная степень (интенсивность) взаимодействия элементов в иерархии. Эти суждения затем выражаются численно. ММАИ включает в себя процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений. Такой подход к решению проблемы выбора исходит из естественной способности людей думать логически и творчески, определять события и устанавливать отношения между ними.

Одним из основных принципов построения ММАИ является принцип идентичности и декомпозиции, который предусматривает структурирование проблем в виде иерархии или сети, что является первым этапом ММАИ. На рисунке 1 представлен модифицированный вид иерархии, которая строится с вершины (целей – с точки зрения управления), через промежуточные уровни (критерии, от которых зависят последующие уровни,) к самому низкому уровню (который обычно является перечнем альтернатив).

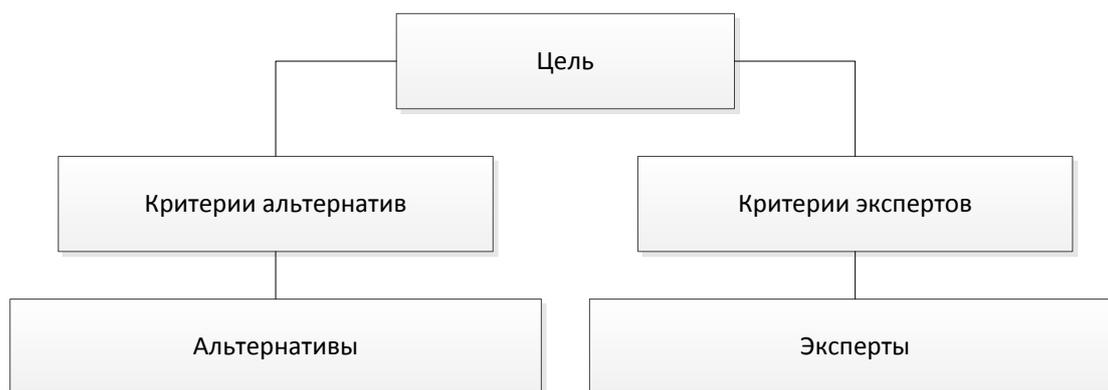


Рис. 1. Иерархия модифицированного ММАИ
Fig.1. Hierarchy of modified ANP

Иерархия считается полной, если каждый элемент данного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня.

Иерархия считается полной, если каждый элемент данного уровня функционирует как критерий для всех элементов нижестоящего уровня.

В результате реализации первого этапа ММАИ любая, сколь угодно сложная проблема, может быть представлена в виде трехуровневой иерархии (цель – критерии – альтернативы), каждый из элементов иерархии при необходимости может быть представлен, в свою очередь, в виде трехуровневой иерархии и т.д [1].

По окончании построения иерархии для каждой материнской вершины проводится оценка весовых коэффициентов, определяющих степень ее зависимости от влияющих на нее вершин более низкого уровня. При этом используется метод попарных сравнений.

В ММАИ элементы одного уровня иерархии сравниваются попарно по отношению к их воздействию («весу» или «интенсивности») на общую для них характеристику. Например, строится матрица для сравнения относительной важности критериев на втором уровне по отношению к общей цели на первом уровне. Подобные матрицы должны быть построены для попарных сравнений каждой альтернативы на третьем уровне по отношению к критериям второго уровня[2].

Обстоятельно опишем созданное ноу-хау по расчету универсального критерия эффективности, являющимся основополагающим моментом разработанной системы поддержки принятия решений. Метод анализа иерархий используется при расчете числовых характеристик работы вуза



на основе большого количества разнообразных критериев, как количественных, так и качественных. Модификация метода анализа иерархий с помощью учета рейтингов экспертов в сочетании с математическими методами теории нечётких множеств дает возможность использовать нечисловые качественные оценки для обработки информации и принятия решений в условиях неопределённости. Для применения метода анализа иерархий в разрабатываемой системе необходимо учитывать не только объекты и критерии для расчета для определения критериев эффективности, но и экспертов, которые осуществляют работу над принятием решения. Лицо, принимающее решение, производит шкалирование экспертов, что влияет на дальнейший результат [4].

Шкалирование экспертов будет производиться также на основе ММАИ, что приводит к применению ММАИ несколько раз в типичных операциях сравнения. Самым сложным этапом будет являться общее соединение результатов оценивания каждого отдельного этапа для принятия лучшего решения.

Вторым этапом в алгоритме является отбор экспертов. ЛПР выбирает факторы, которым должны соответствовать эксперты, определяет весовые коэффициенты этих факторов и оценивает выбранных лиц по данным критериям. Каждый эксперт получает свою оценку, назовем ее коэффициентом конкордации, на основе которой ЛПР совершает выбор заинтересовавших его лиц. Следующим этапом в беседах с экспертами определяется список факторов, важный для принятия лучшей из альтернатив.

Затем с помощью метода попарных сравнений происходит определение весовых коэффициентов, соответствующих степени влияния конкретного фактора на выбор лучшего решения. Затем для каждого фактора определяется шкала возможных значений. В дальнейшем определяются значения всех факторов в соответствующих шкалах. Это можно сделать по крайней мере двумя способами: либо напрямую (если позволяет имеющаяся в наличии информация), либо опять же проведя среди экспертов попарное сравнение между допустимыми значениями фактора. Если же отсутствуют данные о реальных значениях факторов и эксперты затрудняются провести указанные сравнения, то необходимо провести дополнительное разбиение подобного фактора на систему субфакторов. Оценив их весовые коэффициенты и определив значения, получаем значение проблематичного фактора. Последовательно применяя указанный способ разбиения и проводя определения весовых коэффициентов, можно построить иерархию и получить с ее помощью значение лучшей альтернативы [5,6].

Для каждого критерия альтернативы выбирается оптимальное значение, если это числовой критерий, и вводится любое значение, если критерий – качественный. На следующем этапе эксперты оценивают вес каждого критерия и проводят оценку альтернатив по каждому из критериев. Таким образом на цель влияет весовой коэффициент эксперта, совершающего оценку, весовой коэффициент критерия и непосредственно матрица попарных сравнений по конкретной альтернативе.

Цель третьего этапа ММАИ – установить приоритеты критериев и оценить каждую из альтернатив по критериям, выявив самую важную из них.

В результате вычисления числовых значений из значений заполненных матриц парных сравнений по критериям, экспертам, альтернативам выводится итоговый результат по альтернативе. Также можно получить промежуточные результаты по каждому из этапов ММАИ.

Реализация интерфейса. Интерфейс разработан с применением программы 1С: предприятие 8.3 в режиме управляемого приложения, в котором каждый пользователь может подстроить под себя отображение различных форм, документов и справочников. Для отображения различных интерфейсов для различных ролей в конфигурации создана иерархия подсистем, отражающая для пользователя структуру функциональности прикладного решения.

Работа с программой начинается с рабочего стола и панели разделов, расположенных в основном окне приложения. Рабочий стол содержит часто используемые документы, отчеты, справочники и т.п. Это своеобразный «помощник» пользователя. Рабочий стол вводит пользователя в курс дел, отвечает на его вопросы. Пользователь имеет возможность настроить внешний вид рабочего стола: поменять взаимное расположение форм, добавить или удалить формы. Вот так, например, выглядит рабочий стол председателя экспертной оценки (рис.2).

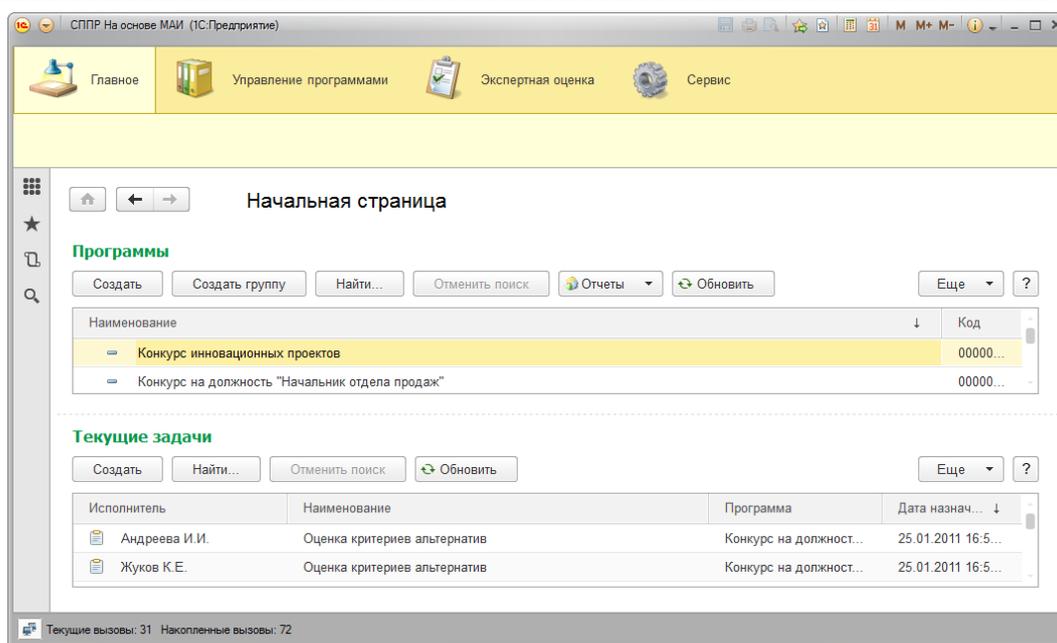


Рис.2. Рабочий стол председателя экспертной оценки
Fig. 2. Desktop for president of the expert evaluation

Председатель может управлять программами и видеть текущие задачи экспертов по оцениванию проектов. Подобным образом реализованы рабочие столы для секретарей и экспертов. Председатель также может просмотреть отчеты, изменять справочники пользователей и экспертов (рис. 3).

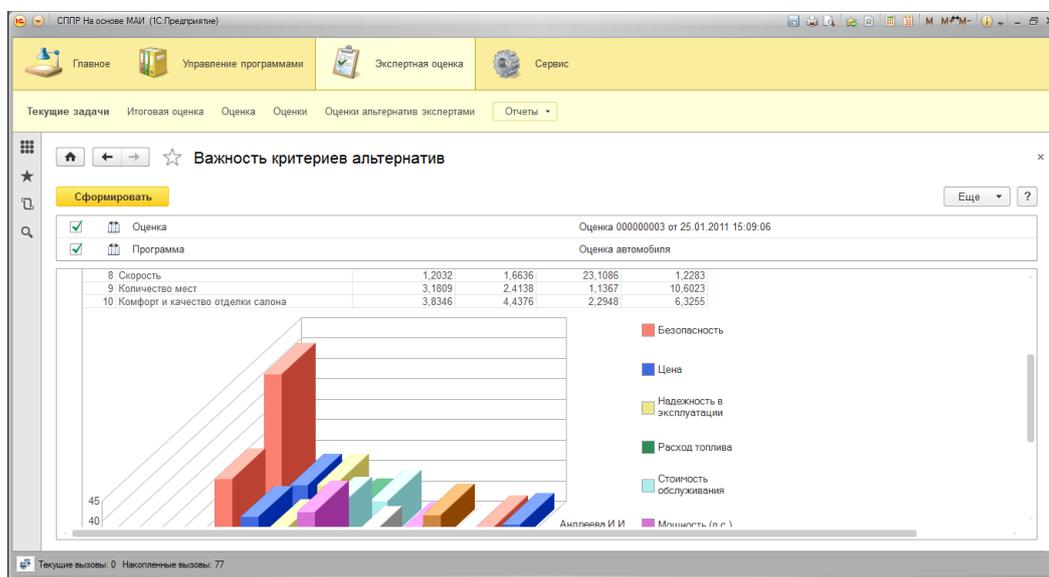


Рис. 3. Отчет
Fig. 3. Report

Для эксперта все эти тонкости не нужны, они должны видеть только программы, к которым имеют доступ, и задачи, над которыми могут осуществлять экспертную оценку. Поэтому их интерфейс выглядит так (рис. 4).

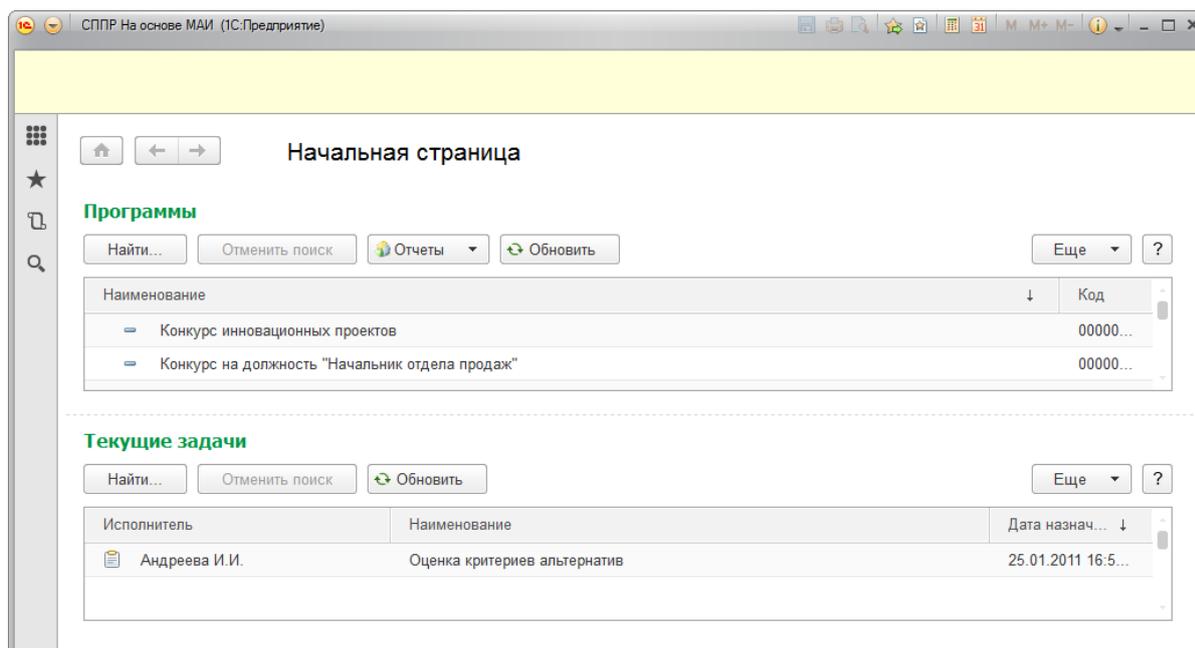


Рис.4. Рабочий стол эксперта
Fig. 4. Expert Desktop

Для реализации алгоритма парных сравнений необходимо удобно и понятно сделать пользовательский интерфейс, чтобы эксперту не было необходимости самому заполнять какие-либо матрицы сравнений, что обычно ведет к большому коэффициенту детерминации и, собственно, к ошибочному выбору решения. На данном этапе дизайн интерфейса состоит в виде сравнения каждого из критериев/каждой из альтернатив попарно, с ползунком либо со ссылками, содержащими значимый текст. Реализацию интерфейса можно увидеть на рисунке 5.

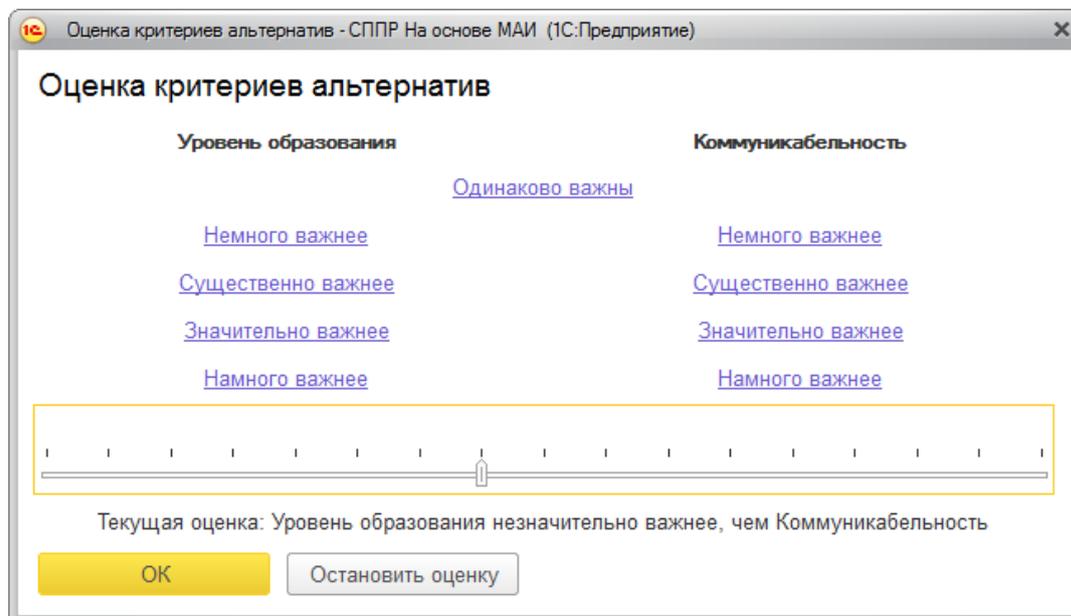


Рис.5. Сравнение альтернатив
Fig. 5. Comparison of alternatives

В итоге разработан опытный образец интерфейса системы поддержки принятия решений на основе модифицированного метода анализа иерархий, который впоследствии может быть использован для разработки любой системы поддержки принятия решений, что приведет к уменьшению затрат времени, сокращению расходов и увеличению прибыли.

Список литературы
References

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст]/Томас Саати; перевод с англ. Р.Г. Ванчадзе. – Москва.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
Saati T. Prinjatje reshenij. Metod analiza ierarhij [Tekst]/Tomas Saati; perevod s angl. R.G. Vanchadze. – Moskva.: Radio i svjaz', 1993. – 278 s.
2. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с. – ISBN 978-5-9221-0812-6.
Podinovskij V.V., Nogin V.D. Pareto-optimal'nye reshenija mnogokriterial'nyh zadach. – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: FIZMATLIT, 2007. – 256 s. – ISBN 978-5-9221-0812-6.
3. Фурцев Д.Г., Коваленко А.Н., Ткаченко Е.А. «Об оптимизации на основе метода анализа иерархий» // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2014. – № 1 (172). – Вып. 29/1. – С. 110-113.
Furcev D.G., Kovalenko A.N., Tkachenko E.A. «Ob optimizacii na osnove metoda analiza ierarhij» // Nauchnye vedomosti BelGU. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2014. – № 1 (172). – Vyp. 29/1. – S. 110-113.
4. Фурцев Д.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. «Поддержка принятия решений при управлении в вузах на основе метода анализа иерархий» // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2014. – № 21 (192). – Вып. 32/1. – С. 124-130.
Furcev D.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V. «Podderzhka prinjatija reshenij pri upravlenii v vuzah na osnove metoda analiza ierarhij» // Nauchnye vedomosti BelGU. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2014. – № 21 (192). – Vyp. 32/1. – S. 124-130.
5. Фурцев Д.Г. Заявка на регистрацию программы для ЭВМ «Программный блок анализа отклонений для интеллектуальных систем поддержки принятия решений». – Б.: ООО «МАТРИЦА-БелГУ», 2013.
Furcev D.G. Zajavka na registraciju programmy dlja JeVM «Programmnyj blok analiza odklonenij dlja intelektual'nyh sistem podderzhki prinjatija reshenij». – B.: ООО «MATRICA-BelGU», 2013.
6. Фурцев Д.Г. Заявка на регистрацию программы для ЭВМ «Фильтрация противоречивых вариантов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений для сокращения времени анализа». – Б.: ООО «МАТРИЦА-БелГУ», 2013.
Furcev D.G. Zajavka na registraciju programmy dlja JeVM «Fil'tracija protivorechivyh variantov v intelektual'nyh sistemah podderzhki prinjatija reshenij dlja sokrashhenija vremeni analiza». – B.: ООО «MATRICA-BelGU», 2013.
7. Фурцев Д.Г. Заявка на регистрацию программы для ЭВМ «Программный блок планирования научной и инновационной деятельности с использованием план-фактного анализа». – Б.: ООО «МАТРИЦА», 2014.
Furcev D.G. Zajavka na registraciju programmy dlja JeVM «Programmnyj blok planirovanija nauchnoj i innovacionnoj dejatel'nosti s ispol'zovaniem plan-faktnogo analiza». – B.: ООО «MATRICA», 2014.



УДК 65.011.56

**СЕРВИС АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОГРАММ ТРЕНИРОВОК
С УЧЕТОМ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА,
КАК ЭЛЕКТРОННАЯ УСЛУГА НАСЕЛЕНИЮ**

**THE SERVICE OF AUTOMATION OF TRAINING PROGRAMS BASED ON THE
PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PERSON AS ELECTRONIC
SERVICE TO POPULATION**

**Р.А. Лунев, В.Н. Волков, А.А. Стычук, А.С. Бычкова
R.A. Lunev, V.N. Volkov, A.A. Stichuck, A.S Bychkova**

*Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, Россия, 302020, Орел,
Наугорское шоссе, 29*

Education-Science-Production Complex University, 29 Naugorskoe shosse, Orel, 302020, Russia

e-mail: rolu@yandex.ru

Аннотация. В данной статье показывается актуальность разработки сервиса автоматизации составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека. Рассматриваются существующие аналогичные программные продукты. Приводится краткий и полный состав функций разрабатываемого сервиса.

Resume. This article shows the relevance of the development of service automation programming exercises based on the physiological characteristics of the person. Examines existing similar software products. Gives a brief and full set of functions developed service.

Ключевые слова: электронная услуга, веб-сервис, автоматизация составления программ тренировок.
Keywords: electronic services, : web service, automation of the programming exercise.

Введение

Развитие современного общества, повышение уровня и качества жизни рождает новые тенденции. В последние годы в России начался и идет настоящий бум на здоровый образ жизни. Поход в тренажерный зал или фитнес-клуб стал неотъемлемой частью повседневной жизни многих людей, привнес в нее яркие краски и положительные эмоции.

«Президент России, Владимир Путин, поручил в ближайшие пять лет увеличить число россиян, занимающихся спортом. В ближайшие пять лет число занимающихся спортом россиян должно увеличиться и достигнуть как минимум 40%. Также глава государства отметил, что за последние годы число граждан, регулярно занимающихся спортом, выросло на 6 млн и составляет сейчас около 35 млн. человек» – по данным ИТАР-ТАСС.

Все это вместе с бурным развитием информационных технологий, мобильных устройств и средств передачи данных, делает задачу создания сервиса автоматизации составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека, как электронной услуги населению, актуальной и, требующей дополнительной всесторонней проработки. Под программой тренировок мы будем понимать весь комплекс необходимых подготовительных мероприятий для достижения поставленной пользователем цели. К этим мероприятиям мы относим:

- определение физиологического типа пользователя – соматотипа;
- выявление суточной потребности в калориях исходя из соматотипа и образа жизни пользователя;
- составление рациона питания исходя из потребности пользователя в питательных веществах (белках, жирах, углеводах);
- составление распорядка дня, формирование расписания питания и тренировок пользователя с учетом его образа жизни и физиологических особенностей;
- формирование тренировочной программы исходя из физиологических особенностей пользователя и его личных предпочтений;
- ведение тренировочного дневника и учета потребляемых калорий с целью внесения корректировок в программу тренировок.

Задачи разрабатываемого сервиса

Разрабатываемый сервис направлен на решение задачи автоматизации процессов формирования рациона питания пользователя, а также составления для него программы тренировок с

учетом его физиологических особенностей, образа жизни и распорядка дня. В конечном виде, сервис рассчитан на широкий круг лиц, среди которых:

- занимающиеся спортом, или только собирающиеся заниматься, люди — для них будет привлекательным возможность получения всей необходимой информации для занятий спортом, а также возможность автоматизированного формирования рациона питания, распорядка дня и тренировочной программы исходя из собственных предпочтений и физиологических особенностей;

- видеоблогеры и люди, занимающиеся популяризацией здорового образа жизни и спорта, в особенности фитнеса и бодибилдинга, наличием возможности поделиться информацией с общественностью, а также возможностью ведения удаленных персональных тренировок;

- рекламные агенты и маркетологи, занимающиеся распространением спортивного питания, спортивного инвентаря и другой сопутствующей продукции.

На сегодняшний день огромной популярностью пользуются различные программы для мобильных устройств, выполняющие, в первую очередь, лишь функцию тренировочного дневника. Подобное программное обеспечение, прежде всего, направлено на то, чтобы дать пользователю возможность изучить технику выполнения упражнений, ознакомиться с примерными тренировочными программами в зале, а также предоставить доступ к различной справочной информации. Сегодня на рынке существует большое количество электронных дневников тренировок, так наиболее известными являются:

- GymBoom – универсальная программа для людей, занимающихся физическими упражнениями;

- Gym Training – тренировочные программы;

- Just 6 Weeks – тренировочные программы на 5 групп мышц.

Все из перечисленных приложений предлагают пользователю либо существующие, ранее предустановленные тренировочные программы, либо позволяют создать и использовать собственную тренировочную программу. Вместе с тем отсутствует любая социальная составляющая, возможность составления рациона питания, учет физиологических особенностей пользователя, его распорядка дня, а так же возможность динамического изменения набора упражнений. Человеку, впервые решившему заняться спортом в зале, очень трудно будет самостоятельно разобраться в терминологии, формулировках и определениях. В тоже время, данные приложения будут мало полезны и для пользователей, имеющих определенный опыт занятий в спортзале. Подобные электронные приложения не учитывают индивидуальных особенностей тренирующегося, его суточный режим, соматотип. Вследствие чего, эти программные продукты не в состоянии дать всю необходимую информацию как персональный тренер, обладающий всей полнотой данных о реализации тренировочного процесса спортсмена, распорядке его дня и рационе питания.

Электронная услуга, которая позволила бы начинающему спортсмену выявить физиологические особенности своего тела, определить необходимый уровень дневного потребления калорий и, исходя из поставленной цели, сформировать тренировочную программу, определиться с рационом питания и распорядком дня, требует решения целого комплекса вопросов. Разработка сервиса составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека должна начинаться с определения состава функций для каждой из четырех составляющих электронной услуги [1]:

1. идентифицирующая составляющая – программно-аппаратная подсистема, определяющая и однозначно идентифицирующая потребителя услуги;

2. биллинговая составляющая – программная составляющая электронной услуги, определяющая характер и порядок финансовых взаиморасчетов потребителя услуги с поставщиком посредством веб-сервиса;

3. сервисная составляющая – программно-аппаратная или регламентная часть электронной услуги, обеспечивающая реализацию перечня действий по оказанию самой услуги.

4. комплекс программно-аппаратных средств реализации функций работы с данными необходимыми для оказания электронной услуги населению [2] – облачный сервис хранения данных.

Ранее уже определялся состав функций идентифицирующей и биллинговой составляющих [3]. Поэтому, в первую очередь, необходимо определиться с составом функций сервисной составляющей. Перечислим функции, реализацию которых должен обеспечивать предлагаемый сервис составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека:

1. Определение типа телосложения пользователя.

2. Определение суточной потребности в калориях.

3. Формирование диеты с учетом цели пользователя, его телосложения, суточной потребности в калориях и распорядка дня.

4. Формирование тренировочной программы пользователя из списка предустановленных упражнений.
5. Формирование и управление списком упражнений, внесение и редактирование их описания.
6. Ведение и просмотра дневника тренировок пользователя, с функцией передачи данной информации другим пользователям сервиса.
7. Социальное взаимодействие с другими пользователями сервиса.
8. Обмен программами тренировок, диетами, спортивными достижениями, упражнениями и описаниями к ним.
9. Предоставление доступа к различной справочной информации.

Сервис, реализующий данную электронную услугу, будет представлять собой распределенный программный комплекс, использующий преимущество различных платформ. Так, например, функции формирования рациона питания, социального взаимодействия, ведения справочников лучше реализовывать в виде веб-приложения, это позволит облегчить построение пользовательского интерфейса, обеспечить взаимодействие с другими пользователями сервиса, социальными сервисами и т.д.

В то же самое время, функции ведения дневника тренировок, отметки приемов пищи и спортивных достижений уже лучше перенести в мобильное приложение, которое будет гораздо проще держать под рукой. Поэтому предпочтительно весь функционал, реализуемый сервисной составляющей, разделить на несколько групп функций, каждая из которых преимущественна для реализации в веб-приложении, мобильном приложении, либо равнозначна для реализации в обоих случаях. Это должно быть предусмотрено на этапах проектирования сервиса и его реализации, в частности при построении архитектуры сервиса или логической сети его построения (рисунок 1).

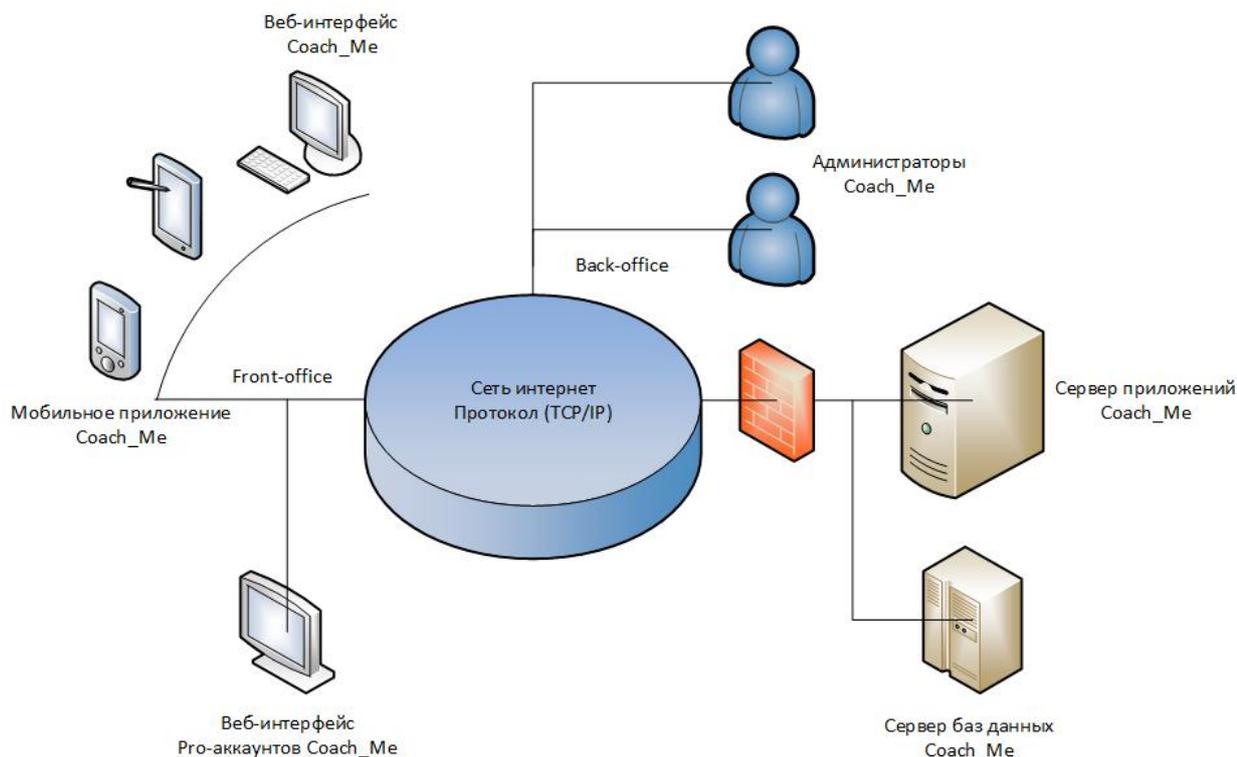


Рис. 1. Логическая схема построения сети сервиса автоматизации составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека

Fig. 1. The logical scheme of the service of automation of training programs based on the physiological characteristics of the person development

Использование данного сервиса позволит перейти на качественно новый уровень использования подобных сервисов тренировок. Данный сервис, в перспективе, позволит вывести взаимодействие пользователей на новый уровень — «тренер-тренируемый»:

- Весь процесс взаимодействия «тренер-тренируемый» может осуществляться удаленно.
- Тренером может выступать любой пользователь сервиса.

• Возможность обмена программами тренировок позволяет создать уникальную базу, из которой каждый пользователь может получить индивидуальные сведения.

Несомненно, это является конкурентным преимуществом сервиса, и это конкурентное преимущество начнет проявляться тем сильнее, чем больше людей будут пользоваться сервисом.

Результатирующим продуктом будет являться сервис с общедоступными и специализированными веб-интерфейсами, доступными пользователям сети интернет и мобильный клиент под популярные платформы Android и iOS. Прямых аналогов предлагаемого сервиса на данный момент не существует. Функционал данного сервиса включает группы следующих функций:

1. Пользовательские функции веб-сервиса:
 1. Регистрация/Аутентификация и авторизация пользователя;
 2. Просмотр справочной информации:
 1. Справочник упражнений;
 2. Справочник калорийности продуктов питания;
 3. Справочник тренировочных программ;
 4. Определение соматотипа (типа телосложения) пользователя;
 5. Определение суточной потребности в калориях;
 6. Определение процента жира;
 7. Определение пульсовых зон пользователя;
 3. Личный кабинет пользователя:
 1. Формирование и редактирование личного профиля;
 2. Просмотр сформированных или закачанных диет;
 3. Просмотр дневника тренировок;
 4. Публикация информации в популярные социальные сети;
 5. Конструктор рациона питания;
 6. Конструктор тренировочных программ;
 7. Ведение расписания дня (приемы пищи, тренировки);
2. Функции платных учетных записей пользователей сервиса:
 1. Формирование и отправка программ тренировок, рациона питания и расписания дня выбранным пользователям сервиса из контакт-листа;
 2. Получение и просмотр записей дневников тренировок, полученных от пользователей;
 3. Публикация информации в популярные социальные сети;
 4. Публикация на всеобщее обозрение программ тренировок, диет, комплексов упражнений;
 5. Ведение блога/стены учетной записи.
3. Состав функций мобильного приложения:
 1. Возможность аутентификации/перенаправления на регистрацию пользователя (привязка к существующей учетной записи сервиса);
 2. Просмотр справочной информации:
 1. Справочник упражнений;
 2. Справочник калорийности продуктов питания;
 3. Справочник тренировочных программ;
 4. Определение соматотипа (типа телосложения) пользователя;
 5. Определение суточной потребности в калориях;
 6. Определение процента жира;
 7. Определение пульсовых зон пользователя;
 3. Секундомер;
 4. Конструктор рациона питания;
 5. Конструктор тренировочных программ;
 6. Ведение и просмотр дневника тренировок;
 7. Ведение расписания дня (приемы пищи, тренировки);
 8. Публикация информации в популярные социальные сети;
 9. Синхронизация данных между мобильным и веб-клиентом сервиса;
 10. Отправка данных о тренировках и основных показателях пользователям платных учетных записей из контакт-листа.
4. Функции управления информационным наполнением и администрирования сервиса;
5. Функции монетизации услуг, предоставляемых сервисом:
 1. Прием/подача заявок на рекламу;
 2. Вывод контекстной рекламы, исходя из требований таргетинга;
 3. Обслуживание платных учетных записей пользователей сервиса.

Заключение

Таким образом, бурное развитие информационных технологий, мобильных устройств и средств передачи данных делает задачу создания сервиса составления программ тренировок с учетом физиологических особенностей человека, как электронной услуги населению, актуальной и требующей дополнительной всесторонней проработки. Приведенный перечень функций сервиса позволит в полной мере проявить конкурентные преимущества данного сервиса, а также решить задачу автоматизации процессов формирования рациона питания пользователя и составления для него тренировочной программы с учетом его физиологических особенностей, образа жизни и распорядка дня.

Список литературы References

1. Константинов, И.С. Формирование информационной среды предоставления электронных услуг населению [Текст] / И.С. Константинов, Р.А. Лунев, В.Н. Волков, А.А. Стычук // Научные ведомости БелГУ. Серия: Экономика. Информатика. – Белгород: Издательский дом «Белгород», 2015. - №33/1, март 2015.

Konstantinov, I.S. Formirovanie informacionnoj sredy predostavlenija jelektronnyh uslug naseleniju [Tekst] / I.S. Konstantinov, R.A. Lunev, V.N. Volkov, A.A. Stychuk // Nauchnye vedomosti BelGU. Serija: Jekonomika. Informatika. – Belgorod: Izdatel'skij dom «Belgorod», 2015. - №33/1, mart 2015.

2. Лунев, Р.А. Инструментальные средства создания систем файлового хранения с использованием облачных технологий [Текст] / Р.А. Лунев, А.А. Щербakov, Л.В. Виноградов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013, № 1 – С. 30-33.

Lunev, R.A. Instrumental'nye sredstva sozdaniya sistem fajlovogo hranenija s ispol'zovani-em oblachnyh tehnologij [Tekst] / R.A. Lunev, A.A. Shherbakov, L.V. Vinogradov // Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij. – 2013, № 1 – S. 30-33.

3. Лунев Р. А. Требования к составу функций веб-сервиса оказания электронных услуг населению [Текст] / Р.А. Лунев, А.А. Стычук, А.А. Митин // Информационные системы и технологии. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – №1/87. Январь – февраль 2015. – С. 49 – 58.

Lunev R. A. Trebovanija k sostavu funkcij veb-servisa okazanija jelektronnyh uslug naseleniju [Tekst] / R.A. Lunev, A.A. Stychuk, A.A. Mitin // Informacionnye sistemy i tehnologii. – Orel: Gosuni-versitet - UNPK, 2015. – №1/87. Janvar' – fevral' 2015. – S. 49 – 58.

УДК 658.51.012

**ОБЗОР МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**
**REVIEW OF GOVERNANCE MODELS PRODUCTION LINES
MANUFACTURING SYSTEMS**

О.М. Пигнастый
O.M. Pignasty

*Национальный Технический Университет "ХПИ", Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21
National Technical University "KhPI", 21 Frunze St, Kharkov, 61002, Ukraine*

e-mail: pom7@bk.ru

Аннотация. В статье приведен обзор основных моделей управляемого производственного процесса, используемых для проектирования систем управления современными поточными линиями. Выполнен сравнительный анализ разных типов моделей и показаны области применения моделей. Дана краткая характеристика основных параметров моделей. Детально рассмотрены кинетические модели и потоковые модели с использованием уравнений в частных производных.

Resume. The article provides an overview of the main models managed manufacturing process used for the design of control systems with modern flow lines. A comparative analysis of different types of models and shows the application of models. A brief description of the main parameters of the models. A detailed analysis of kinetic models and flow models using partial differential equations.

Ключевые слова: PDE-модель, производственная линия, массовое производство, незавершенное производство, система управления, балансовые уравнения, производственной линии, уравнение состояния, дискретно-событийная модель, теория массового обслуживания, модель жидкости, Clearing- функция, квазистатический процесс, переходный процесс, стохастический процесс.

Keywords: PDE-model, production line, mass production, work in progress, management system, balance equations of the production line, equation of state, discrete-event model, queuing theory, model fluid, Clearing-function, quasi-static process, transient process, stochastic process.

Введение

Вопросы планирования и управления производством промышленной продукции определяют ключевые задачи для многих теоретических дисциплин. Большое количество работ, посвященных проектированию систем управления производственными процессами, используют математический аппарат теории исследования операций (Arrow K.J., Karlin S., Бир С., Первозванский А.А. Шкурба В.В., Бессонов В.А., Бигель Дж., Прыткин Б.В.), теории оптимизации (Интрилигатор М., Kempf K., Якимович С.Б., системной динамики (Форрестер Дж.), теории массового обслуживания (Gross D, Harris C.), теории управления запасами (Рыжиков Ю.И.), теории планирования и управления производством (Modigliani F., Holm C., Бусленко Н.П., Дудорин В.И., Емельянов С.В., Митрофанов С.П., Соколицын С.А., Разумов И.М., Балашевич В.А.), статистической теории динамических систем (Власов А.А., Казаков И.Е., Красовский А.А.), статистической теории производственных систем (Азаренков Н.А., Демущий В.П., Пигнастый О.М., Локтев И.И., Петров Б.Н., Тихомиров И.А., Ходусов В.Д., Armbruster D., Ringhofer С.). Проблемам общей методологии моделирования сложных производственно-технических систем посвящены труды отечественных и зарубежных ученых Arrow K.J., Solow R.M., Вильсона А., Власова В.А., Глушкова В.М., Голдрата Э., Занга В.Г., Канторовича Л.В., Летенко В.А., Разумова И.М., Соколицына С.А., Хакена Г., Шананина А.А., Шкурбы В.В.. Вопросам применения DES-, TQ- и Fluid-моделей при проектировании высокоэффективных систем управления поточными линиями уделено внимание в трудах Cassandras С., Heymann M., Hopp W.J., Eekelen J., Ramadge P., Roset B., Wardi Y., Wonham W., Бусленко Н.П., Брагинского К.А., Лысенко Ю.Г., Коробецкого Ю.П., Рамазанова С.К., Руменцева Н.В. Используются математические модели для принятия управленческих и проектно-технологических решений в условиях неопределенности посвящены работы в работах Vuzacott J.A., Harrison J., Shanthikumar J.G., Бессонова В.А., Дудорина В.И., Ермольева Ю.М., Зарубы В.Я., Зарубина В.С., Иванилова И.П., Леонтьева В.В., Лотова А.В., Новикова Д.А., Прангишвили И.В., Редькина А.К., Тихомирова А.К., Тихонова А.Н.

Модель стратегического развития предприятия определяется спросом на выпускаемую продукцию. Промышленное предприятие имеет доступ в течение производственного цикла к ограни-



ченному набору технологических ресурсов, производит в единицу времени ограниченное количество продукта, определяемое производственной мощностью (эффективностью использования технологического оборудования) [1]. Конкурентноспособность предприятия в значительной степени характеризует объем выпуска продукции в единицу времени, длительность производственного цикла и объем незавершенного производства (WIP: work in process or in-process inventory) [1, 2]. В большинстве работ они приняты в качестве основных параметров модели. Предметы труда, находящиеся в незавершенном производстве, распределены вдоль технологического маршрута. Это распределение определено динамикой поступления предметов труда на первую технологическую операцию и выходом готовой продукции с последней, неравномерностью времен обработки и ограничениями на использовании ресурсов для каждой технологической операции [1,3-7]. Оптимизация параметров систем управления производственными линиями привела к появлению двух взаимосвязанных задач планирования и управления производством. Прямая задача заключается в оценке длительности производственного цикла и пропускной способности производственной системы в зависимости от количества распределенных вдоль технологического маршрута предметов труда [8, с.4591]. Обратная задача заключается в определении необходимого количества предметов труда в незавершенном производстве и его распределения вдоль технологического маршрута для обеспечения выпуска готовой продукции с заданной во времени интенсивностью. Для решения указанных задач использованы разнообразные модели управляемых производственных процессов, основные характеристики некоторых из них приведены ниже.

Дискретно-событийные модели производственного процесса (DES-модели) [1, 9].

В настоящее время при проектировании систем управления поточными линиями широко используются дискретно-событийные модели управляемого процесса (Ankenman V. E., Bekki J. M., Fowler J., 2010) [9], основанные на детальной имитации процесса переноса технологических ресурсов на предмет труда для каждой единицы оборудования поточной линии. Uzsoy R. (2011) [10], Kacar N. (2012) использовали DES-модели описания поточной линии для уточнения информации о состоянии предметов труда вдоль технологического маршрута. Погрешность модели определена факторами, связанными с выбором масштаба времени планирования. Применение DES-моделей планирования производства с разработкой детального графика загрузки производственных мощностей во времени позволило получить зависимость выпуска готовой продукции от вида функции распределения предметов труда по технологическим операциям (Lu S., [11]). Диспетчерские правила (Шкурба В.В., [7]), описывающие стратегию управления, регулируют возникновение дискретных событий начала и окончания обработки предмета труда на каждой технологической операции. Более сложные алгоритмы планирования при построении диспетчерских правил оптимизируются длительность производственного цикла и темп движения предметов труда вдоль технологического маршрута (Lasserre J. [12]). Точность соответствия DES-модели реальному производственному процессу, может быть сколь угодно высокой за счет детализации описания технологической операции и увеличения количества повторений численного эксперимента [13], теоретически ограничивается погрешностью вычислительной схемы. Затраты машинного времени, необходимого для вычисления (частота процессора 4 ГГц) миллион итераций DES-модели (Berg R., Lefebvre E., [13]) для партии 10 тыс. деталей, движущейся по технологическому маршруту, состоящему из 20 технологических операций, составляют от нескольких часов до нескольких дней [14]. В то же время, требуемая длительность интервала планирования для систем управления параметрами поточной линии современных производственных предприятий не должна превосходить несколько минут [15, с.7], (рис.1). Следующая проблема дискретного моделирования связана с тем, что процесс переноса технологических ресурсов на предмет труда в результате выполнения технологической операции является стохастическим [8, с.4589]. Случайными являются как время выполнения технологической операции, так и количество перенесенных ресурсов на предмет труда. Продолжительность вычислений, превышающая требуемый промежуток планирования, стохастичность процесса переноса технологических ресурсов на предмет труда и отсутствие конечной функциональной связи между параметрами поточной линии не позволяют эффективно использовать DES-модели в качестве инструмента управления параметрами современной производственной поточной линии. DES-модели, применяемые для описания производственных систем, например, для моделирования поточных линий по производству полупроводниковой продукции [16], являются «относительно медленными» [8, с.4589], что не позволяет их эффективно использовать для построения систем управления и планирования производством.

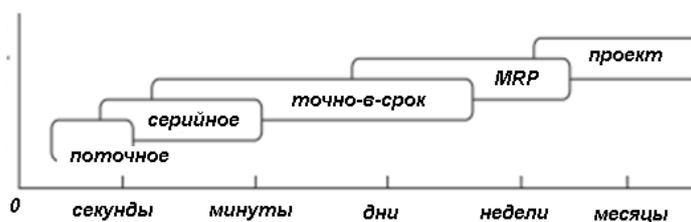


Рис.1. Длительность интервала принятия решения [15, p.7]
Fig. 1. The duration of the interval decision making [15, p.7]

Модели теории массового обслуживания (TQ-модели) [1,5,17,18] широко используются для описания производственных линий в установившемся режиме. Повышение производительности вычислений достигается переходом от дискретного описания поведения предметов труда к непрерывному описанию с использованием усредненных числовых характеристик. С точки зрения использования вычислительных ресурсов модели теории массового обслуживания [17] для стационарных режимов функционирования производственной линии являются эффективнее DES-моделей, позволят представить аналитическую функциональную зависимость между потоковыми параметрами модели. Достаточно хорошо представлены TQ-модели производственных линий в работах Vuzacott J.A., Shanthikumar J.G., Chao X., Horp W.J. [18], Lefebber E.[19], которые сосредоточили свое внимание на взаимной связи между длительностью производственного цикла изготовления партии деталей и количеством предметов труда в межоперационных накопителях (рис.2). Очередь изделий, ожидающих обработку, представляет незавершенное производство (WIP) производственной системы. Достаточно точную оценку выходной траектории параметров удалось получить только для установившегося режима работы производственной линии, состоящей из небольшого количества технологических операций. Постоянное наличие переходных процессов в ходе функционирования производственной линии требует использование более совершенных нестационарных моделей, что приводит к значительному увеличению времени счета и к отсутствию наглядной функциональной связи между параметрами производственной линии [14]. При описании переходных нестационарных процессов TQ-модели теряют свои преимущества перед DES-моделями. Применение TQ-моделей для переходных режимов приводит к чрезмерному усложнению задачи. Существенным ограничением их применения является то, что современные производственные линии состоят из большого числа технологических операций. Как правило, используются одномоментные модели теории массового обслуживания. Двухмоментные модели, учитывающие дисперсию параметров обработки предметов труда, для описания производственных линий практически не встречаются в связи со сложностью их построения. Следующим ограничением для применения TQ-model является то обстоятельство, что основные формулы получены для установившихся режимов ($t \rightarrow \infty$), что автоматически подразумевает выполнение неравенства $\lambda < \mu$ (рис.2), где λ - интенсивность поступления предметов труда на обработку; μ - интенсивность обработки предметов труда.

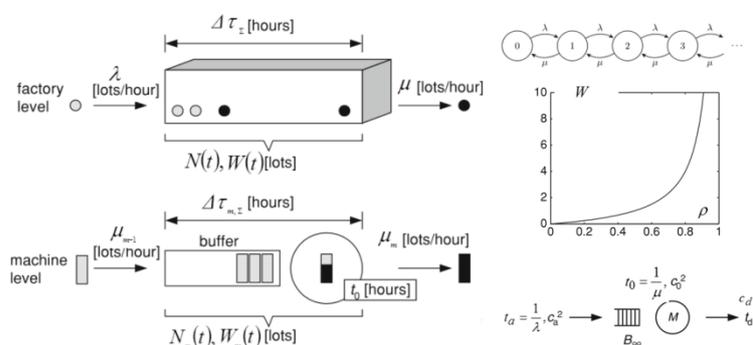


Рис. 2. Основные параметры TQ-модели [19, p.10]
Fig. 2. The basic parameters TQ-model [19, p.10]

В действительности, для большинства производственных линий с конечным производственным циклом справедливо неравенство $\lambda \geq \mu$, что не позволяет использовать хорошо разработанный аппарат теории массового обслуживания для установившихся процессов. Решение указанных про-

блем приводит к высокой размерности задачи, громоздким вычислениям, требует значительных вычислительных ресурсов.

Модели жидкости производственных процессов (Fluid-модели) [6,20,21]. Широкий класс описания управляемых производственных процессов содержат уравнения переноса. Данный класс эффективно используется для описания переходных нестационарных, в основном детерминированных производственных процессов. Традиционно различают два подхода к представлению потока предметов труда вдоль технологического маршрута. Первый подход заключается в агрегации предметов труда по состояниям [21] и с последующим построением уравнений переноса, второй, более распространенный, в представлении потока изделий в виде непрерывной жидкости (Fluid-модель, Форрестер Дж., 1961, [6]), для описания которой используются уравнения переноса. Концептуально дискретные Fluid-модели (рис.3) представляют m -ое рабочее место в сети массового обслуживания в виде m -ого накопителя емкостью и задвижки между $(m-1)$ -ым и m -ым накопителем, регулирующей с интенсивностью μ_{m-1} движение предметов труда между ними (Kefeli, Uzsoy, Fathi, Kay, 2011) [1]:

$$\frac{dq_m}{dt} = \mu_{m-1} - \mu_m, \quad m = 1..M, \quad \mu_0 = \lambda, \quad (1)$$

где q_m - незавершенное производство (WIP) в межоперационном заделе перед m -ым технологическим оборудованием (длина очереди), μ_m - темп обработки предметов труда на m -ом технологическом оборудовании, $\mu_0 = \lambda$ - интенсивность поступления предметов труда на первую технологическую операцию. Дискретизация модели обусловлена удобством взаимосвязи уравнений модели с конкретными потоковыми параметрами для участка технологического маршрута производственной линии: межоперационными заделами в накопителе q_m , темпом обработки предметом труда на текущем μ_m и предыдущем μ_{m-1} участке. Уравнения (1) Fluid-модели являются непрерывными во времени и дискретными в пространстве, описывают N пространственных частей потока предметов труда. Набор обыкновенных дифференциальных уравнений (1) представляет временную эволюцию длины очереди предметов труда в межоперационном заделе, может быть представлено в форме уравнений Форрестера (1961) [6], моделируют поток предметов труда по технологическому маршруту с дискретно расположенным технологическим оборудованием. Этапы производства рассматриваются как изменение непрерывных переменных, описывающее состояние предметов труда в технологическом пространстве состояний. В отличие от реальной жидкости, переменные состояния не описывают физическое пространство, а обозначают степень завершенности части или стадии производства. В качестве переменной, определяющей расположение оборудования, при расчете поточных линий часто используют переменную ζ (метр), представляющую путь, который проходит предмет труда в результате обработки с начальной технологической операции до текущей технологической операции при общей протяженности технологического маршрута D (метр) [22]. При этом в качестве переменной, определяющей темп обработки предметов труда вдоль технологического маршрута, принимается скорость (метр/час) движения предметов труда по технологическому маршруту поточной линии (для конвейерных линий – скорость движения конвейера). Система уравнений модели (1) представляется в виде:

$$\frac{dq(t, \zeta_m)}{dt} = \mu(t, \zeta_{m-1}) - \mu(t, \zeta_m), \quad m = 1..M, \quad \mu(0) = \lambda. \quad (2)$$

При количестве технологических операций в технологическом маршруте $M \gg 1$ ($M \approx 10^2$ [14], $M \approx 250$ [8], $M \approx 300$ [23, с.445]) для построения систем управления переходными производственными процессами использование Fluid-модели (1), (2) становится малоэффективным. Fluid-модели утрачивают преимущества перед TQ-моделями. Однако, факт наличия большого количества технологических операций $M \gg 1$ позволяет осуществить предельный переход при $(\zeta_m - \Delta\zeta_{m-1}) = \Delta\zeta \ll D$ к представлению системы уравнений (2) в виде нестационарной континуальной (непрерывной по координате пространства) модели поточной линии [8, с.4591]:

$$\mu(t, \zeta_m) = \mu(t, \zeta_{m-1}) + \frac{\partial \mu(t, \zeta)}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=\zeta_m} \Delta\zeta_m + o(\Delta\zeta_m^2), \quad \frac{\partial \rho(t, \zeta)}{\partial t} \Big|_{\zeta=\zeta_m} = - \frac{\partial \mu(t, \zeta)}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=\zeta_m} + o(\Delta\zeta_m), \quad m = 1..M, \quad (3)$$

где $\rho(t, \zeta_m) = q(t, \zeta_m) / \Delta \zeta_m$ [1,21]- усредненная плотность предметов труда в межоперационном заделе $q(t, \zeta_m)$ m -ой технологической операции для участка технологического маршрута $[\zeta_{m-1}, \zeta_m]$, $\mu(0) = \lambda$. Функция $\mu(t, \zeta)$ задана, определяет темп работы отдельных участков поточной линии. Тот факт, что производственные процессы являются не стационарными и стохастическими, затрудняет использование Fluid-моделей в системах управления поточными линиями, требует их дальнейшего совершенствования. Другой особенностью модели является то, что уравнения (3) необходимо дополнить уравнением состояния, определяющим функцию $\mu(t, \zeta)$. Фундаментом для построения уравнения состояния является механизм детального взаимодействия предметов труда с технологическим оборудованием. Это привело к необходимости использования для построения уравнения состояния DES-моделей со всеми описанными выше их недостатками. Применение эмпирических зависимостей, определяющих функцию $\mu(t, \zeta)$, для нестационарных переходных процессов оказались бесперспективными из-за своей сложности построения и недостаточной точности между численными и практическими результатами [6].

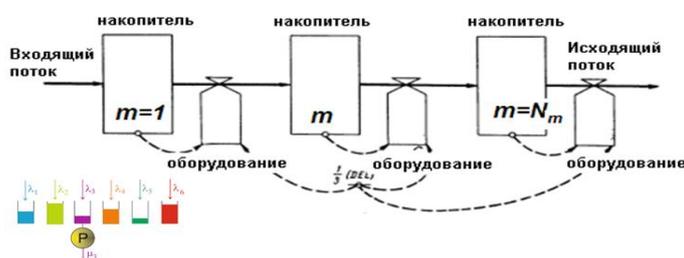


Рис. 3. Концептуальное представление Fluid-модели [6]
Fig. 3. Conceptual view of Fluid-model [6]

Наряду с расчетом количественного распределения предметов труда вдоль технологического маршрута при заданной во времени интенсивности поступления заказов $\mu(0) = \lambda$ и темпе выпуска готовой продукции $\mu(D) = \mu_M$ представляет интерес задача определения для каждой технологической операции уровня запаса разных видов сырья и материалов, необходимого для обеспечения бесперебойной работы поточной линии. Данная задача планирования производства в классической постановке, сформулированной Modigliani F. и Hohn F. (1955) [24], определяет шаблон для интенсивности поступления ресурсов, необходимых для выполнения технологической операции. Модель производства, предложенная Modigliani F. и Hohn F., обеспечивала в дискретные моменты времени координацию действий различных частей производства с поставщиками сырья и потребителями готовой продукции. Общее потребление ресурсов на технологических операциях поточной линии связывалось с дискретными моментами времени, разделенными периодами планирования. Это позволило использовать упрощенные ограничения, которые накладывают отпечаток на поведение ресурсов в агрегированной модели оптимизации. Предложенный подход являлся доминирующим в научной литературе на протяжении десятилетий [15]. Однако, наличие проигнорированных ограничений при агрегировании сужает рамки применения моделей (Johnson L.A., Montgomery D.C.) [25], (Voß S., Woodruff D.L.).

Модели с использованием функции ожидания [26]. При постановке задач планирования производства возникает вопрос о масштабах времени планирования. Несмотря на то, что планирование производства осуществляется в дискретные моменты времени, планы фактически генерируются в непрерывном режиме времени в соответствии с поступившими заказами. В связи с этим Schneeweiss C. (2003) [27] предложил в качестве уравнения состояния производственной системы использовать функцию ожидания, обеспечивающую периодами времени поступления заказов и параметрами в модели планирования производства в дискретные моменты времени. В стационарных условиях ожидаемая длительность производственного цикла является нелинейной функцией использования ресурсов (Buzacott J.A., Shanthikumar J.G. [26], Hopp W.J. [18]).

Для построения нестационарных функций ожидания предложено использовать дискретные Fluid-модели. Дискретная Fluid-модель управляемого процесса «одно изделие – один технологический ресурс» представлена в виде:

$$I_i = I_{i-1} + R_i - D_i = I_{i-1} + X_i - D_i, \quad X_i = R_i, \quad (4)$$

где I_i - количество готовой продукции на период планирования Δt_i , $t_i = t_1 \dots t_T$, R_i - количество материала поступившего в периоде Δt_i , D_i и X_i - спрос на продукцию и объем производства за период Δt_i . Балансовое соотношение (4) соответствует простейшему типу функции ожидания (время цикла много меньше периода планирования). Предполагается, что поступающий материал для обработки в период Δt_i доступен для использования в конце периода. Из-за небольшой продолжительности производственного цикла T_d , $T_d \ll \Delta t_i$ материал перерабатывается за период Δt_i и незавершенным производством (WIP) можно пренебречь. Когда длительность T_d превышает несколько периодов планирования, количество продукции на период планирования I_i становится зависимым от количества незавершенного производства. Объем производства X_i за период Δt_i связан с количеством материала R_{i-L} , поступившего в период Δt_{i-L} , $L=1,2,3,\dots$

$$I_i = I_{i-1} + X_i - D_i = I_{i-1} + R_{i-L} - D_i, \quad X_i = R_{i-L}. \quad (5)$$

Балансовое уравнение (5) широко использовалось при планировании потребностей в материалах промышленных MRP-систем (Vollmann T.E., 2005) [15], (Vob S., Woodruff D.L., 2003) [28]. Хотя существуют модели (Hackman S.T., Leachman R.C., 1989) [29], в которой сроки поставки технологических ресурсов равны дробному числу периодов планирования, общим, как для теории, так и для производственной практики, является предположение о том, что время поставки соответствует целому числу периодов планирования. Большинство моделей вводят ограничения вида $X_i \leq C_i$ на максимальный выпуск X_i за период планирования, где C_i - предельная мощность производства. В конце периода t_i производственная система имеет уровень незавершенного производства:

$$W_i = \sum_{n=i-L+1}^i R_n - \sum_{n=i+1}^{i+L} X_n \quad (6)$$

Материал, поступивший в период t_i , остается в системе в течение интервала времени $\Delta t_i = (t_i - t_{i-L})$. Общепринятая точка зрения на использование в дискретных Fluid-моделях MRP-систем ограничений производственных мощностей привела к задаче линейного программирования:

$$\sum_{i=1}^N (h_i \cdot I_i + \sigma_i \cdot R_i) \rightarrow \min, \quad I_i = I_{i-1} + R_{i-L} - D_i, \quad R_{i-L} \leq C_i, \quad R_i \geq 0, \quad I_i \geq 0, \quad (7)$$

где h_i - стоимость единицы незавершенного производства, σ_i - стоимость единицы производственных ресурсов, используемых в момент времени t_i .

Норр W.J., Spearman M.L. [18], основываясь на детальной DES-модели взаимодействия отдельных предметов труда с оборудованием, представили в течение интервала планирования Δt_i зависимость производительности поточной линии от интенсивности поступления технологических ресурсов, необходимых для обработки изделий. При этом Liu J., Li C., Yang F., Wang H., Uzsoy R. [10] указывают на необходимость использования для решения задачи больших ресурсов машинного времени. Для глубокого детального изучения рассмотренных проблем требуются более производительные процессоры (Касаг Н.). Применение данных моделей давало хорошее совпадение теоретических и практических данных при описании квазистационарных производственных процессов. Однако их возможность описывать нелинейные зависимости между темпом движения предметов труда по технологическому маршруту и длительностью производственного цикла при интенсивно используемых технологических ресурсах вызывала сомнения [14].

Основная проблема при определении масштабов времени $\Delta t_i = (t_i - t_{i-L})$ заключается в том, что система планирования и управления производством при $T_d \gg \Delta t_i$ требует оценки последствия влияния решений на состояние параметров производственной системы. При использовании фиксированных промежутков $\Delta t = (t_i - t_{i-L})$ игнорируются эффекты, возникающие в пределах промежутка планирования. Достижения максимальной емкости накопителя межоперационных заделов в преде-

лах промежутка планирования приводило к остановке поточной линии, что ограничивало объем производства X_i за период Δt_i .

Модели управляемых производственных процессов с использованием clearing-функции [30,31]. Наличие однообразных задач планирования и управления производством, для решения которых применялись различные модели или их комбинации, привело к идее создания единой оптимизационной теории производственных систем с поточным способом организации производства, для построения которой Graves S.C. (1986) [30], Karmarkar U.S. (1989) [31] предложили использовать в качестве основных параметров состояния пропускную способность $[\chi]_{CL}$ производственной системы, объем незавершенного производства W и длительность производственного цикла T_d . Для описания поведения параметров системы Karmarkar U.S. ввел уравнение состояния $[\chi]_{CL} = \Phi(W)$ (рис.4), задающее связь между пропускной способностью и объемом незавершенного производства, получившее название clearing-функции [31]. Clearing-функция может быть определена для группы машин, оборудования, поточных линий, одного или нескольких заводов, включенных в единый производственный процесс. Clearing-функция $[\chi]_{CL} = \Phi(W) = const$ ставит фиксированную границу выпуска продукции, предполагая мгновенное наращивание мощности производства, а $[\chi]_{CL} = \Phi(W) = a \cdot W$, $a = const$ [30] предполагает фиксированное время выхода производства на полную мощность, которая при наличии ограничения выпуска продукции для промежутка планирования Δt_i , известна как комбинированная clearing-функция (Karmarkar U.S.,1989) [31]. Важный класс составляют нелинейные clearing-функции, используемые для построения одно-продуктовых моделей:

а) TQ-модель M/M/1 очереди для стационарного состояния (рис.5) [1]

$$[\chi]_{CL} = \Phi(W) = \frac{\mu \cdot W}{1 + W}, \quad (8)$$

б) модель фундаментальной диаграммы трафика для стационарного состояния

$$[\chi]_{CL} = \Phi(W) = \mu \cdot W - W^2, \quad (9)$$

в) модель G/M/1 очереди для стационарного состояния (Mehdi J., 1991) [1], (Berg R.,2004) [13,c.7]:

$$W = \frac{c_a^2 + c_s^2}{2} \cdot \frac{\rho^2}{1 - \rho} + \rho, \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \quad (10)$$

где c_a^2 и c_s^2 характеризуют среднеквадратичное отклонение поступления требований на изготовления изделий и времени их обработки, μ - темп обработки предметов труда, λ - интенсивность поступления предметов труда на первую технологическую операцию [1]. Модель G/M/1 очереди для стационарного состояния (10) является развитием модели (8), движение предметов труда по технологическому маршруту с последовательным расположением технологического оборудования. Berg R. указал на то, что устойчивое состояние для модели (10) обеспечивается при выполнении условия $\rho < 1$ [13,c.6]. При $\lambda \rightarrow \mu$ межоперационные заделы бесконечно большие ($W \rightarrow \infty$), а при $\lambda > \mu$ уравнение (10) не может быть использовано, т.к. при его выводе предполагалось $\rho = (\lambda/\mu) < 1$. Решение (10) относительно $\rho < 1$ описано в [1]:

$$\rho = \frac{\sqrt{(W+1)^2 + 4W(c^2 - 1)} - (W+1)}{2(c^2 - 1)}, \quad \text{при } c = \frac{c_a^2 + c_s^2}{2} > 1. \quad (11)$$

При $c \rightarrow 1$ модель M/M/1 очереди (8) является предельным случаем модели (10):

$$\lim_{c \rightarrow 1} \rho = \frac{W}{(W+1)}, \quad \lim_{c \rightarrow 1} [\chi]_{CL} = \frac{\mu \cdot W}{1 + W} \quad (12)$$

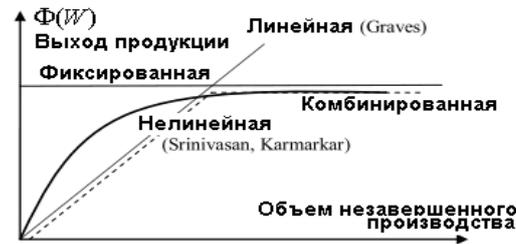


Рис. 4. Clearing-функция производственной системы [31]

Fig. 4. Clearing-function production system [31]

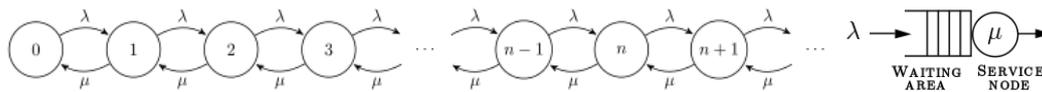


Рис. 5. Схема M/M/1-модели очереди поточной линии

Fig. 5. Model M/M/1 queue production line

Asmundsson J.M (2006) [32] предложил распределенные АС-функции (allocated clearing function) для моделирования многопродуктовых линий. АС-функции предполагают, что производится совокупный продукт, агрегирующий в себе технологические ресурсы для производства отдельных продуктов. Альтернативным подходом является представление clearing-функции в виде суммы clearing-функций отдельных продуктов. Экспериментальные данные свидетельствуют об удовлетворительных результатах использования АС-функций для продуктов, схожих по характеру потребления ресурсов. Интенсивности потребления ресурсов при этом выражаются в единицах времени обработки [1]. Однако, если модели переноса ресурсов для каждой номенклатуры предметов труда являются сложными, использование АС-функций не позволяет описать производственные процессы. Selçuk B., Fransoo J.C., Gok A.G. (2007) аппроксимировали clearing-функцию кусочно-линейной функцией [1], что позволило использовать для оптимизации параметров поточной линии аппарат линейного программирования. Clearing-функция может быть получена как аналитически так и численно с использованием TQ-моделей, DES-моделей, Fluid-моделей производственных систем или определена эмпирически. Selçuk, B., Fransoo J.C., Gok A.G. (2007) [1] представили методику построения переходных clearing-функций аналитически. В связи с тем, что оперативная информация о выпуске продукции и о состоянии незавершенного производства на предприятии является закрытой, то в большинстве исследований для построения clearing-функции вместо эмпирических данных используется TQ- и DES-модели. Исключением являются работы Haeussler S., Missbauer H. (2012) [1], в которых для построения clearing-функции применены полученные с производственной линии цифровые носители. Kasar N. (2012) использовал для построения clearing-функции оптимизированные параметры поточной линии. Вычислительные эксперименты, связанные с расчетом параметров поточных линий компании Intel, показали хорошее приближение расчетных и экспериментальных данных для установившихся процессов [1].

Несмотря на то, что clearing-функция являются удачным инструментом для определения мгновенной связи между пропускной способностью производственной системы и объемом незавершенного производства, наличие ограниченного количества параметров, входящих в уравнение состояния, не позволяет эффективно моделировать временное изменение параметров производственного процесса, обусловленное факторами обработкой изделий (Armbruster D, Kempf K., 2012) [1]. Попытки создания нестационарных clearing-функций ограничены специальными теоретическими уточнениями и экспериментальными исследованиями (Fonteiijn J., Wienke M., 2012) [1]. В качестве уточнения Lefebvre E. (2008) [20] вводит в clearing-функцию $[\chi]_{CL} = \Phi(W(t - \tau_0))$ эффективное время

обработки $\tau_0 = \sum_{m=0}^M \mu_m^{-1}$ (основное технологическое время) предметов труда на технологических

операциях [13]. Missbauer H (2009) предпринял попытки расширить применение clearing-функции на переходные производственные процессы. При этом обратилось внимание на существенную зависимость пропускной способности производственной системы от начального распределения предметов труда по технологическому маршруту и необходимость обеспечения условий перехода производственной системы из одного стационарного устойчивого состояния в другое. Производственные процессы являются стохастическими [21,33], но несмотря на это при построении clearing-функций практически не уделено внимание исследованию устойчивости потоковых параметров производ-



ственных линий, отсутствуют оценки времени затухания случайных возмущений потоковых параметров и оценки их абсолютных величин. Исследования поточной линии Intel по производству полупроводниковых изделий, проведенные Armbruster D., Kempf K.G. (2012) [1] показали, что повседневные стохастические факторы возмущения параметров производства имеют время затухания от 1-2 дней до недели, что требует наличие страховых запасов до 20% от нормативного количества. Предположение о квазистационарности переходного процесса является значительным ограничением для широкого применения уравнения состояния (clearing-функции) в аналитическом виде, построенного в основном с использованием TQ-моделей.

Модели производственных процессов, использующие уравнения в частных производных. PDE-модели [8]. В современной литературе выделены основные три типа моделей и их комбинации для вывода уравнения состояния, определяющего связь потоковых параметров производственных линий. Это модели массового обслуживания (TQ-model), дискретно-событийные модели (DES-model) и Fluid-модели [1]. Каждый тип моделей имеет свои преимущества, но ни один из них не подходит в полной мере для моделирования как установившихся, так и переходных процессов функционирования производственной системы [13, с.2]. Существующие TQ-модели описывают поточные линии в стационарном режиме [17]. Использование их при описании переходных процессов приводит к чрезмерному усложнению и большим затратам машинного времени. DES-модели используются для описания поточных линий в переходном и стационарном режиме, но являются дискретными и требуют больших затрат машинного времени. Fluid-модели ориентированы на малое количество интервалов разбиения технологического маршрута и линейные стационарные решения в рамках заданного интервала. Требование повышения точности модели приводит к увеличению количества интервалов обобщения и к усложнению модели в связи с увеличением размерности системы дифференциальных уравнений (1) (Kefeli A., Uzsoy R., 2011).

В последнее десятилетие при проектировании производственных поточных линий используются модели, описывающие поведение производственной системы с помощью уравнений в частных производных (PDE-model) [1,9,13,20,21]. Введенный класс моделей объединил преимущества TQ-моделей, DES-моделей и Fluid-моделей, значительно расширил возможности проектирования систем управления поточными линиями. PDE-модели в общем случае являются непрерывными, могут быть успешно использованы при описании стационарных и переходных режимов работы поточной линии, не требуют больших затрат машинного времени [1].

Ключевым вопросом при построении PDE-модели поточных линий является выбор системы координат. Распространенным подходом является использование в качестве переменной, определяющей место обработки предмета труда на технологическом маршруте, стоимости S (грн.) перенесенных технологических ресурсов на предмет труда (Дабагян А.В., 2008) [1], (Федюкин В.К., 2004) $S \in [0, S_d]$ (S_d (грн)- себестоимость изготовления продукции), эффективного времени обработки

предмета труда τ_m (час), $\tau_m \in [0, \tau_M]$ (Eekelen J., 2006), (Ramadge P., Wonham W.) [1] ($\tau_M = \sum_{m=1}^M \Delta\tau_m$

(час)-общее эффективное время обработки предмета труда, $\Delta\tau_m$ -среднее время обработки предмета труда на m-ой технологической операции) или степени незавершенности изготовления изделия x (Armbruster D., Ringhofer C., Berg V., Lefebvre E., 2004) [1], $x \in [0, 1]$. Под степенью незавершенности изготовления изделия x понимается позиция предмета труда в технологическом маршруте, которая может быть представлена как отношение среднего времени $\Delta\tau_m$ обработки предмета труда к его общему времени обработки τ_M [13, с.16]. Для предмета труда, прошедшего обработку на m-ой операции,

можно записать $x = \frac{\tau_m}{\tau_M} = \left(\frac{\sum_{k=1}^m \Delta\tau_k}{\sum_{k=1}^M \Delta\tau_k} \right)$. Каждому времени обработки $\tau_m = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_k$ одно-

значно соответствует стоимость ресурсов $S_m = S(\tau_m)$, перенесенных на предмет труда, а общему времени τ_M - себестоимость $S_d = S(\tau_M)$. Таким образом, степень незавершенности изготовления изделия x может быть определена через время обработки τ или стоимость перенесенных затрат $S = S(\tau)$ на предмет труда. Целесообразно при моделировании производственной поточной линии с

одним обобщенным технологическим ресурсом использовать безразмерную переменную $x = \frac{S_m}{S_M}$,

определяющую позицию предмета труда в технологическом маршруте [3], $x \in [0, 1]$. Безразмерная

переменная $x = \frac{\tau_m}{\tau_M}$ используется в случае, когда модель поточной линии не рассматривает при

переноса на предмет труда структуру ресурсов (Armbruster D., Ringhofer C.) [1]. Для модели поточной линии, которая учитывает в результате выполнения технологической операции потребление несколько взаимосвязанных между собой технологических ресурсов, на использование которых наложены ограничения, применение безразмерной переменной X является затруднительным. Если ввести функцию плотности предметов труда $\rho(t, x)$ в состоянии x в момент времени t , то общее количество предметов труда, находящихся в различных стадиях готовности есть величина (Armbruster D., Ringhofer C.) [1,20,21]:

$$W(t) = \int_0^1 \rho(t, x) dx, \quad x \in [0, 1] \quad (13)$$

Так как процесс обработки предметов труда является стохастическим, то в результате выполнения операции предмет труда может находиться в том или ином состоянии [8, с.4544]. Это позволило записать усредненную плотность предметов труда $\rho(t, x)$ (шт.) и поток предметов труда $F(t, x)$ (шт./час) по технологическому маршруту через функцию распределения предметов труда $f(t, r, x)$ по состояниям $r = \Delta\tau_m^{-1}$ (Armbruster D., Ringhofer C., 2005) [1]:

$$\rho(t, x) = \int_0^{\infty} f(t, r, x) dr, \quad F(t, x) = \int_0^{\infty} \frac{1}{r} f(t, r, x) dr \quad (14)$$

Положение предмета труда в пространстве состояний характеризуется точкой с координатами $(q_1, q_2, \dots, q_j, \dots, q_n)$, которые определяют количественное значение параметров предмета труда. Пространство состояний используется при построения моделей многопоточных линий, потребляющих в ходе производства несколько ресурсов. Использование в одномерном описании безразмерной переменной X [1, 3] для углубленного исследования изменения состояния предмета труда является затруднительным. Напротив, применение в качестве переменной модели параметра S , характеризующего технологическую позицию обработки предмета труда через стоимость позволяет применить детально разработанный математический аппарат производственных функций [21], что дает возможность суммировать ресурсы путем суммирования их стоимостей. Однако, несмотря на раскрывающиеся перспективы в связи с использованием стоимостного представления изменения состояния предмета труда, подавляющее большинство авторов (Armbruster D., Ringhofer C. (2005), Berg R., Lefebvre E., Rooda J. (2008) [13], Wienke M., Fonteijn J., (2012), Kempf K., (2012) [16]), применяют PDE-модели поточных линий без ограничений на потребление технологических ресурсов, вводят для описания состояния предмета труда переменные состояния (r, x) .

В PDE-модели поток предметов труда $F(t, x) = \rho(t, x) \cdot v(t, x)$ (пропускная способность поточной линии) представляется в виде произведения плотности $\rho(t, x)$ предметов труда и скорости $v(t, x)$ их движения [33]. Предполагая, что дефектные предметы труда отсутствуют (нет источников и стоков), движение предметов труда по технологическому маршруту удовлетворяет закону сохранения:

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda - \mu, \quad Q(t) = W(t) = \int_0^1 \rho(t, x) dx, \quad (15)$$

где λ – интенсивность поступления предметов труда на первую технологическую операцию, μ – выпуск продукции [1]. Уравнение (15) является интегральной формой закона сохранения количества предметов труда, находящихся в процессе обработки, может быть представлено в дифференциальном виде [1]:

$$\frac{\partial \rho(t, x)}{\partial t} + \frac{\partial F(t, x)}{\partial S} = 0, \quad F(t, x) = \rho(t, x) \cdot v(t, x). \quad (16)$$

Граничное условие $F(t, 0) = \lambda(t)$ задает поток заготовок на первую операцию. Профиль незавершенного производства в начальный момент времени определяется условием $\rho(0, S) = \rho_0(S)$, которое характеризует распределение заготовок по технологическим операциям поточной линии. Для свободной поточной линии $\rho(0, S) = 0$. Уравнение (16) обеспечивает взаимосвязь во времени плотности $\rho(t, x)$ распределения предметов труда и темпа их движения $F(t, x)$ (пропускной способности поточной линии) для каждой точки x технологического маршрута [21]. Неравномерность распреде-



ления незавершенного производства вдоль маршрута обусловлена разными эффективными временами обработки предметов труда на каждой операции. Неравномерность в производительности оборудования вдоль технологического маршрута определяет динамику изменения плотности предметов труда, что существенным образом влияет на пропускную способность линии. Модели производственного процесса, содержащие уравнение (16) учитывают влияние внутренних факторов на пропускную способность, а также ограничения, определяемые максимальной производительностью оборудования и емкостью межоперационных накопителей. Это позволило PDE-моделям составить значительную конкуренцию DES-моделям, преимущество которых в том, что они допускают решение в аналитическом виде и не требуют значительных вычислительных ресурсов. Трудность построения PDE-моделей определяется тем, что балансовые уравнения вида (16) незамкнуты [13, 21, 33]. Для замыкания уравнение (16) дополняется уравнением состояния. Если уравнение состояния зада-

но линейной clearing-функцией $\Phi(W) = \int_0^1 F(t, x) dx = c \int_0^1 \rho(t, x) dx = c \cdot W$, (Constant Proportion, Graves S.C., 1986, [30]) (рис.4), то система уравнений PDE-модели:

$$\frac{\partial \rho(t, x)}{\partial t} + \frac{\partial F(t, x)}{\partial S} = 0, \quad v(t, x) = c = const, \quad F(t, x) = \rho(t, x) \cdot c \quad (17)$$

допускает аналитическое решение. Если скорость движения предметов труда вдоль технологического маршрута постоянна $v(t, x) = c$, то для единичного потока предметов труда, поступающего в момент времени $t=0$ на первую технологическую операцию поточной линии, уравнения (17) имеет решение:

$$c \cdot \rho(t, x) = H(c \cdot t - x) = \begin{cases} 0, & t < x/c, \\ 1, & t \geq x/c, \end{cases} \quad \lambda(t) = H(t). \quad (18)$$

Встроенная в модель величина $\tau = c^{-1}$ определяет длительность задержки между временем поступления сырья на первую операцию и временем выхода готового продукта. Постоянной скорости движения предметов труда по технологическому маршруту соответствует постоянное время задержки τ . Связь потока предметов труда представлена линейной зависимостью. Следующая PDE-модель (Lighthill–Whitham) [1] использует уравнения состояния в виде нелинейной зависимости потока $F(\rho)$ предметов труда от плотности ρ :

$$\frac{\partial \rho(t, x)}{\partial t} + \frac{\partial F(t, x)}{\partial x} = 0, \quad F(\rho) = \rho \cdot v(\rho) = \rho \cdot v_0 \left(1 - \frac{\rho}{R}\right), \quad \frac{\rho}{R} \leq 1. \quad (19)$$

Широкое распространение получили PDE-модели поточных линий, содержащие стационарные уравнения состояния. Для завода, уравнение состояния поточной линии которого представлено M/M/1-моделью очереди размером $W(t)$, параметры λ, μ, W (15) и длительность производственного цикла $T_d = (1+W)/\mu$ для стационарного состояния определяются зависимостью (Gross D., Harris C.) [17]:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot W}{1+W}, \quad \text{где} \quad T_d = \frac{1}{\mu - \lambda}, \quad W = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}, \quad W(t) = \int_0^1 \rho(t, x) dx. \quad (20)$$

Скорость движения предметов труда $v(t, x)$ и локальный поток $F(t, x)$ для M/M/1- модели выражаются через интенсивность выпуска продукции μ [13]

$$\frac{\partial \rho(t, x)}{\partial t} + \frac{\partial F(t, x)}{\partial S} = 0, \quad v(t, x) \approx \frac{\mu}{1+W}, \quad F(t, x) = \rho(t, x) \cdot v(t, x) \approx \frac{\mu \cdot \rho(t, x)}{1+W}. \quad (21)$$

Уравнение состояния $F(t, x)$ в интегральной форме для устойчивого режима работы поточной линии (Armbruster D., Fonteijn J., Wienke M., 2012) имеет вид [1]

$$F(t, W) = \int_0^1 F(t, x) dx = \frac{\mu \cdot W}{1+W} \quad (22)$$

M/M/1-модели clearing-функции (6). Предприняты попытки построить совершенные PDE-модели поточных линий, уточняющие уравнения состояния путем использования экспериментальных измерений на заводе, детальной имитационной модели или TQ-моделей [1]. Широко применяются при исследовании поточных линий модели:

$$F(t,x) = \Phi(\rho) = \frac{\mu_0}{1 + \rho(t,x)} \cdot \rho(t,x), \quad F(t,x) = \frac{\mu_0}{1 + \rho(t,x) + k \cdot \rho(t,x)(1-x)}, \quad (23)$$

$$F(t,x) = k_1 \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot W}), \quad F(t,x) = \frac{k_1 \cdot W}{k_2 + W}, \quad (24)$$

$$F(t,x) = \frac{1-x}{\tau(t,x) \left(\int_0^1 \rho(t,z) dz - x \cdot \tau_0 \right)} \cdot \rho(t,x), \quad \tau(t,x) = \frac{1}{\mu}, \quad (25)$$

которые предложили D.Armbruster, K.Kempf (2012) (23), J.Asmundsson., R.Uzsoy (24), Ringhofer C (2012) (25). $\tau(t,x)$ – время, требуемое для завершения производства предметов труда, находящихся на стадии x ; k, k_1, k_2 – технологические коэффициенты; M -характеристика максимальной емкости накопителя.

Детальный анализ функционирования полупроводниковой поточной линии с применением PDE-модели (сплошная линия) и DES-модели (затенение) выполнили Perdaen D. (2008), Lefebvre E. (2010) [1]. Характерное поведение выходного потока предметов труда, рассчитанного с помощью PDE-модели и DES-модели, представлено на рис.6 (Lefebvre E., 2010). Принципиальным недостатком методов, использующих DES-модели, является чрезвычайно большое количество вычислений для сложных производственных систем, таких как полупроводниковые поточные линии [14]. Именно в этой области применение PDE-моделей предлагают самые высокие перспективы для проектирования систем управления поточными линиями. Эти методы способны оптимально сочетать точность DES-моделей при применении гораздо менее производительных процессоров [13]. Использование в PDE-моделях clearing-функции проявляло значительные перспективы на ранней стадии их развития. Растущий объем публикаций, связанных с развитием и уточнением уравнения состояния для PDE-моделей свидетельствует о том, что дальнейшее развитие подхода с использованием clearing-функций является не эффективным. Необходимо развивать статистические методы, позволяющие строить многомоментные PDE-модели для переходных режимов, в которых для замыкания использовано нестационарное уравнение, в основанное на детальном механизме взаимодействия предметов труда между собой и оборудованием.

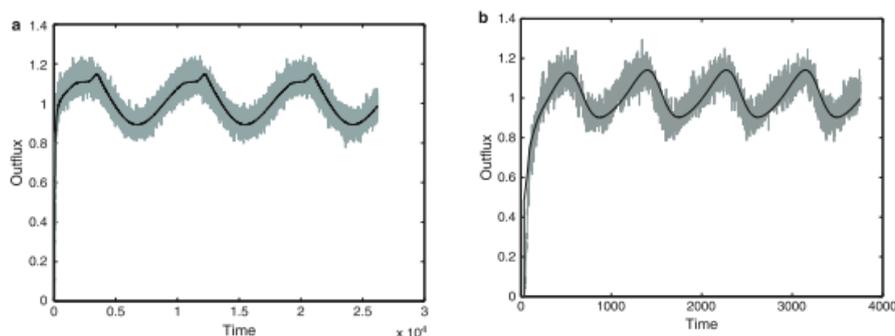


Рис. 6. Сравнение решений PDE-модели и DES-модели, Lefebvre E. 2010
Fig. 6. Comparison of PDE-model and DES-model, Lefebvre E. 2010

Кинетические модели управляемых производственных процессов [3, 21, 34]. В серии работ Armbruster D., Ringhofer C., Lefebvre E., Kempf K. [1, 9, 16] представили кинетические модели поточных линий. Armbruster D., Ringhofer C. (2004) вводят функции распределения $f(x,v,t)$ предметов труда по состояниям, характеризующую количество деталей в состоянии x в момент времени t . Типичный подход, с помощью которого определяется эволюция функции распределения предметов труда по состояниям, заключается в выводе замкнутых уравнений для моментов функции распределения. Построение PDE-моделей с использованием кинетической теории, содержит иерархический набор уравнений. Это позволяет выйти за пределы применимости квазистатистических моделей. Предложенный Н.Н.Боголюбовым метод, основанный на выборе малого параметра, позволяет обрезать количество уравнений на нужном уровне. С использованием кинетического подхода записаны уравнения для первых моментов функции распределения предметов труда $f(x,v,t)$ (Armbruster D., Ringhofer C.) [35, с.819]:



$$\frac{\partial \rho(t, x)}{\partial t} + \frac{\partial \rho(t, x) \cdot v(t, x)}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial v(t, x)}{\partial t} + v(t, x) \cdot \frac{\partial v(t, x)}{\partial x} = 0, \quad (26)$$

$$\rho(t, 0) \cdot v(t, 0) = \lambda(t), \quad v(t, 1) = \frac{\mu}{1 + W(t)} \quad (27)$$

$$\frac{dv(t, 0)}{dt} = -\sigma \left(v(t, 0) - \frac{\mu}{1 + W(t)} \right), \text{ при } \lambda < \mu, \quad v(t, 0) = \frac{\mu}{0,5 + W(t)}, \text{ при } \lambda \geq \mu. \quad (28)$$

с граничными условиями (27) M/M/1-модели, полученной для установившегося устойчивого режима, где σ -экспериментальная величина. Интегрирование первого уравнения (26) по x позволяет записать уравнение:

$$\frac{dW(t)}{dt} = \rho(t, 0) \cdot v(t, 0) - \rho(t, 1) \cdot v(t, 1) = \lambda(t) - \lambda \left(t - \frac{1}{c} \right), \quad (1.29)$$

которое получил Lefebvre E. (2008) [1] из весьма общих соображений. Известно из практических исследований, что выход с обработки первого изделия партии происходит через некоторое время задержки относительно времени поступления партии на обработку [21]. При переходе от $\rho(t, x)$ к агрегированной переменной Fluid-модели $W(t)$ (15) влияние неравномерного распределения предметов труда вдоль технологического маршрута [5] и наличие ограничений емкости накопителей не учитывается. Результаты расчетов потоковых параметров поточной линии, полученные с использованием модели (26)-(28), более приближены к экспериментальным данным, чем результаты расчетов с использованием M/M/1-модели (8), G/M/1-модели (1.10), непрерывной Fluid-модели (15) (Fonteyn J., Missbauer H.), хотя, как утверждает Armbruster D. (2012), детальное изучение приближений, связанных уравнениями (26)-(28), на текущий момент не сделано. Не ясным остался вопрос, для каких производственных систем та или иная модель является наиболее удачной. Наиболее существенные проблемы, возникающие при построении кинетических моделей производственных систем, заключаются в том, что кинетическое уравнение является интегро-дифференциальным, решение которого представляется сложной математической задачей [34]. В виду сложности закона воздействия оборудования на предмет труда, кинетическое уравнение не может быть записано в точном виде для конкретных производственных процессов. Даже при простых предположениях о характере воздействия оборудования на предмет труда не удается получить решения в точном аналитическом виде. В связи с этим приобретают особое значение построение эффективных методов приближенного решения кинетического уравнения производственной линии.

Выводы

Представлен обзор основных моделей, которые использованы при проектировании систем управления поточными производственными линиями. Рассмотрены области применения моделей и ограничения, которые не позволяют их эффективно использовать для проектирования систем управления. Уделено значительное внимание новым типам моделей – кинетическим и моделям, содержащим уравнения в частных производных (PDE-моделям). Проведен анализ использования моделей для наиболее простых случаев функционирования производственных поточных линий. Обоснованность применения определялась сравнительным анализом результатов, полученных с помощью DES-модели и исследуемой PDE-моделью. Показано, как для построения PDE-моделей использованы статистические методы описания больших систем. При этом общий характер статистических закономерностей не зависит от того, каким способом описывается поведение отдельного предмета труда. Использование статистического подхода позволяет получить замкнутые многомоментные балансовые уравнения (уравнения переноса) не из феноменологических соображений, а исходя из законов движения отдельных предметов труда по технологическому маршруту, определенных технологией производства. Развитие и использование PDE-моделей требует решения вопросов: 1. Вывод нестационарных уравнений состояния, основанных на детальной технологии обработки предмета труда с учетом схемы оборудования. 2. Построение многомоментных замкнутых балансовых моделей для установившихся и переходных нестационарных режимов функционирования производственной линии. 3. Построение двухуровневых моделей управления параметрами производственной линии для установившихся и переходных режимов с учетом параметров оборудования, схемы его расстановки и приоритетов движения предметов труда



Список литературы References

1. Пигнастый О. М. О новом классе динамических моделей поточных линий производственных систем / О. М. Пигнастый // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Белгород: БГУ. - 2014. - № 31/1. - С. 147-157.
- Pignastyj O. M. O novom klasse dinamicheskikh modelej potochnyh linij proizvodstvennyh si-stem / O. M. Pignastyj // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Belgorod: BGU. - 2014. - № 31/1. - S. 147-157.
2. Демуцкий В.П. Теория предприятия: Устойчивость функционирования массового производства и продвижения продукции на рынок. / Демуцкий В. П., Пигнастая В. С., Пигнастый О. М. – Х.: ХНУ, 2003. – С. 272.
- Demuckij V.P. Teorija predpriyatija: Ustojchivost' funkcionirovanija massovogo proizvodstva i prodvizhenija produkcii na rynek. / Demuckij V. P., Pignastaja V. S., Pignastyj O. M. – H.: HNU, 2003. – С. 272.
3. Armbruster D. Kinetic and fluid model hierarchies for supply chains supporting policy attributes / D. Armbruster., D. Marthaler, C. Ringhofer // Bulletin of the Institute of Mathematics. – Academica Sinica. – 2006. – P. 496 – 521.
- Armbruster D. Kinetic and fluid model hierarchies for supply chains supporting policy attributes / D. Armbruster., D. Marthaler, C. Ringhofer // Bulletin of the Institute of Mathematics. – Academica Sinica. – 2006. – P. 496 – 521.
4. Бусленко Н. П. Математическое моделирование производственных процессов / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1964. – 363 с.
- Buslenko N. P. Matematicheskoe modelirovanie proizvodstvennyh processov / N. P. Buslenko. – М.: Nauka, 1964. – 363 s.
5. Первозванский А. А. Математические методы в управлении производством / А. А. Первозванский. – М.: Наука, 1975. – 616 с.
- Pervozvanskij A. A. Matematicheskie metody v upravlenii proizvodstvom / A. A. Pervozvanskij. – М.: Nauka, 1975. – 616 s.
6. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия / Дж. Форрестер. – М.: Прогресс, 1961. – 341 с.
- Forrester Dzh. Osnovy kibernetiki predpriyatija / Dzh. Forrester. – М.: Progress, 1961. – 341 s.
7. Шкурба В. В. Планирование дискретного производства в условиях АСУ / В. В. Шкурба, В. А. Болдырева, А. А. Вьюн и др. / под ред. В. М. Глушкова. – К.: Техника, 1975. – 296 с.
- Shkurba V. V. Planirovanie diskretnogo proizvodstva v usloviyah ASU / V .V. Shkurba, V .A. Boldyreva, A. A. V'jun i dr. / pod red. V. M. Glushkova. – K.: Tehnika, 1975. – 296 s.
8. Armbruster D. Continuous models for production flows.. / D. Armbruster, C. Ringhofer., Jo T- J. // In Proceedings of the 2004 American Control Conference. – Boston, MA, USA. – 2004. – P. 4589 – 4594.
- Armbruster D. Continuous models for production flows.. / D. Armbruster, C. Ringhofer., Jo T- J. // In Proceedings of the 2004 American Control Conference. – Boston, MA, USA. – 2004. – P. 4589 – 4594.
9. Ankenman B. E. Simulation in planning: Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise. / B. E. Ankenman, J. M. Bekki, J. Fowler et al. // A State of the Art Handbook New York: Springer-Verlag. – 2010. – Vol. 151. – P. 565–592.
- Ankenman B. E. Simulation in planning: Planning Production and Inventories in the Extended Enterprise. / B. E. Ankenman, J. M. Bekki, J. Fowler et al. // A State of the Art Handbook New York: Springer-Verlag. – 2010. – Vol. 151. – P. 565–592.
10. Liu J. Production planning for semiconductor manufacturing via simulation optimization / J.Liu, C.Li, F.Yang, R.Uzsoy, S.Jain, R.Creasey// Simulation Conference (WSC) – New York: IEEE. –2011. – P. 256 – 322.
- Liu J. Production planning for semiconductor manufacturing via simulation optimization / J.Liu, C.Li, F.Yang, R.Uzsoy, S.Jain, R.Creasey// Simulation Conference (WSC) – New York: IEEE. –2011. – P. 256 – 322.
11. Lu S.R. Efficient scheduling policies to reduce mean and variance of cycle time in semiconductor plants / Lu S., Ramaswamy D., Kumar P.R. // IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing – 1994. №7(3). – P. 374 – 388.
- Lu S.R. Efficient scheduling policies to reduce mean and variance of cycle time in semiconductor plants / Lu S., Ramaswamy D., Kumar P.R. // IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing – 1994. №7(3). – P. 374 – 388.
12. Dauzere-Peres S. On the importance of sequencing decisions in production planning and scheduling. / S.Dauzere-Peres, J. Lasserre // Journal International Transactions in Operational Research. – 2006. – №9. – P. 779 – 793.
- Dauzere-Peres S. On the importance of sequencing decisions in production planning and scheduling. / S.Dauzere-Peres, J. Lasserre // Journal International Transactions in Operational Research. – 2006. – №9. – P. 779 – 793.
13. Berg R. Partial differential equations in modelling and control of manufacturing systems / R. Berg. – Netherlands, Eindhoven Univ. Technol., 2004. – 157 p.
- Berg R. Partial differential equations in modelling and control of manufacturing systems / R. Berg. – Netherlands, Eindhoven Univ. Technol., 2004. – 157 p.
14. Lefebvre E. Modeling, Validation and Control of Manufacturing Systems / E.Lefebvre, R.A.Berg, J.E. Rooda // – Proceeding of the 2004 American Control Conference. –Massachusetts. – 2004. – P. 4583 – 4588.



- Lefebber E. Modeling, Validation and Control of Manufacturing Systems / E.Lefebber, R.A.Berg, J.E. Rooda // – Proceeding of the 2004 American Control Conference. –Massa- chusetts. – 2004. – P. 4583 – 4588.
15. Vollmann T.E. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. / T.E.Vollmann, L.Berry, F.R.Jacobs // New York: McGraw-Hill.–2005. – P. 520.
- Vollmann T.E. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. / T.E.Vollmann, L.Berry, F.R.Jacobs // New York: McGraw-Hill.–2005. – P. 520.
- 16.Kempf K.G. Simulating Semiconductor Manufacturing Systems / K.G. Kempf // Winter Simulation Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers – Piscataway, New Jersey, – 1996. – P. 3 – 11.
- Kempf K.G. Simulating Semiconductor Manufacturing Systems / K.G. Kempf // Winter Simulation Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers – Piscataway, New Jersey, – 1996. – P. 3 – 11.
17. Gross D. Fundamentals of Queueing Theory. / D.Gross, C.M.Harris. – New York: Wiley, 1985. – 587 p.
- Gross D. Fundamentals of Queueing Theory. / D.Gross, C.M.Harris. – New York: Wiley, 1985. – 587 p.
18. Hopp W.J. Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management. / W. J. Hopp, M.L. Spearman. – Boston: Irwin. McGraw-Hill, 2001. – P. 698.
- Hopp W.J. Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management / W. J. Hopp, M.L. Spearman. – Boston: Irwin. McGraw-Hill, 2001. – P. 698.
- 19.Lefebber E. Modeling and Control of Manufacturing Systems / E.Lefebber // Decision Policies for Production Networks. – 2012.– P.9-30.
- Lefebber E. Modeling and Control of Manufacturing Systems / E.Lefebber // Decision Policies for Production Networks. – 2012.– R.9-30.
- 20.Пигнастый О. М. Континуальні моделі прогнозування виробничного функціонування поточних ліній / О. М. Пигнастый, В. Я. Заруба // Сучасні концепції прогнозування розвитку складних соціально-економічних систем. - Бердянск: Видавець Ткачук О.В. - 2013. - С. 74-89.
- Pignastyj O. M. Kontinual'ni modeli prognozuvannja virobничного funkcionuvannja potocnih linij / O. M. Pignastyj, V. Ja. Zaruba // Suchasni koncepcii prognozuvannja rozvitku skladnih social'no-ekonomichnih sistem. - Berdjansk: Vidavec' Tkachuk O.V. - 2013. - S. 74-89.
21. Пигнастый О. М. Статистическая теория производственных систем / О. М Пигнастый. - Харків: ХНУ, 2007. - 388 с.
- Pignastyj O. M. Statisticheskaja teorija proizvodstvennyh sistem / O. M Pignastyj. - Harkiv: HNU, 2007. - 388 s.
22. Соколицын С. А. Применение математических методов в экономике и организации машиностроительного производства / С. А. Соколицын. – Л.: Машиностроение, 1970. – 345 с.
- Sokolicyn S. A. Primenenie matematicheskikh metodov v jekonomike i organizacii mashinostroitel'nogo proizvodstva / S. A. Sokolicyn. – L.: Mashinostroenie, 1970. – 345 s.
23. Tian F. An iterative approach to item-level tactical production and inventory planning. / F.Tian, S.P.Willems, K.G.Kempf // International Journal of Production Economics. – 2011. – №133. – P. 439 – 450.
- Tian F. An iterative approach to item-level tactical production and inventory planning. / F.Tian, S.P.Willems, K.G.Kempf // International Journal of Production Economics. – 2011. – №133. – P. 439 – 450.
- 24.Modigliani F. Production planning over time and the nature of the expectation and planning / F.Modigliani, F.Hohn// Econometrica №23. – New York, 1955. – P. 46 – 66.
- Modigliani F. Production planning over time and the nature of the expectation and planning / F.Modigliani, F.Hohn// Econometrica №23. – New York, 1955. – P. 46 – 66.
- 25.Johnson L.A. Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control / L.A. Johnson, D.C. Montgomery. – New York: Wiley, 1974. – 544 p.
- Johnson L.A. Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control / L.A. Johnson, D.C. Montgomery. – New York: Wiley, 1974. – 544 p.
- 26.Buzacott J. A. Stochastic Models of Manufacturing Systems. / J. A. Buzacott, J. G. Shanthikumar. – Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993. – 403 p.
- Buzacott J. A. Stochastic Models of Manufacturing Systems. / J. A. Buzacott, J. G. Shanthikumar. – Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993. – 403 p.
27. Schneeweiss C. Distributed Decision Making. / C. Schneeweiss. – Berlin: Springer-Verlag, 2003. –508 P.
- Schneeweiss C. Distributed Decision Making. / C. Schneeweiss. – Berlin: Springer-Verlag, 2003. –508 P.
- 28.Vob S. Introduction to Computational Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain / S. Vob, D. L. Woodruff // Berlin: Springer – Verlag. –2003. – 261 p.
- Vob S. Introduction to Computational Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain / S. Vob, D. L. Woodruff // Berlin: Springer – Verlag. –2003. – 261 p.
- 29.Hackman S.T. A general framework for modeling production / S.T.Hackman, R.C. Leachman // Management Science. – 1989. – №4. – P. 478 – 495.
- Hackman S.T. A general framework for modeling production / S.T.Hackman, R.C. Leachman // Management Science. – 1989. – №4. – P. 478 – 495.
30. Graves S.C. A tactical planning model for a job shop. Operations Research 34 (4). /S.C. Graves – New York,1986. – P. 522 – 533.
- Graves S.C. A tactical planning model for a job shop. Operations Research 34 (4). /S.C. Graves – New York,1986. – P. 522 – 533.
31. Karmarkar U.S. Capacity Loading and Release Planning with Work-in-Progress (WIP) and Leadtimes / U.S. Karmarkar // Journal of Manufacturing and Operations Management. –№2. –1989. – P.105-123.



Karmarkar U.S. Capacity Loading and Release Planning with Work-in-Progress (WIP) and Leadtimes / U.S. Karmarkar // *Journal of Manufacturing and Operations Management*. – №2. – 1989. – P.105– 123.

32. Asmundsson J. M. Production planning models with resources subject to congestion. / J. M Asmundsson, R. L Rardin, C. H. Turkseven, R. Uzsoy // *Naval Res Logist.* – 2009. – N 56 – P. 142 – 179.

Asmundsson J. M. Production planning models with resources subject to congestion. / J. M Asmundsson, R. L Rardin, C. H. Turkseven, R. Uzsoy // *Naval Res Logist.* – 2009. – N 56 – P. 142 – 179.

33. Пигнастый О. М. Стохастическое описание экономико-производственных систем с массовым выпуском продукции / В. П. Демущий, В. С. Пигнастая, О. М. Пигнастый // *Доповіді Національної академії наук України*. - Київ: Видавничий дім "Академперіодика". - 2005. - № 7. - С. 66-71.

Pignastyj O. M. Stohasticheskoe opisanie jekonomiko-proizvodstvennyh sistem s massovym vypuskom produkciі / V. P. Demuckij, V. S. Pignastaja, O. M. Pignastyj // *Dopovidi Nacional'noї akademii nauk Ukraїni*. - Kiїv: Vidavnichij dim "Akademperiodika". - 2005. - № 7. - S. 66-71.

34. Азаренков Н.А. Кинетическая теория колебаний параметров поточной линии / Н. А. Азаренков, О. М. Пигнастый, В. Д. Ходусов // *Доповіді Національної академії наук України*. 2014. № 12. – С. 36 –43.

Azarenkov N.A. Kineticheskaja teorija kolebanij parametrov potочноj linii / N. A. Azarenkov, O. M. Pignastyj, V. D. Hodusov // *Dopovidi Nacional'noї akademii nauk Ukraїni*. → 2014. → № 12. → – S. 36 –43.

35. Armbruster D. Modeling production planning and transient clearing functions, / D. Armbruster, J. Fontejjn, M. Wienke // *Logistics Research*. – 2012. – VOL 87 – №3. – P.815-822.

Armbruster D. Modeling production planning and transient clearing functions, / D. Armbruster, J. Fontejjn, M. Wienke // *Logistics Research*. – 2012. – VOL 87 – №3. – P.815-822.

УДК 004.931

**НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА
В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК-ДИСПЛЕЙ»**
NEURAL NETWORK MODEL OF THE OPERATOR IN THE INTERFACE SYSTEM

В.М. Дуденков, Н.М. Новикова
V.M. Dudenkov, N.M. Novikova

Воронежский государственный университет, Россия, 394006, Воронеж, Университетская площадь, 1
Voronezh state university, 1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394006, Russia

email: vldud@mail.ru, nov.nelly@gmail.com

Аннотация. В статье представлена психофизическая модель работы человека-оператора в задаче распознавания изображений. В рамках модели рассматриваются когнитивная подсистема, решающая подсистема и исполнительная подсистема, а также внутренние источники информации. На основе данной модель построена нейронная сеть, в которой когнитивная подсистема четко отделена от решающей подсистемы. В качестве когнитивной подсистемы используются самоорганизующиеся карты Кохонена, а в качестве решающей подсистемы – гибридная нейронная сеть. В статье приведены результаты экспериментов по распознаванию изображений с человеком-оператором и описанной нейронной сетью, на основании которых сделаны выводы об актуальности представленной модели.

Resume. The article presents a model of psychophysical operator in the problem of image recognition. The model considered cognitive, decisive and executive subsystems, as well as internal information sources. On the basis of this model, was built a neural network in which the cognitive subsystem is clearly separated from the crucial subsystems. As the cognitive subsystem used Kohonen self-organizing maps, and as the crucial subsystems - hybrid neural network. The results of experiments on pattern recognition with the operator and described the neural network on the basis of which the conclusions of the relevance of this model. The results of experiments on pattern recognition with the operator and described the neural network on the basis of which the conclusions of the relevance of this model.

Ключевые слова: распознавание изображений, гибридная нейронная сеть, самоорганизующиеся карты Кохонена.

Keywords: image recognition, hybrid neural network, Kohonen self-organizing maps.

В настоящее время широкое распространение получила компьютеризация профессиональной деятельности. Исследование взаимодействия человека и компьютера, а особенно, исследование интеллектуальных систем «человек-дисплей», является актуальной задачей. Одной из основных функций человека-оператора в этих системах является прием и обработка информации, предъявляемой на экране дисплея, а также принятие решений. Несмотря на усиленное развитие методов автоматизации обработки информации, методов распознавания и классификации изображений, пока наиболее адаптивным опознающим устройством, способным принимать оптимальные решения при наличии помех является человек-оператор.

Целью данной статьи является экспериментальное исследование математической модели работы человека-оператора, построение нейросетевой модели распознавания изображений и сравнение эффективности работы нейросетевой модели с работой человека-оператора.

Постановка задачи такова: имеются изображения объектов множества «цели» и изображения из множества «ловушки». Все изображения прошли предварительную обработку и имеют один размер. При распознавании предъявляются искаженные изображения в случайном порядке, необходимо определить принадлежность каждого из объектов к одному из классов. Примеры изображений представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Изображения для классификации
Fig. 1. Images for the classification

Психофизиологическая модель. Исследования психологов [4, 5], основанные на применении теории статистических решений в психофизике, позволили построить модель работы человека-оператора в задаче распознавания изображений и принятия решений. Эта модель в виде схемы представлена на рис. 2.

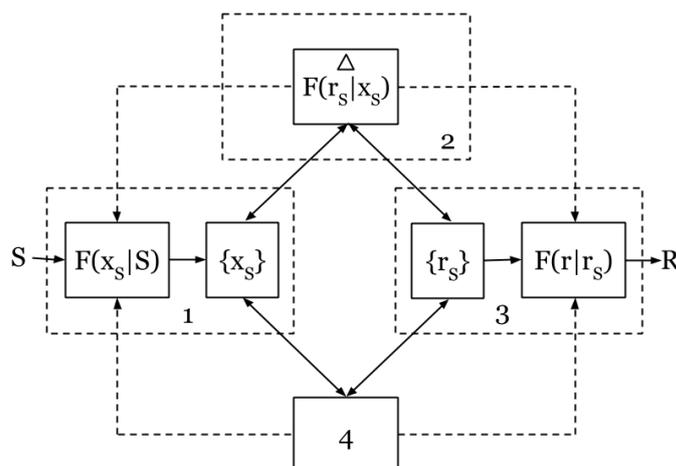


Рис. 2. Модель работы человека-оператора в задаче распознавания изображений. 1 – когнитивная подсистема, 2 – решающая подсистема, 3 – исполнительная подсистема, 4 – внутренние источники информации и память

Fig. 2. Model of the operator in the problem of image recognition. 1 – cognitive subsystem 2 – decisive subsystem 3 – executive subsystem 4 – internal information sources and memory

Согласно этой модели существуют следующие множества:

1) множество входных сигналов $\{S\}$, которое отображается тем или иным образом в множество психических образов этих сигналов $\{x_s\}$;

2) множество реакций $\{R\}$, которое определяется как множество возможных способов поведения или действий $\{r_s\}$. В реальных условиях деятельности человека это множество всегда точно определено и ограничено;

3) множество решений Δ . Каждой паре x_s и r_s ставится в соответствие некоторая функция F . Эта функция является отражением некоторых внутренних состояний человека и зависит от интуиции. Принятие решений тесно связано с мотивацией и установкой.

С математической точки зрения процесс распознавания изображений можно рассматривать как набор операций над рассмотренными множествами. Операции над множествами выполняются когнитивной, решающей и исполнительной подсистемами, представленными на рис. 2.

Первая подсистема схемы когнитивная. Она осуществляет преобразование физических характеристик внешних воздействий в их психический образ $S \rightarrow x_s$, что описывается оператором $F(x_s|S)$. Вторая подсистема – решающая. Ее задачи:

1) отобразить множество психических образов на множество ответных реакций в соответствии с внутренними и внешними условиями;

2) определить критерий оценки возможных результатов поведения, на основании которого будет выбираться оптимальный способ реагирования;

3) определить и выбрать правило и стратегию решения;

4) перестроить работу когнитивной и исполнительной подсистем в соответствии с заданным или сформированным критерием оптимальности поведения и деятельности, а также в соответствии с результатами реагирования.

Работу этой подсистемы можно представить в виде двух блоков: формирования критериев Δ и правил принятия решений $F(r_s|x_s)$. Исполнительная подсистема включает блоки $\{r_s\}$ и $\{F(r|r_s)\}$. Оператор $F(r|r_s)$ описывает механизм совершения обратного действия и его называют оператором исполнения.

Потоки априорной и апостериорной информации можно рассматривать как блок внешней информации, включающей в себя инструкцию в эксперименте, информацию об окружающей ситуации и т.п.

Блок внутренней информации отражает влияние на другие подсистемы схемы прошлого опыта человека, особенностей процессов памяти и внимания, мотивационно-оценочных структур, а также эмоционального состояния.

На рис. 2 штрихами обозначены плохо изученные или гипотетические взаимодействия, сплошными линиями – изученные и экспериментально подтвержденные взаимодействия.

Рассмотренная психофизиологическая модель может служить основной для исследования характеристик работы человека-оператора и для методики проведения экспериментов.

Нейросетевая модель распознавания изображений. Предлагаемая нейросетевая модель распознавания изображений опирается на введенную ранее схему функционирования (рис. 2). В когнитивной подсистеме данной нейросетевой модели осуществляется сегментация изображения и формирование самоорганизующихся карт Кохонена.

Значительная часть изображений для классификации (рис. 1) повторяется, поэтому имеет смысл работать только с различающимися областями, на основе которых составляется карта отличий. На данной карте выделим темно-серым цветом точки, которые отличаются на 2-х изображениях из 4-х возможных (зоны максимально возможного отличия), и светло-серым цветом – точки, которые отличаются на одном изображении. Полученная карта отличий представлена на рисунке 3, А.



Рис. 3. Карта отличий (А) и сегменты изображения (В)
Fig. 3. Map of the differences (A) and image segments (B)

После построения карты отличий предполагается провести ее сегментацию на участки с помощью методов иерархической кластеризации [1]. Общая идея методов данной группы заключается в последовательной иерархической декомпозиции множества объектов. В зависимости от направления построения иерархии различают дивизимный и агломеративный методы. В данной работе используется агломеративный метод, при котором процесс декомпозиции начитается с того, что каждый объект представляет собой самостоятельный кластер. Затем на каждой итерации пары близлежащих кластеров последовательно объединяются в общий кластер. Итерации продолжаются до тех пор, пока все объекты не будут объединены в один кластер или пока не выполнится некоторое условие остановки. Для определения меры близости между кластерами используется взвешенное евклидово расстояние:

$$\rho_{BE}(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{l=1}^k \omega_l (x_{il} - x_{jl})^2}$$

где x_{il}, x_{jl} - значения l -го признака у i -го (j -го) объекта ($l = 1, 2, \dots, k, i, j = 1, 2, \dots, n$). Взвешенное евклидово расстояние применяется в тех случаях, когда каждой l -ой компоненте вектора наблюдений удается приписать некоторый «вес» ω_l , пропорциональный степени важности признака в задаче классификации. Обычно принимают $0 \leq \omega_l \leq 1$, где $l = 1, 2, \dots, k$. В нашем случае $\omega_1 = 1$ для точек максимального отличия и $\omega_2 = 0.7$ для остальных точек. В результате агломеративной кластеризации выделено пять сегментов изображения (рис. 3, В).

Для каждого из сегментов сгенерируем самоорганизующуюся карту Кохонена [2], подавая на вход соответствующие фрагменты каждого из четырех изображений. Результаты для фрагмента одного из фрагментов сегментации представлены на рисунке 4.

Когда нейросетевой модели передается изображение для классификации, изображение сегментируется на фрагменты и для каждого из фрагментов ищется ближайшая ячейка из соответствующей ему карты Кохонена. Таким образом, карты Кохонена используются для преобразования многомерного признака (участка изображения) в признак одномерный (координату наиболее близкой к предьявленному образу ячейке). Множество таких признаков передается блоку принятия решения. Сегментация изображения и набор самоорганизующихся карт Кохонена соответствуют когнитивной подсистеме (см. рис. 2, 1), а множество одномерных признаков – множеству психических образов $\{x_s\}$.

В качестве решающей подсистемы используется гибридная сеть нечеткой логики. Общая схема работы всей модели представлена на рисунке 5.

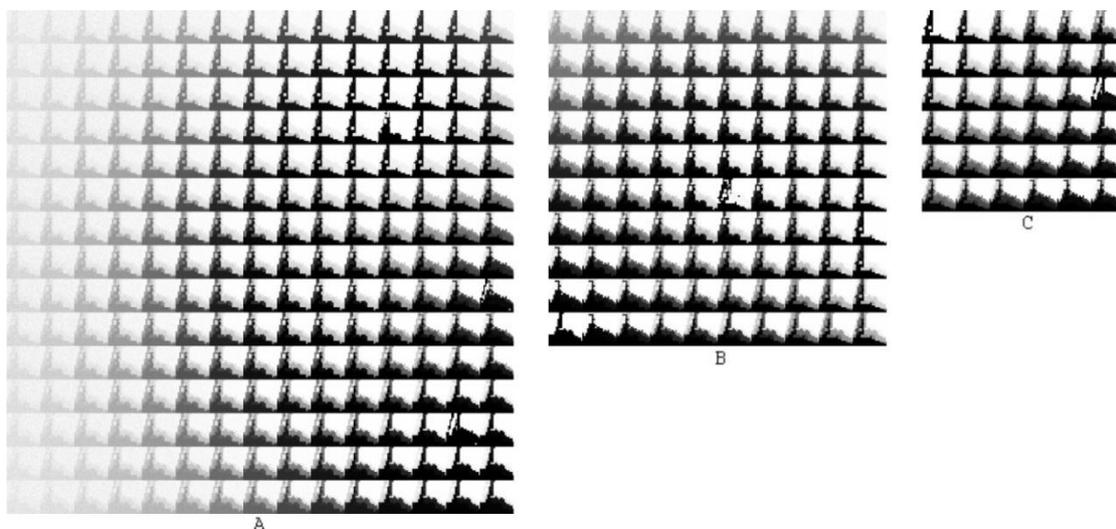


Рис. 4. Самоорганизующиеся карты Кохонена. А - размером 15 x 15 ячеек, В - размером 10 x 10 ячеек, С - размером 6 x 6 ячеек
Fig.4. Self-organizing maps of Kohonen. А - 15 x 15 cells, В - 10 x 10 cells, С - 6 x 6 cells

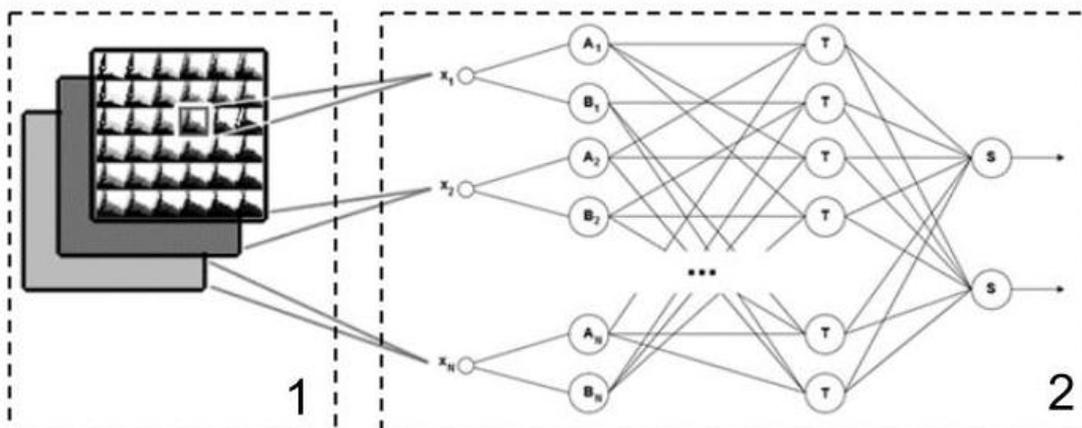


Рис. 5. когнитивная подсистема в нейросетевой модели (1), решающая подсистема (2)
Fig. 5. 1 - cognitive subsystem of the neural network model, 2 - decisive subsystem

Для каждого из входных признаков (координат) x_1, x_2, \dots, x_N введем нечеткие понятия A_1, A_2, \dots, A_N («является целью») и B_1, B_2, \dots, B_N («является ловушкой»). Для этих нечетких понятий определим сигмоидные функции принадлежности:

$$A_k(x) = \frac{1}{1 + e^{-b_k(x - a_k)}}$$

$$B_k(x) = \frac{1}{1 + e^{b_k(x - a_k)}}$$

где b_k и a_k – настраиваемые параметры на k -ой итерации.

Каждая пара таких функций принадлежности обладает следующим свойством, упрощающим расчеты при настройке сети:

$$A_k(x) + B_k(x) = 1, k = 1..N$$

Используя указанные нечеткие понятия, создадим систему нечетких правил:

П₁: если x_1 есть A_1 , x_2 есть A_2 , ..., x_{N-1} есть A_{N-1} , x_N есть A_N , то $y = z_1$

П₂: если x_1 есть A_1 , x_2 есть A_2 , ..., x_{N-1} есть A_{N-1} , x_N есть B_N , то $y = z_2$

...

P_2^N : если x_1 есть B_1 , x_2 есть B_2 , ..., x_{N-1} есть B_{N-1} , x_N есть B_N , то $y = z_2^N$

В рассматриваемой системе правил A_k , B_k – нечеткие числа треугольной формы, z_i – вещественные числа, определяющие степень истинности i -го правила с помощью операции умножения (Larsen):

$$\alpha_i(x) = \prod_{k=1}^N A_k(x_k)$$

Под A_{ik} в данном случае подразумеваются как A_k , так и B_k , входящие в i -е правило. Общий выход нечеткой системы определяется дискретным аналогом центроидного метода [3].

В общем случае, если рассматривается задача распознавания образов двух классов и каждый входной признак имеет две функции принадлежности, то будет сформировано 2^N правил (по числу размещений с повторениями из 2 по N).

Нейроны второго слоя (обозначены на рисунке 4 буквой «Т») реализуют для своих входов нечеткую операцию «И» с помощью t -нормы:

$$T = \min$$

Нейроны третьего слоя (обозначены буквой «S») являются обычными нейронами сети полной связи, входы которых – взвешенные комбинации нейронов предыдущего слоя, а выходы формируются функциями сигмоидного типа. Эти выходы и являются итоговым решением по классификации всего изображения. Все слои сети обучаются с помощью метода обратного распространения ошибки [3].

Эксперимент с операторами. В эксперименте принимали участие обученные операторы, что обеспечивало чистоту экспериментов. Оператор должен по предъявляемому на дисплее изображению определить его принадлежность к одному из классов («цели» или «ловушки»). На результат работы оператора может оказать влияние время, в течение которого он наблюдал истинную или ложную цель. Из физиологии зрения известно, что время, необходимое для распознавания изображения, колеблется в пределах 200-500 мсек. Для всех операторов выбрано время предъявления изображения равное 2 сек. Это время показа изображения строго выдерживалось, оператор работал в условиях отсутствия дефицита времени. Решение, принятое оператором, фиксировалось на счетчике результатов следующим образом:

$n_{цц}$ – число предъявлений, в которых оператор опознал истинную цель, когда она ему предъявлялась;

$n_{цл}$ – число предъявлений, в которых оператор принял истинную цель за ложную;

$n_{лл}$ – число предъявлений, в которых ложная цель была принята за ложную;

$n_{лц}$ – число предъявлений, когда оператор ложную цель принял за истинную.

Для полученных данных вычислялись вероятности $P_{цц} = n_{цц}/n_1$; $P_{лл} = n_{лл}/n_2$; где n_1 – число предъявлений истинной цели, n_2 – число предъявлений ложной цели. Используя полученные данные можно вычислить усредненные вероятности правильного распознавания $P_{прав.}$ и вероятность ошибки $P_{ош.}$, а также их зависимость от степени искажения изображения. Эти вероятности являются оценкой работы человека-оператора в сложной системе.

Моделирование на компьютере. Результатом работы нейронной сети являются значения вероятностей, аналогичные полученным в эксперименте с человеком-оператором: $P_{прав.}$ – усредненное значение вероятности правильного распознавания, $P_{ош.}$ – усредненное значение вероятности ошибки. Эти вероятности получены при различных степенях искажения изображений в контрольных выборках. В качестве искажающих эффектов и в эксперименте с оператором и в эксперименте с нейронной сетью использовалось зашумление определенного процента пикселей изображения и размытие изображения с помощью медианного фильтра. Примеры искаженных изображений из контрольной выборки приведены на рисунке 6.

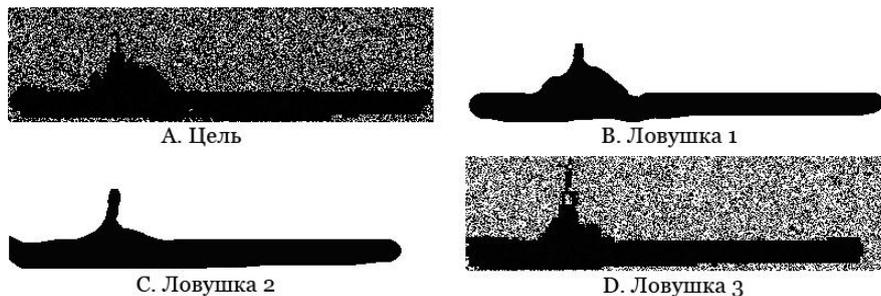


Рис. 6. Искаженные изображения для распознавания

Fig.6. Distorted Image for recognizing



Эксперименты проводились с контрольными выборками разного объема, при этом с увеличением объема контрольной выборки увеличивалась и предельная степень искажения изображений. Результаты экспериментов с человеком-оператором и нейронной сетью представлены в таблице.

Таблица
Table

Результаты экспериментов с человеком-оператором и нейронной сетью
The experimental results of operator and neural network

Объем контрольной выборки		40	55	70	85	100
Человек-оператор	$R_{\text{прав.}}$	1.000	0.982	0.958	0.906	0.850
Человек-оператор	$R_{\text{ош.}}$	0.000	0.018	0.042	0.094	0.150
Нейронная сеть	$R_{\text{прав.}}$	1.000	1.000	0.958	0.918	0.920
Нейронная сеть	$R_{\text{ош.}}$	0.000	0.000	0.042	0.082	0.080

Из результатов проведенных экспериментов видно, что нейронная сеть показала более высокую распознавательную способность, чем человек-оператор. Нейросетевой алгоритм описанной архитектуры можно успешно использовать наряду со статистическими методами распознавания [6]. Отметим, что подобные выводы правомерны для узкого класса задач по распознаванию изображений: все изображения были изначально приведены к одному размеру, который не изменялся в процессе тестирования; кроме того в экспериментах использовалось только два типа искажающих воздействий. В тоже время идея разбиения нейросетевых моделей на блоки в соответствии с введенной психофизической схемой представляется универсальной, а сама схема – актуальной для дальнейших исследований.

Список литературы References

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. – 1007 с.
Gonsales R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. M.: Tehnosfera, 2005. – 1007 s.
2. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 655 с.
Kohonen T. Samoorganizujushhiesja karty. M.: BINOM. Laboratorija znanij, 2008. – 655 s.
3. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 201 с.
Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Ju. Nechetkaja logika i iskusstvennye nejronnye seti. M.: FIZMATLIT, 2001. – 201 s.
4. Леонов Ю.П. Теория статистических решений и психофизика. М.: НАУКА, 1977. – 223 с.
Leonov Ju.P. Teorija statisticheskikh reshenij i psihofizika. M.: NAUKA, 1977. – 223 s.
5. Мещеряков Б.Г., Зинченко В.П. Большой психологический словарь. М.: АСТ, 2009. – 816 с.
Meshherjakov B.G., Zinchenko V.P. Bol'shoj psihologicheskij slovar'. M.: AST, 2009. – 816 s.
6. Новикова Н.М., Ноаман С.А. Компьютерная модель статистического распознавания изображений // Научные ведомости БелГУ. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2012. – № 13. – Вып. 23/1. – С. 135-141.
Novikova N.M., Noaman S.A. Komp'juternaja model' statisticheskogo raspoznavanija izobrazhenij // Nauchnye vedomosti BelGU. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2012. – № 13. – Vyp. 23/1. – S. 135-141.

УДК 519.876.5

**СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ****SYSTEM-OBJECT SIMULATION OF TRANSPORT
AND TECHNOLOGICAL PROCESSES****С.И. Маторин, А.Г. Жихарев, Н.О. Зайцева
S.I. Matorin, A. G. Zhikharev, N.O. Zaitseva**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia*

e-mail: matorin@bsu.edu.ru, zhikharev@bsu.edu.ru, zaitseva_n_o@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются возможности системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» в области имитационного моделирования транспортных и технологических процессов за счет использования формального аппарата исчисления объектов и языка моделирования производственных процессов «Chi».

Resume. The possibility of system-object approach "Unit-Function Objects" in the field of simulation of transport and technological processes through the use of the formal apparatus of the objects calculus and modeling language productions «Chi».

Ключевые слова: имитационное моделирование, транспортный поток, технологический процесс, исчисление объектов, язык моделирования производственных процессов, системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект»

Keywords: simulation, transport stream, technological process, object calculation, modeling language production processes, system-object approach " Unit-Function Objects"

Введение

Исторически в имитационном моделировании сложились три основные парадигмы:

– *Системная динамика* (Дж. Форрестер 50-е годы прошлого века) — парадигма моделирования, в рамках которой для исследуемой системы строятся диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем на основе этих диаграмм создается алгоритмическая модель, которая и проигрывается на компьютере.

– *Дискретно-событийное моделирование* (Дж. Гордон 60-е годы прошлого века) — парадигма моделирования, в рамках которой структура моделируемой системы адекватно отображается в модели, а процессы ее функционирования проигрываются (имитируются) на построенной модели. Предлагается так же абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие, как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие. Дискретно-событийное моделирование наиболее развито и имеет огромную сферу приложений — от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем.

– *Агентное моделирование* (90-е - 2000-е годы) - парадигма моделирования, в рамках которой исследуются децентрализованные системы, динамика функционирования которых определяется не глобальными правилами и законами (как в других парадигмах моделирования), а наоборот, когда эти глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы.

При этом одно из определений имитационного моделирования подчеркивает, что это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. В рамках данного определения наиболее адекватной представляется дискретно-событийная парадигма моделирования. В рамках же этой парадигмы наиболее эффективным будет метод моделирования, который позволяет наиболее полно описывать структуру, процессы функционирования и другие свойства моделируемого объекта или системы. В качестве такого метода авторы предлагают рассматривать метод системно-объектного моделирования, в основе которого лежит оригинальный системный (системно-объектный) подход «Узел-Функция-Объект» (**УФО-подход:** <http://ru.wikipedia.org/wiki/Узел-Функция-Объект>) Развитием и формализацией УФО-подхода является метод и алгоритм системного анализа, именуемый для краткости **УФО-анализом**. В целях автоматизации применения УФО-анализа спроектирован и

реализован CASE-инструментарий **UFO-toolkit** (свидетельство Роспатента №2006612046, <http://www.ufo-toolkit.ru/>) [1, 2].

Существование большого множества программных систем имитационного моделирования, основанных на самых разных теориях и подходах, свидетельствует о применимости и востребованности имитационных моделей. Однако кроме того, это свидетельствует о существовании нерешенных до сих пор проблем в области имитационного моделирования, что выражается, в частности, в сложности оценки адекватности описания моделируемой системы и интерпретации результатов. Отдельные недостатки имитационного моделирования описаны, например, в [3]:

1. Разработки хорошей имитационной модели часто обходится дорого и требует больших затрат времени.

2. Иногда кажется, что имитационная модель отражает реальное положение вещей, хотя в действительности это не так. Если не учитывать этого, то некоторые свойственные имитации особенности могут привести к неверному решению.

3. Имитационная модель в принципе неточна, и нет возможности измерить степень этой неточности. Это затруднение может быть преодолено лишь частично путем анализа чувствительности модели к изменению определенных параметров.

4. На имитационной модели можно получить ответ только после очередного имитационного эксперимента и возможности прогнозирования имитационного моделирования значительно меньше, чем аналитического моделирования.

Сказанное выше позволяет говорить об актуальности исследований в данной области, причем, в первую очередь, с точки зрения решения задачи преобразования компьютерных визуальных (графоаналитических) системно-объектных моделей в терминах «Узел-Функция-Объект» (**УФО-моделей**) в модели имитационные.

Учитывая, что имитационное моделирование — это частный случай математического моделирования объектов, для которых по различным причинам не разработаны аналитические модели, либо не разработаны методы решения таких моделей, необходимо для создания имитационной модели на основе УФО-модели осуществить формализацию последней, т.е. ее трансформацию в математическое (алгебраическое) описание.

Рассмотрим два варианта такой трансформации.

Имитационное моделирование путем формализации УФО-моделей средствами исчисления объектов

Для формального описания элементов «Узел-Функция-Объект» системно-объектных моделей (**УФО-элементов**) может быть использован алгебраический аппарат *исчисления объектов* Абади-Кардели [4], разработанный для формализации объектно-ориентированного программирования. При этом УФО-элементу ставится в соответствие специальный класс объектов исчисления Абади-Кардели, который содержит специально выделенные поля и методы (**узловой объект**), как показано в приведенном ниже выражении.

$G = [!i = a_i, !j = a_j; l_n = F(!i)!j; l_m = b_m]$, где:

- G - узловой объект;
- $!i$ - поле узлового объекта (может представлять собой набор или множество), которое содержит значение входных потоковых объектов a_i и, соответственно, имеет такой же тип данных;
- $!j$ - поле узлового объекта (может представлять собой набор или множество) которое содержит значения выходных потоковых объектов a_j и имеет такой же тип данных;
- l_n – метод узлового объекта (может представлять собой набор или множество), преобразующий входные потоковые объекты узла в выходные;
- l_m - поле узлового объекта (может представлять собой набор или множество), которое содержит основные характеристики данного объект (b_m).

Кроме того, самими связям/потокам ставится в соответствие другой специальный класс абстрактных объектов, который обладает только набором полей, содержащих основные характеристики объекта (**поточковый объект**), как показано в приведенном ниже выражении.

$a_i = [!j = b_j]$, где:

- a_i – потоковый объект;
- $!j = b_j$ – поля потокового объекта с некоторыми значениями b_j .

Если для хранения и обработки знаний о каких-либо процессах представлять их в виде УФО-элементов, то, с учетом формального их описания средствами исчисления объектов, манипулирование этими знаниями, в частности имитацию динамики процессов, можно обеспечить путем организации цепочки вызовов методов узловых объектов со стороны соответствующих потоковых объектов. Цепочка организуется на уровне декомпозиции УФО-элемента. В соответствии с прави-



лами исчисления объектов Абади-Кардели вызов узлового объекта можно записать следующим образом:

$$G.l_n \{I_i\} \{I_i\} \rightarrow G\}.$$

Подобный вызов метода узлового объекта будет иметь место в том случае, если на вход узлового объекта поступает поток, наименование объектов которого (поточковых) совпадает со значением поля узлового объекта, которое содержит значение входных поточковых объектов. Старт процедуры имитационного моделирования осуществляется путем инициализации некоторого контекстного поточкового объекта, после чего значение контекстного поточкового объекта попадает в соответствующее поле интерфейсного узлового объекта, после чего вызывается метод этого узлового объекта, который выполнив некоторые действия, вызывает метод следующего узлового объекта и так пока не достигается конец модели. Формально с учетом описания УФО-элементов средствами исчисления объектов упомянутая процедура имитации может быть представлена следующим образом:

$$a_i = [l_m = b_m]: a_i = a_i = I_i \rightarrow G_k.l_n \rightarrow I_j\{I_i\} \rightarrow G_k\} \rightarrow a_{i+1} = [l_{m+1} = b_{m+1}]: a_{i+1} = a_{i+1} = I_{i+1} \rightarrow G_{k+1}.l_{n+1} \rightarrow I_{j+1}\{I_{i+1}\} \rightarrow G_{k+1}\} \rightarrow a_{i+2} = [l_{m+2} = b_{m+2}]: a_{i+2} = a_{i+2} = I_{i+2} \rightarrow G_{k+2}.l_{n+2} \rightarrow I_{j+2}\{I_{i+2}\} \rightarrow G_{k+2}\} \rightarrow a_{i+3} = [l_{m+3} = b_{m+3}]: \dots$$

Вызов метода узлового объекта осуществляется за счет «движка» модели, который использует скриптовый язык, включающий в свой состав следующие операторы:

- оператор создания переменной;
- оператор присваивания значения переменной;
- операторы условия и цикла (в классической форме организации);
- математические операторы сложения, вычитания, умножения и деления;
- логические операторы.

Таким образом, процедура системно-объектного имитационного моделирования при условии формализации УФО-подхода с помощью алгебраического аппарата исчисления объектов, будет организована в соответствии с рисунком 1. Как видно из рисунка 1, организация имитации функционирования системы, представляемой в виде УФО-элемента, имеет, как и сам УФО-элемент, три уровня представления. Первый уровень – визуальное представление системы (то, что видит пользователь на экране монитора). На данном уровне модель системы строится из отдельных узлов системы, связанных между собою некоторыми поточковыми объектами X, Y, Z, L. Второй уровень – описание функционирования системы с помощью операторов скриптового языка, причем здесь имеют место predetermined методы:

- getLink(X.x1, X.x2,...,Y.y1, Y.y2,...) – позволяет получить значения характеристик входных поточковых объектов;
- setLink(Z.z1, Z.z2,...,L.l1, L.l2,...) – позволяет задать значения характеристикам выходных поточковых объектов;
- GetObjectParam(P1,P2,...) – позволяет получить значения характеристик узлового объекта, что соответствует третьему уровню описания системы – объектный уровень.

Таким образом, существует возможность описать функцию системы либо с помощью дальнейшей декомпозиции ее на подсистемы более низкого уровня, либо, если необходимый уровень декомпозиции достигнут, с помощью конструкций некоторого скриптового языка. Фактически получим организованную имитационную модель системы, состоящую из отдельных исполняемых блоков программы

Исходя из вышесказанного, описать функционирование процесса возможно с помощью скриптового языка. Авторами данной статьи был разработан язык УФО-скрипт, который представляет собою язык описания функциональных узлов. Рассмотрим основные конструкции данного языка. Синтаксически язык УФО-скрипт схож с языком программирования Pascal.

Для объявления переменных, используемых в рамках описания функционирования конкретного подпроцесса используется следующее выражение:

var <имя переменной 1>, <имя переменной 2>, <...>: тип данных;

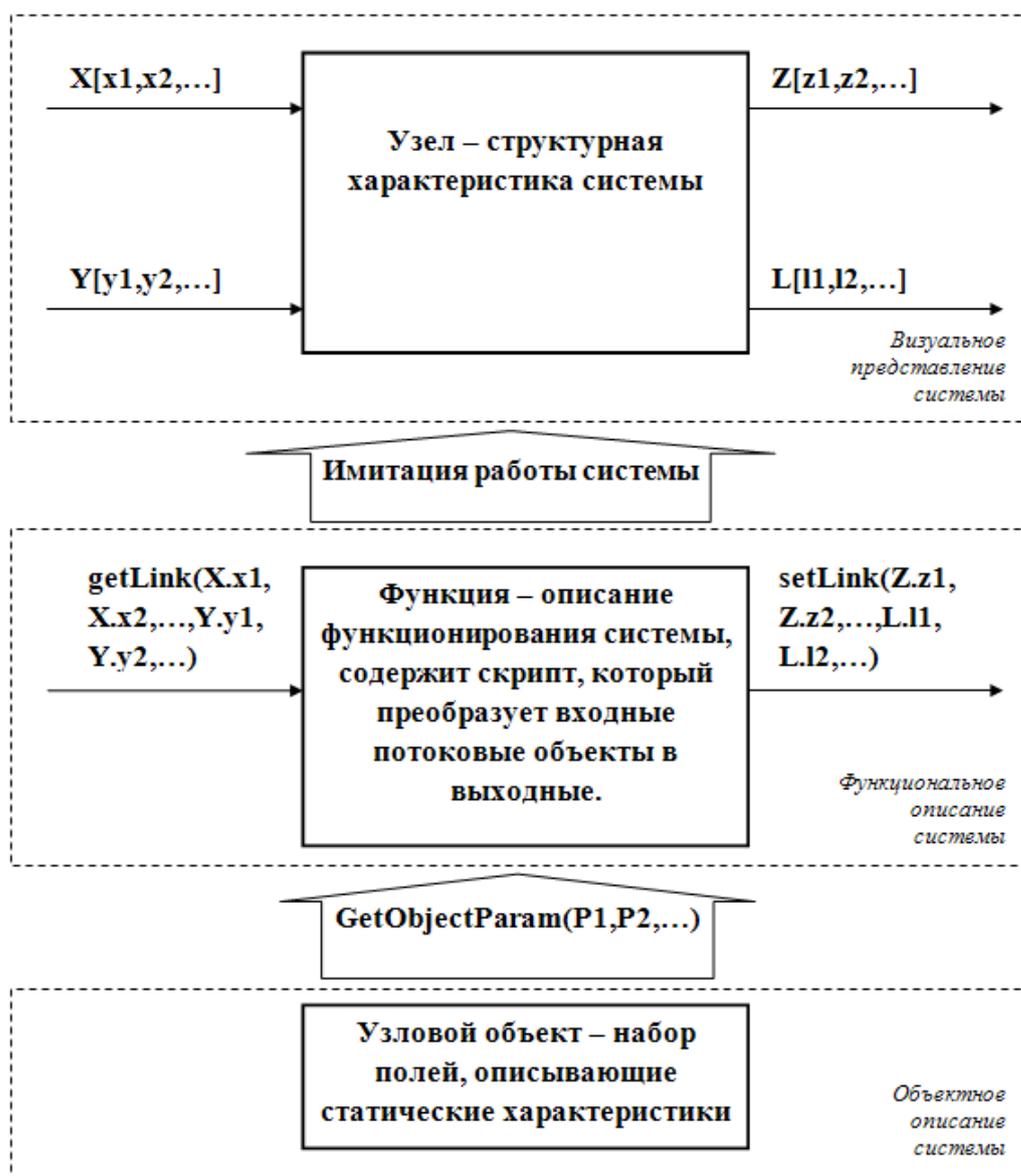


Рис. 1. Структура имитации функционирования системы, представляемой с помощью УФО-элементов и исчисления объектов

Fig. 1. The structure of the simulation of the system, provided by a NFO-elements and theory of objects

В приведенном примере имена переменных следуют после ключевого слова «var», далее через запятую перечисляются имена переменных, после двоеточия указывается тип данных, хранящихся в переменных. УФО-скрипт позволяет работать со следующими типами данных:

- **integer** – целочисленный тип данных;
- **real** – представляет собою дробные числа;
- **string** – строковый тип данных;
- **boolean** – логически тип данных

Каждый оператор языка УФО-скрипт заканчивается знаком «;». Фрагменты программного кода заключаются в программные скобки, как показано на примере ниже:

```
begin
...
end
```

Для обработки разветвляющихся алгоритмов исполнения функциональных узлов, УФО-скрипт содержит оператор условия, синтаксис которого показан ниже:

```
if (условие)
then
```



```
begin
//набор операторов № 1
end;
else
begin
//набор операторов № 1
end;
```

Оператор условия языка УФО-скрипт работает как и в других языках программирования: если условие принимает истинное значение – выполняется фрагмент программы № 1, иначе, если условие принимает ложное значение, выполняется фрагмент программы № 2.

Для реализации циклических алгоритмов язык УФО-скрипт содержит два вида организации циклов. Первый - цикл со счетчиком, синтаксис которого показан ниже:

```
for i:=<начальное значение счетчика> to <конечное значение счетчика> do
begin
<оператор 1>;
<оператор 2>;
...
<оператор n>;
end;
```

Кроме приведенного выше примера, так же имеется возможность работать с циклом с условием:

```
while <условие выполнения цикла> do
begin
<оператор 1>;
<оператор 2>;
...
<оператор n>;
end;
```

Приведенный выше цикл будет выполняться, пока истинно условие выполнения цикла, поэтому в теле цикла необходимо предусмотреть условия выхода из цикла, иначе программа заикнется.

Кроме стандартных конструкций, УФО-скрипт имеет ряд предопределенных процедур и функций, предназначенных для имитации работа функциональных узлов. Для получения значе- ний входных потоков узла, которому принадлежит функция, описываемая с помощью УФО- скрипта, были разработаны предопределенные функции:

Информационные потоки входа обозначаются следующим образом:

```
getlinki('имя входящего потокового объекта') – входной поток типа integer;
getlinkr('имя входящего потокового объекта') – входной поток типа real;
getlinkb('имя входящего потокового объекта') – входной поток типа boolean;
getlinks('имя входящего потокового объекта') – входной поток типа string.
```

После выполнения необходимых действий, необходимо задать значения выходных потоковых объектов, для этого были разработаны следующие процедуры:

```
setlinki('имя потокового объекта', значение) – выходящий поток типа integer;
setlinkr('имя выходящего потокового объекта', значение) – выходящий поток типа real;
setlinkb('имя выходящего потокового объекта', значение) – выходящий поток типа boolean;
setlinks('имя выходящего потокового объекта', значение) – выходящий поток типа string.
```

Как было отмечено выше, узловой объект может содержать некоторые показатели или характеристики узлового объекта. Фактически, это константы для программы имитирующей работу функционального узла. Для получения значений характеристик узлового объекта и использования их в программе, реализована процедура **getobjprop**('имя свойства узлового объекта'). Еще одной предопределенной процедурой, которая имеет важное значение в процессе разработки имитационных моделей процессов является процедура **delay(time)**. Эта процедура представляет собою временную задержку, которая имитирует, например, работу некоторого механизма или агрегата. Параметром данной процедуры является время задержки, которое будет измеряться в условных единицах, зависящих от масштаба времени имитационной модели. Рассмотрим небольшой пример описания функции узла с входящим потоком **I.x** и выходящим потоком **I.y**, как показано на рисунке ниже:

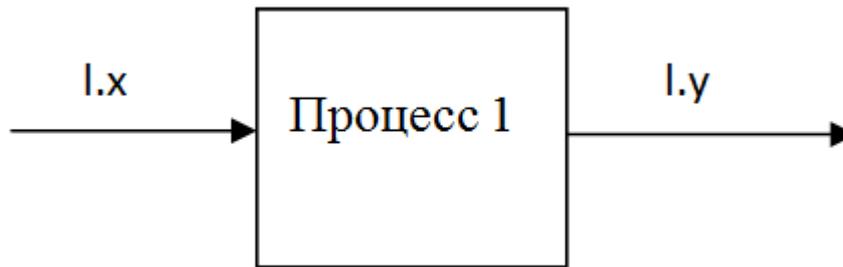


Рис. 2. Пример абстрактного процесса
Fig. 2. Example of an abstract process

```

var
  i,a,n,k,r:integer;
begin
  k:=getobjpropi('k1'); // получение значения свойства узлового объекта k1
  r:=getobjpropi('k2'); // получение значения свойства узлового объекта k2
  a:=0;
  delay(1); // задержка времени в 1 секунду
  while getlinki('l.x')>=k do
  begin
    setlinki('l.x',getlinki('l.x')-k);
    a:=1;
    delay(1);
    setlinki('l.y',getlinki('l.y')+r);
    delay(1);
  end;
  a:=0;
  delay(3);
end.

```

Далее рассмотрим описание уже не абстрактного примера, а описание функционирования хлебопечи. Которая позволяет выпекать 20 буханок хлеба одновременно и выпекает их в течении 10 минут. Возьмем за условие, что модель реализуется в минутном масштабе времени. Хлебопечь имеет два ключевых показателя работы, которые в модели отражаются как характеристики узлового объекта, назовем их: count=20 – максимальная загрузка хлебопечи; work_time=10 – время выпечки одной партии в минутах. Входящим потоком является конвейер, по которому поступают сырые буханки, назовем его потоком input со свойством потокового объекта count представляющим количество сырых буханок. Выходящий поток так же представляет собою конвейер, но уже с готовыми буханками, которые дальше поступают на упаковку, обозначим его output со свойством count. Примем так же за условие, что хлебопечь начинает работать, только в случае полной заполненности, т.е. когда input.count=20. Описание работы хлебопечи с помощью УФО-скрипта будет иметь следующий вид:

```

var
begin
  if (getlinki('input.count') = getobjpropi('count')) then
  begin
    setlinki('input.count',0);
    delay(getobjpropi('work_time'));
    setlinki('output.count',20);
  end;
end.

```

В приведенном выше фрагменте описания работы хлебопечи, сперва, проверяется условие наполненности печи, если печь заполнена, тогда обнуляется значение входного потока и запускается временная задержка, которая имитирует выпечку одной партии в течении 10 минут, после чего выходящий поток пополняется 20 готовыми буханками хлеба.

Представленный язык описания функциональных узлов является универсальным и позволяет описывать не только работу технологических процессов, но так же и других, например транс-

портных. Рассмотрим небольшой пример имитации движения автомобилей через перекресток, как показано на рисунке 3.

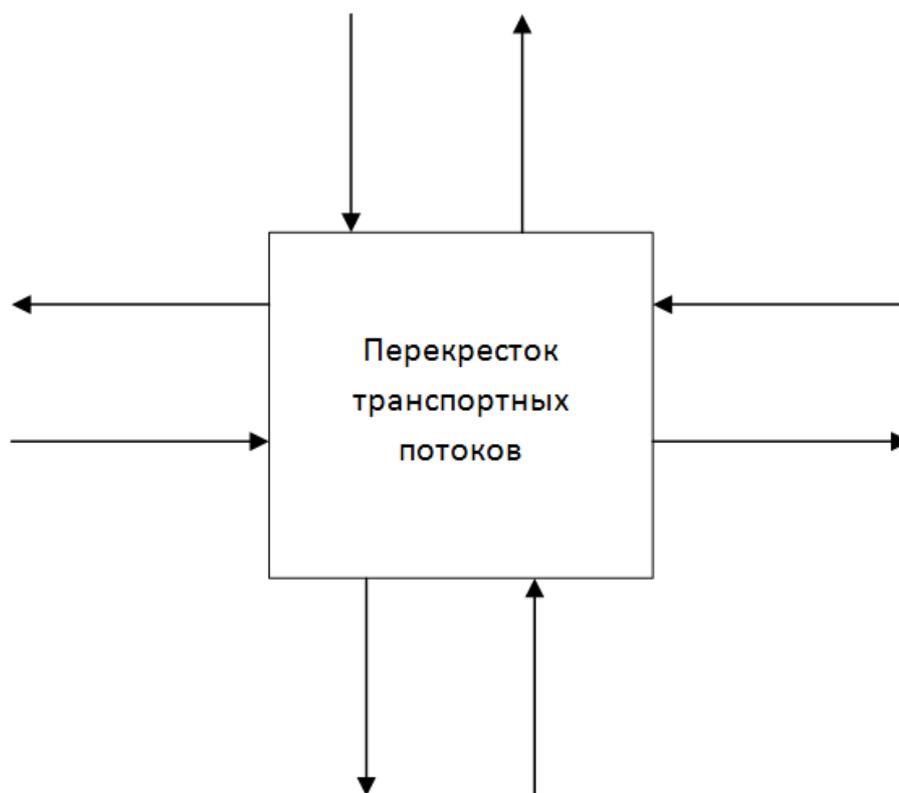


Рис. 3. Схема направлений транспортных потоков на перекрестке с двухсторонним движением
 Fig. 3. Driving directions of traffic at the intersection of a two-way

Обозначив входящие и исходящие транспортные потоки именами, например `input_left` – входящий поток справа относительно перекрестка, так же необходимо добавить потокам свойства, где будет храниться количество автомобилей в транспортном потоке в текущий момент времени. Для учета характеристик перекрестка, таких как, например: пропускная способность, сигнал светофора и т.п. необходимо создать соответствующие свойства узлового объекта. После чего с помощью языка UFO-скрипт, можно описать процесс пересечения перекрестка автомобилями. Для этого необходимо уменьшать количество автомобилей во входящем потоке и увеличивать количество автомобилей в исходящем потоке. Это реализуется с помощью функций **setlinki** и **getlinki**.

```

var
  i,a,n,k,r,e:integer;
begin
  k:=getobjprop('k1');
  r:=getobjprop('k2');
  e:=getobjprop('k3');
  a:=0;
  while getlinki('l.y')<k do
    delay(2);
  while getlinki('l.y')>=k do
    begin
      setlinki('l.y',getlinki('l.y')-k);
      a:=1;
      delay(3);
      setlinki('l.z',getlinki('l.z')+r);
      setlinki('l.e',getlinki('l.e')+e);
      delay(3);
    end;
  a:=0;
  
```

delay(3);
end.

Так же имеется возможность смоделировать различные алгоритмы включения и отключения сигналов светофора. Поэтому мы можем говорить об универсальности рассматриваемого подхода к имитации процессов.

Имитационное моделирование путем преобразования УФО-моделей в конструкции языка «Chi» (χ)

Для формального описания элементов «Узел-Функция-Объект» системно-объектных моделей (УФО-элементов) может быть использован алгебраический аппарат, полученный путем интеграции теории паттернов Гренандера [5] и исчисления процессов Милнера (в варианте CCS - *Calculus of communication systems*) [6]. В результате получено алгебраическое представление системы s_i как УФО-элемента [7]:

$s_i = \langle (L?_i, L!_i), (P_i, P^o_i, L\tau_i), (n_i, \alpha_i, \beta?_i, \beta!_i) \rangle$, где

– $(L?_i, L!_i)$ – «Узел: U» УФО-элемента, $L?_i \subset L$ – множество входных связей, $L!_i \subset L$ – множество выходных связей;

– $(P_i, P^o_i, L\tau_i)$ – «Функция: F» УФО-элемента, где P_i – множество подпроцессов процесса, соответствующего «Функции», которые реализуются УФО-элементами нижнего яруса иерархии; $P^o_i \subset P_i$ – множество интерфейсных подпроцессов (входных $P?_i$ и выходных $P!_i$, причем $P^o_i = P?_i \cup P!_i$; в число входных связей $P?_i$ входит $L?_i$, в число выходных связей $P!_i$ входит $L!_i$); $L\tau_i$ – множество внутренних связей/переходов в P_i , осуществляемых путем передачи, ввода и вывода элементов глубинного яруса связанных подпроцессов;

– $(n_i, \alpha_i, \beta?_i, \beta!_i)$ – «Объект: O» УФО-элемента, где n_i – имя «Объекта» ($n_i \in N$); α_i – множество признаков «Объекта» n_i ; $\beta?_i$ – множество показателей $L?_i$; $\beta!_i$ – множество показателей $L!_i$.

Для функции УФО-элемента, кроме того, с учетом исчисления процессов Милнера (в варианте *pi-исчисления*) [8], в работе [9] получено следующее выражение:

$F = \langle c(x).P, \tau_p, t(y).P \rangle$, где

– $c(x)$ – входной префикс, получение данных x из канала c процессом P ;

– τ_p – внутренние действия процесса P , соответствующего функции F ;

– $t(y)$ – выходной префикс, передача данных y по каналу t процессом P .

Модифицируя алгебраическое представление системы s_i как УФО-элемента с учетом последнего выражения для функции этого элемента средствами *pi-исчисления*, получаем следующее выражение:

$s_i = \langle (L?_i, L!_i), ((L?_i(\beta?_i).P_i), \tau_p, (L!_i(\beta!_i).P_i)), (n_i, \alpha_i, \beta?_i, \beta!_i) \rangle$,

или по правилам *pi-исчисления*:

$s_i = \langle (L?_i, L!_i), (L?_i(\beta?_i).\tau_p.L!_i(\beta!_i)), (n_i, \alpha_i, \beta?_i, \beta!_i) \rangle$, где

– $L?_i(\beta?_i)$ – входной префикс;

– $L!_i(\beta!_i)$ – выходной префикс процесса P .

Алгебраическое представление УФО-элементов (с учетом описания функции элемента средствами *pi-исчисления*) может быть преобразовано в описание на языке моделирования производственных процессов «CHI» (χ). Возможность такого преобразования обусловлена тем, что *pi-исчисление* использовано для определения формальной семантики языка χ , хотя базовая версия этого языка появилась более двадцати лет назад (в 1982 году), т.е. раньше исчисления процессов [10, 11]. Один из вариантов методики данного преобразования представлен в таблице.

Язык χ расширяет *pi-исчисление* процессов понятиями времени, данных и типов данных, а также генератором случайных чисел. Время в языке χ задается следующим образом [10, 12]:

1. **skip = \emptyset : true >> τ** (если процесс происходит мгновенно, т.е. время равно нулю).

Например: skip = \emptyset : true >> 'результат'.

2. **time = T : true >> τ** (если процесс ограничен по времени).

Например: time = 5 : true >> 'ответ'.

Следовательно, при описании графоаналитической УФО-модели на языке χ появляется возможность "внедрить" в нее временную характеристику и преобразовать, таким образом, визуальную модель процесса в модель имитационную. Естественно, подобная трансформация модели из одного формального (алгебраического) описания в другое (на формальном языке программирования) должна иметь четкую алгоритмическую базу.

Для проведения имитации на языке χ создан специальный "движок", который представляет собой программную среду, реализующую одновременное выполнение нескольких процессов



[13]. Суть его работы состоит в следующем: в фазе генерации кода, компилятор переводит модель на язык программирования высокого уровня. Этот код сравнивается с оригинальной моделью. Каждая конструкция языка χ отображается на соответствующую конструкцию языка программирования. Общая функциональность процесса определяется с помощью абстрактного класса. В сгенерированном коде для каждого процесса χ -модели ставится в соответствие специфический процесс абстрактного класса. Каждому типу данных χ -модели ставится в соответствие тип данных языка программирования. Каналы реализованы в виде экземпляров класса. Классы, которые представляют собой каналы передачи данных, генерируются из шаблона. Этот шаблон в качестве параметра имеет тип данных канала и, следовательно, может быть сформирован класс канала с различными типами данных. Экземпляры классов формируются таким же образом.

Таблица
Table

Методика преобразования УФО-модели в конструкции языка χ .
Methods of converting NFO-model design language

Наименование элементов УФО-модели	Алгебраическое описание УФО-элементов	Описание УФО-элементов на языке χ
Узел (перекресток входящих и выходящих связей)	$(L?i, L!i)$	<code><chan {L?i, L!i} ></code> где chan {L?i, L!i} – множество входных и выходных каналов
Функция (процесс преобразования входа в выход)	$(L?i(\beta?i).\tau_p.L!i(\beta!i))$	<code><disc\cont\alg $\beta?i, \beta!i,$ chan {L?i, L!i}, j, | τ_p ></code> где disc – если показатели $\beta?i, \beta!i$ дискретные, cont – если показатели $\beta?i, \beta!i$ непрерывные, alg – если показатели $\beta?i, \beta!i$ алгебраические, j – ограничение допустимых значений переменных τ_p – процесс преобразования входных данных в выходные
Объект (структура, реализующая функцию и занимающая данный узел)	$(n_i, \alpha_i, \beta?i, \beta!i)$	<code><object $n_i =$ [disc\cont\alg $\beta?i, \beta!i,$ chan {L?i, L!i}, j, α_i | τ_p] ></code>

В результате создается исполняемый файл с расширением *.exe, при запуске которого на экран выводится модель. В файле с расширением *.log хранятся результаты моделирования. Этот файл содержит время работы каждого элемента модели и имена переменных, задействованных в том или ином процессе; он может быть использован для построения диаграммы.

Также генерируется файл трассировки, с помощью которого можно восстановить процесс моделирования при сбое. Он хранит в себе информацию о состоянии работы системы, событиях на определенный момент времени. Данный файл не является обязательным.

Выводы

Представленные в данной работе результаты позволяют говорить о возможности и целесообразности создания средств имитационного моделирования, использующих в своей основе подход «Узел-Функция-Объект».

Описанный способ системно-объектного моделирования знаний о транспортных и производственно-технологических процессах позволяет в удобном визуальном виде автоматически получать цепочки процессов для различных конкретных ситуаций. Используя такую модель, пользователь не только сможет обеспечить автоматизированную поддержку принятия решений по управлению процессами, но так же накапливать и хранить опыт в виде удачных решений и использовать его в дальнейшем. Процесс имитационного моделирования на основе системно-объектной модели знаний и ее формализации средствами исчисления объектов состоит из следующих этапов:



Создание иерархии связей, т.е. потоковых объектов системно-объектной модели, у которых определяются, важные для данной предметной области, параметры.

Создание визуальной УФО-модели обработки потоковых объектов, на которой отображаются все узлы, ветвления и т.п.

Описание узловых объектов с их параметрами и методами алгебраическими средствами исчисления объектов. При необходимости метод узлового объекта декомпозируется на подпроцессы нижнего уровня.

Использование полученной модели путем инициализации начальных значений модели и запуске механизма логического вывода, в результате которого формируется модель поведения системы для текущего конкретного случая.

Представленный способ описания средствами языка χ формализованных графоаналитических УФО-моделей обеспечивает возможность формального решения задачи имитации функционирования производственных, технологических и транспортных процессов на их системно-объектных визуальных моделях. Процесс имитационного моделирования на основе формализованных графоаналитических УФО-моделей с использованием языка χ состоит из следующих этапов:

1. Построение графоаналитической УФО-модели динамической системы.
2. Формальное описание УФО-модели в терминах пи-исчисления.
3. Преобразование алгебраического описания визуальной модели в конструкции языка χ .
4. Проведение имитации моделируемого процесса с помощью "движка" языка χ .

В настоящее время разрабатывается новая версия программного инструментария UFO-toolkit, в которой будут автоматизированы все описанные возможности системно-объектного моделирования.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 13-07-00096 а, 13-07-12000 офн_м, 14-47-08003.

Список литературы References

1. Маторин С.И., Попов А.С., Маторин В.С. Моделирование организационных систем в свете нового подхода «Узел-Функция-Объект» // Научно-техническая информация. Сер.2. 2005. №1.
Matorin S.I., Popov A.S., Matorin V.S. Modelirovanie organizacionnyh sistem v svete novogo podhoda «Uzel-Funkcija-Ob'ekt» // Nauchno-tehnicheskaja informacija. Ser.2. 2005. №1.
2. Маторин С.И., Зимовец О.А., Жихарев А.Г. О развитии технологии графоаналитического моделирования бизнеса с использованием системного подхода «Узел-Функция-Объект» // Научно-техническая информация. Сер. 2. 2007. №11.
Matorin S.I., Zimovec O.A., Zhiharev A.G. O razvitii tehnologii grafoanaliticheskogo modelirovanija biznesa s ispol'zovaniem sistemnogo podhoda «Uzel-Funkcija-Ob'ekt» // Nauchno-tehnicheskaja informacija. Ser. 2. 2007. №11.
3. Имитационное моделирование [Электронный ресурс] / URL: www.e-sab.narod.ru/Student/msu/4-imitation.pdf
Imitacionnoe modelirovanie [Jelektronnyj resurs] / URL: www.e-sab.narod.ru/Student/msu/4-imitation.pdf
4. Abadi Martin and Luca Cardelli A Theory of Objects. Springer-Verlag, 1996.
Abadi Martin and Luca Cardelli A Theory of Objects. Springer-Verlag, 1996.
5. Гренандер У. Лекции по теории образов. 1. Синтез образов. // Пер. с англ. М.: Мир, 1979.
Grenander U. Lekcii po teorii obrazov. 1. Sintez obrazov // Per. s angl. M.: Mir, 1979.
6. Milner R., Parrow J., Walker D.A. Calculus of Mobile Processes – Part I. LFCS Report 89 – 85. University of Edinburgh, 1989.
Milner R., Parrow J., Walker D.A. Calculus of Mobile Processes – Part I. LFCS Report 89 – 85. University of Edinburgh, 1989.
7. Zimovets O., Matorin S. Integration of graphic analytical models "Unit-Function-Object" formalize means // Scientific and Technical Information Processing. - Allerton Press, Inc. 2013. – V.40. – N6.
Zimovets O., Matorin S. Integration of graphic analytical models "Unit-Function-Object" formalize means // Scientific and Technical Information Processing. - Allerton Press, Inc. 2013. – V.40. – N6.
8. Milner R. The polyadic π -calculus: a Tutorial, University of Edinburgh, 1991.
Milner R. The polyadic π -calculus: a Tutorial, University of Edinburgh, 1991.
9. Михелев М.В., Маторин С.И. Формализация УФО элементов с помощью алгебраического аппарата ПИ-исчисления. // Научные ведомости БелГУ. Сер. Информатика. 2010. №19(90). Выпуск 16/1.
Mihelev M.V., Matorin S.I. Formalizacija UFO jelementov s pomoshh'ju algebraicheskogo ap-parata PI-ischislenija. // Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Informatika. 2010. №19(90). Vypusk 16/1.
10. Сынтульский С.С. Язык программирования сверхбыстрых гибридных вычислительных устройств. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.math.spbu.ru/user/gran/sb2/ssyntulsky.pdf>



Syntul'skij S.S. Jazyk programirovanija sverhbystryh gibridnyh vychislitel'nyh ustrojstv. [Jelektronnyj resurs] // URL: <http://www.math.spbu.ru/user/gran/sb2/ssyntulsky.pdf>

11. Rooda J. E. Vervoort J. Learning χ 0.8. Eindhoven. 2003.

Rooda J. E. Vervoort J. Learning χ 0.8. Eindhoven. 2003.

12. van Beek D.A., Man K.L., Reniers M.A., Rooda J.E., Schiffelers R.R.H. Syntax and consistent equation semantics of hybrid Chi. [Электронный ресурс] // URL: http://ac.els-cdn.com/S1567832605000895/1-s2.0-S1567832605000895-main.pdf?_tid=26231c90-c739-11e4-aa5c-00000aacb35f&acdnat=1426001079_b45ofab5616606d5bfad09e7ecac25c6

van Beek D.A., Man K.L., Reniers M.A., Rooda J.E., Schiffelers R.R.H. Syntax and consistent equation semantics of hybrid Chi. [Электронный ресурс] // URL: http://ac.els-cdn.com/S1567832605000895/1-s2.0-S1567832605000895-main.pdf?_tid=26231c90-c739-11e4-aa5c-00000aacb35f&acdnat=1426001079_b45ofab5616606d5bfad09e7ecac25c6

13. Fabian Georgina. A language and simulator for hybrid systems / by Georgina Fabian. Eindhoven: Technische Universteit Eindhoven, 1999.

Fabian Georgina. A language and simulator for hybrid systems / by Georgina Fabian. Eindhoven: Technische Universteit Eindhoven, 1999.



УДК 004; 334.724

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТОВ

DECISION MAKING SUPPORT SYSTEM IN EXECUTING THE PROJECTS

Н.В. Путивцева, С.В. Игрунова, Т.В. Зайцева, Е.В. Нестерова, О.П. Пусная
N.P. Putivzeva, S.V. Igrunova, T.V. Zaitseva, E.V. Nesterova, O.P. Pusnaya

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

e-mail: putivzeva@bsu.edu.ru, igrunova@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, nesterova@bsu.edu.ru, pusnaya@bsu.edu.ru

Аннотация. В условиях современного рынка для своевременного и оперативного упорядочения данных о сотрудниках при выполнении проектов на предприятиях всех отраслей и масштабов, а также приема на работу квалифицированных специалистов и назначения сотрудников на вакантные должности в соответствии с их уровнем квалификации и компетенций применяются автоматизированные системы управления персоналом. В работе представлено пошаговое описание процесса разработки системы поддержки принятия решений (СППР) для оценки профессионально-личностных компетенций персонала на базе многокритериальной процедуры оценки по методу «360 градусов». В качестве метода многокритериальной оценки был выбран метод анализа иерархий.

В статье приведены результаты проектирования и реализации СППР в виде экранных форм разработанной системы. Разработанная система поддержки принятия решений позволяет получить выходные документы: отчеты о сформированности личностных компетенций работника, его соответствие занимаемой должности путем сравнения с «эталоном» для соответствующей должности, персональный план развития для каждого оцененного сотрудника, индивидуальные отчеты о выполненных работах. Предложенная система управления персоналом предприятия может быть внедрена при соответствующей доработке в организациях с подобным видом деятельности.

Resume. In conditions of nowadays market automated personnel management systems for timely and efficient ordering of data on employees during the projects implementation in enterprises of all industries and scales as well as the recruitment and appointment of qualified employees for vacant positions according to their level of qualifications and competences are used. The paper presents a step by step description of the development process of DSS for evaluation of professional and personal competencies of staff on the basis of multicriteria evaluation procedure, which is based on the "360 degrees" method. As a method of multicriteria evaluation, analytical hierarchical procedure was chosen.

The paper deals with the automation of the method of "360 degrees" and of accounting of working hours of employees in the company and a description of the developed automated system which is based on the architecture "client - server". Developed decision making support system allows to get following output documents: reports on the formation of personal competencies of the employee, his compliance to his post by comparison with "standard" for the respective positions, a personal plan of development for each assessed employee, individual reports on performed work. The proposed system of personnel management of the enterprise can be introduced after the appropriate revision in organizations with a similar activity.

Ключевые слова: принятие решений, СППР, выполнение проектов, профессионально-личностные компетенции, метод «360 градусов», мультидокументальный интерфейс, программная реализация.

Keywords: decision making, DMSS, projects implementation, professional and personal competencies, method "360 degrees", software implementation, multiple document interface.

В настоящее время практически в любой организации основным является проектный подход для реализации поставленных целей и решения задач. Важнейшим моментом в организации управления проектами на предприятии является формирование работоспособного коллектива, сотрудники которого могут быть взаимодополняемы и частично заменяемы. Правильно подобранная команда обеспечивает 60% успеха [1]. Уровень квалификации как каждого сотрудника, так и команды в целом определяется не только профессиональными, но и личностными компетенциями входящих в состав проектной команды людей. Сложно разделить профессиональные и личностные компетенции отдельного сотрудника, так как происходит взаимовлияние профессиональных качеств человека на его поведенческие особенности, а также необходимо учитывать личностные особенности в профессиональной деятельности. Следует учитывать, что невозможно рассматривать отдельного сотрудника команды проекта без учета межличностных отношений внутри самой команды. Как следствие определение сформировавшихся профессионально-личностных компетенций связано с возможностью учета межличностных проблем в коллективе, заниженной или завышенной самооценкой сотрудников.

В настоящее время существуют различные методики оценки сотрудников [1], например биографический, интервьюирование, анкетирование, тестирование, метод сравнительных анкет, метод "360 градусов", ранжирование, сравнение по парам, рейтинг (или метод сравнения), метод инцидентов, стандарты исполнения и т.д. Все перечисленные методы отличаются подходом к оценке результатов. К примеру, если оценивать только результаты сотрудника, можно упустить очень важный момент: как был достигнут такой результат – возможно, совершенно неприемлемым, недопустимым идеологией компании способом. Если оценка проводится с точки зрения качества, можно упустить из виду цель и смысл выполнения работы. И, наконец, большой профессиональный потенциал – еще не гарантия эффективной работы: при низкой мотивации сотрудник может не использовать свой потенциал в полной мере. Увидеть целостную картину, получить наиболее точную и полную характеристику сотрудника позволяют технологии, объединяющие несколько методов оценки.

Анализ литературы показывает, что часть вышеперечисленных методов можно использовать параллельно [1]. В процессе подбора двух взаимодополняемых методов рассматривались следующие комбинации: анкетирование + анализ конкретных ситуаций (кейсы), метод сравнительных анкет + ранжирование и т.д. Особое внимание было уделено парам, в которых обязательным рассматривался метод "360 градусов": "360 градусов" + MSi. При анализе полученных пар было выявлено, что для получения наиболее точной и полной характеристики сотрудника в коллективе целесообразно использовать следующую комбинацию: «360 градусов» и сравнение по парам [1].

При методе «360 градусов» сотрудник оценивается своим руководителем, коллегами и подчиненными, а также дает собственную личностную оценку. Конкретные формы оценки могут варьироваться, но все оценивающие заполняют одинаковые бланки, что позволяет формализовать процесс обработки полученных данных [2]. Цель метода - получить всестороннюю оценку аттестуемого. Затем применяется метод «Сравнение по парам», в котором в группе участников, работающих на аналогичных должностях, сравнивается каждый с каждым, после чего подсчитывается, сколько раз сотрудник оказывался лучшим в своей паре.

Этот подход основан на оценке и самооценке сотрудников и носит ярко выраженный качественный характер. Для приведения к количественным оценкам можно использовать методологию экспертных технологий. В качестве метода многокритериальной оценки был выбран метод анализа иерархий (Саати Т.) [3].

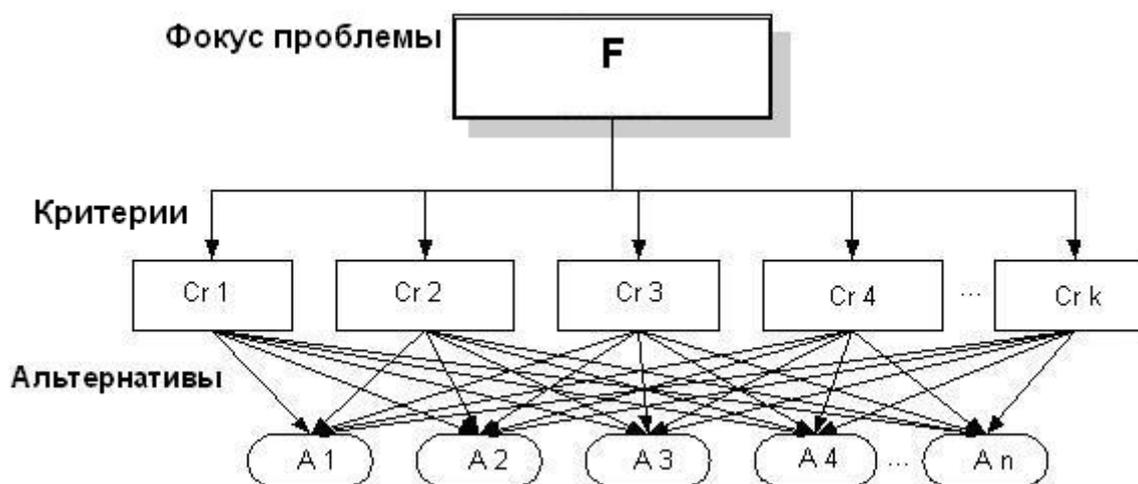


Рис. 1. Схема метода анализа иерархий для оценивания выполнимости проекта
Fig. 1. Scheme of analytical hierarchical procedure for estimation of the feasibility of the project

Для решения задачи оценивания уровня компетенций достаточно трехуровневой иерархии (см. рисунок 1), в которой целью является фокус проблемы (F) - выполнимость проекта, критериями – компетенции сотрудников (Cr_i , где $i=1...k$), а альтернативами - претенденты на выполняемые этапы работ проекта (A_j , где $j=1..n$).

В методе анализа иерархий (МАИ) анализ проблемы основан на моделировании знаний в форме оценок важности одной альтернативы по отношению к другой, выражаемых четкими числами. В распоряжение эксперта дается шкала словесных определений уровня сравнительной важности, каждому уровню важности ставится в соответствие число (от 1 до 9).

Парные сравнения проводятся в терминах доминирования одного из элементов над другим. Этим суждениям затем приписывается количественная сила превосходства, выражаемая целым числом или обратным к нему согласно следующего правила. Если элемент A_i доминирует над элементом A_j , то ячейка матрицы, соответствующая строке A_i и столбцу A_j , заполняется целым числом, а ячейка, соответствующая строке A_j и столбцу A_i , заполняется обратным к нему числом (дробью).

В матрицах парных сравнений полученные числа используются для определения весов (коэффициентов важности) сравниваемых объектов (критериев, целей, альтернатив).

Обозначим матрицу МПС, в которой сравниваются критерии, расположенные на следующем за целью уровнем иерархии $C = \{c_{ij}\}$.

Матрица является обратносимметричной, т.е. $c_{ij} = 1/c_{ji}$ согласно (1.16). По главной диагонали матрицы заранее ставятся единицы, т.к. альтернатива равноценна самой себе. Для заполнения каждой матрицы размером $N \times N$ достаточно произвести $N(N-1)/2$ суждений.

Таблица
Table

Общий вид обратно симметричной матрицы парных сравнений
General view of the inversely symmetrical matrix of pairwise comparisons

Цель	Критерий 1	Критерий 2	Критерий 3	...	Критерий К
Критерий 1	1	c_{12}	c_{13}	...	c_{1k}
Критерий 2	$1/c_{12}$	1	...	...	...
Критерий 3	$1/c_{13}$	...	1	...	...
...	...	...	...	1	...
Критерий К	$1/c_{1k}$	...	...	...	1

Составление таких матриц проводится для всех уровней и групп в иерархии. Причем полученные матрицы должны быть согласованы для достоверного решения. Согласованность проявляется в транзитивности. Для идеальной калибровки $f_{ij}(\bar{\omega}) \cdot f_{jk}(\bar{\omega}) = f_{ik}(\bar{\omega})$. Поскольку в идеале $c_{ij} = \omega_i / \omega_j$, то и $c_{ij} \cdot c_{jk} = c_{ik}$.

На заключительном этапе МАИ полезность альтернативы определяется путем синтеза относящихся к ней весов целей и критериев с использованием либо аддитивной, либо мультипликативной свертки.

$$\omega_i = \sum_{k=1}^K R_k V_{ik}, \quad \sum_{i=1}^N \omega_i = 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

Наиболее предпочтительной является та альтернатива, весомость которой наибольшая.

Также на последнем этапе вычисляется оценка согласованности иерархии

$$\text{ОСИ} = M/M- \quad (2)$$

$$M = \text{ИС}_{\text{крит}} + \sum_{k=1}^K \text{ИС}_k R_k \quad (3)$$

$$M = \text{СС}_{\text{крит}} + \sum_{k=1}^K \text{СС}_k R_k, \quad (4)$$

где ИСКрит – значение индекса согласованности для МПС сравнения критериев по отношению к цели, ИСк – индексы согласованности для МПС сравнения альтернатив по каждому из К критериев, ССКрит – математическое ожидание согласованности для случайным образом заполненных МПС сравнения критериев по отношению к цели размерности m , ССк – математическое ожидание согласованности для случайным образом заполненных МПС сравнения альтернатив по каждому из К критериев.

Иерархия считается согласованной, если ОСИ порядка 0,1 (10%), хотя на практике при решении сложных проблем допускается порог в 0,2.

Данный метод позволяет учитывать множественность критериев, их качественный характер и получать на выходе весомости альтернатив в количественной форме [4].

Автоматизация позволит решить задачи по управлению всем объемом информационно-документальных потоков.

Предложенный метод взят за основу при проектировании и реализации СППР, предназначенной для подбора исполнителей этапов проекта. На рисунке 2 приведено диалоговое окно для выбора сотрудника на руководящую должность.

Для автоматизации учета выполненных работ разрабатываемая система позволяет решать следующие задачи:

- Хранение информации о подразделениях, сотрудниках организации;
- Фиксация плановых работ, нарядов на выполнение работ и фактически выполненных работ с учетом трудозатрат и сроков выполнения;
- Формирование отчетов по плановым и выполненным работам и экспорт их в офисные приложения (Excel);
- Оперативное предоставление информации о работах, выполняемых в подразделении;
- Перераспределение выполняемых работ с учетом квалификации сотрудников;
- Поддержка учета с автоматическим отслеживанием сроков исполнения.

В основе системы безопасности лежит разделение доступа к информации по ролям. В зависимости от роли пользователь получает доступ к отчетам о выполненной работе, планам и нарядам на работы, справочной информации.

При редактировании информации фиксируется учетная запись, от имени которой было выполнено данное изменение, а также дата и время операции.

Система имеет 3 роли:

- Администратор;
- Менеджер;
- Руководитель проекта.

Администратор создает и назначает права пользователям, редактирует организационную структуру предприятия, имеет доступ к просмотру таблиц путем выполнения любых запросов на языке SQL.

Менеджер имеет доступ к подбору исполнителей изменению своих отчетов о выполненной работе.

Руководитель проекта имеет доступ на изменение нарядов на выполнение работ, плановых работ и групп плановых работ. Руководитель назначает исполнителей на каждый наряд.

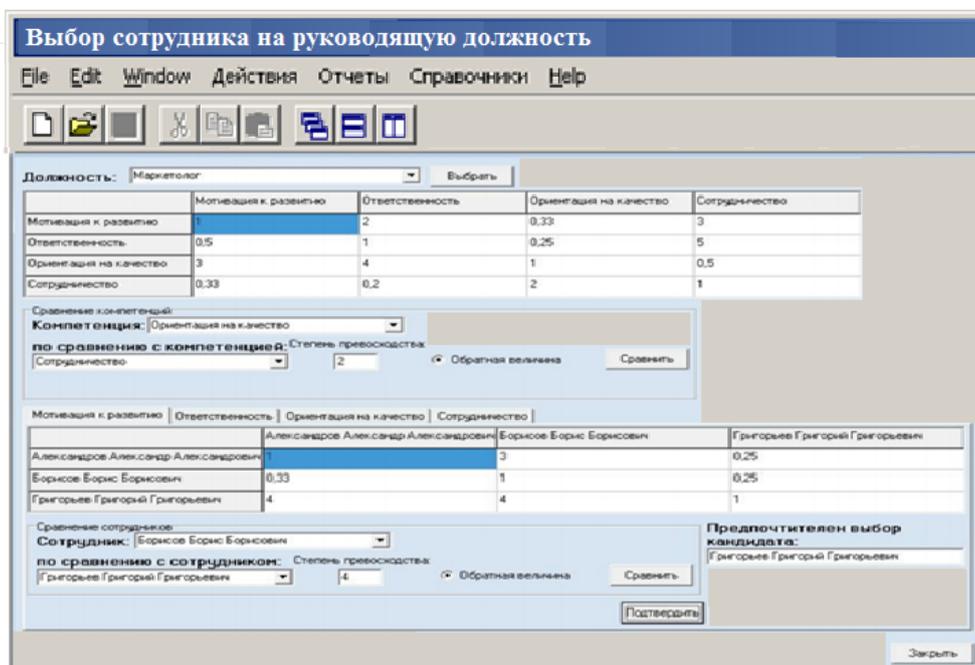


Рис. 2. Пример заполненных матриц парных сравнений
Fig. 2. An example of filled matrices of pairwise comparisons

Пользователь может иметь любой набор ролей.

Объектная модель приложения построена по следующему принципу:

- Модуль данных – предназначен для связи с базой данных.
- Интерфейс MDI имеет 2 иерархии: формы списков и формы редактирования элемента таблицы.
- Дополнительные формы: авторизации, информация о программе.
- Объект работы с настройками.



– Объект формирования отчетов.

Разработанная система поддержки принятия решений позволяет получить выходные документы: отчеты о сформированности личностных компетенций работника, его соответствие занимаемой должности путем сравнения с «эталонном» для соответствующей должности, персональный план развития для каждого оцененного сотрудника, отчеты о плановых и выполненных работах. Указанные документы экспортируются в Microsoft Excel и используются в дальнейшем для определения трудозатрат выполненных работ, эффективности работы сотрудников предприятия.

Список литературы References

1. Клочков А. К., КРІ и мотивация персонала. Полный сборник практических инструментов. – Эксмо, 2010. – 160 с.
Klochkov A. K., KPI i motivacija personala. Polnyj sbornik prakticheskikh instrumentov. – Jeksmo, 2010. – 160 s.
2. Путивцева Н.П., Автоматизация тестирования личностных компетенций по методу «360 градусов» / Н.П. Путивцева, Е.Х. Гайнуллина, С.В. Игрунова, Т.В. Зайцева // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. - 2010.- Том 19.- №13 (84). – Выпуск 15/1. - С. 120-126.
Putivceva N.P., Avtomatizacija testirovanija lichnostnyh kompetencij po metodu «360 gradusov» / N.P. Putivceva, E.H. Gajnullina, S.V. Igrunova, T.V. Zajceva // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. – 2010. – Том 19. – №13 (84).- Vypusk 15/1 - S. 120-126.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
Saati T. Prinjatie reshenij. Metod analiza ierarhij. – M.: Radio i svjaz', 1993. – 278 s.
4. Жилияков Е.Г., Об использовании метода парных сравнений для принятия решений при оценивании уровня профессиональных компетенций обучаемых / Е.Г. Жилияков, С.В. Игрунова, Ю.Г. Чашин, С.Н. Девыцына, Н.П. Путивцева, С.В. Мединцева // Научные ведомости БелГУ. Серия История. Политология. Экономика. Информатика. - 2008. - № 10(50), вып. 8/1. - С. 65-74.
Zhilyakov E.G., Ob ispol'zovanii metoda parnyh sravnenij dlja prinjatija reshenij pri ocenivanii urovnja professional'nyh kompetencij obuchaemyh / E.G. Zhilyakov, S.V. Igrunova, Ju.G. Chashin, S.N. Devycyna, N.P. Putivceva, S.V. Medinceva // Nauchnye vedomosti BelGU. Serija Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. - 2008. - № 10(50), vyp. 8/1. - S. 65-74.

УДК 004.891.2:621.9

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ СТРУКТУРНО-КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУБТРАКТИВНОЙ ОБРАБОТКИ С НАНОМЕТРОВОЙ ТОЧНОСТЬЮ

DECISION MAKING FOR SELECTING OF EQUIPMENT STRUCTURE-LAYOUT SCHEME FOR SUBTRACTIVE MACHINING WITH NANOMETER PRECISION

В.В. Ломакин, А.Н. Афонин, Р.Г. Асадуллаев, М.В. Лифиренко
V.V. Lomakin, A.N. Afonin, R.G. Asadullaev, M.V. Lifirenko

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia
e-mail: lomakin@bsu.edu.ru, afonin@bsu.edu.ru, asadullaev@bsu.edu.ru

Аннотация. Исследованы варианты структурно-компоновочных схем оборудования для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов. Проведена систематизация вариантов перемещений элементов станка в трехмерном пространстве с возможностью вращения рабочего элемента. Посредством опроса экспертов получены альтернативы, систематизированы в форме кластеров критерии и определена рациональная схема компоновки станка.

Resume. The variants of structural and layout diagrams of equipment for subtractive processing heterogeneous multi-layer structures with nanometer precision positioning of the actuators were studied. The systematization of options for the machine moving elements in three-dimensional space with the possibility of the operating element rotation was performed. The alternatives were identified and the criteria clusters for rational machine pattern layout determining were systematized by the survey of experts.

Ключевые слова: субтрактивная обработка, многослойные гетерогенные структуры, метод анализа иерархий, система поддержки принятия решений, экспертное оценивание.

Keywords: subtractive machining, heterogeneous multilayer structure, analytic hierarchy process, decision support system, expert evaluation.

В настоящее время в приборо- и машиностроении возрастает доля деталей, имеющих микро- и наноразмерные поверхности различной формы с жесткими допусками [1]. Данные детали часто имеют сложную многослойную гетерогенную структуру, например, на основе стеклотекстолитов, содержащих слои наполнителя из стеклоткани на основе корунда, связующие полимерные материалы, металлические пленки. К подобным деталям относят также изделия из наноламинатов.

Для обработки деталей микроэлектроники и микромеханики в настоящее время применяется многоосевое технологическое оборудование, имеющее погрешность обработки порядка 1 мкм. Дальнейшее повышение точности оборудования ограничивается недостаточной точностью позиционирования исполнительных механизмов, упругими и термическими деформациями, а также внешними вибрациями, передаваемыми фундаментом. Существующие зарубежные аналоги промышленного оборудования для сверхточной субтрактивной обработки (станки компаний «Posalux» (Швейцария), «Mare» (Дания), «Hitachi» (Япония), «Excellon» (США) и др.) имеют точность позиционирования порядка 10 мкм. Однако недостатками данного оборудования является то, что высокая точность обработки достигается только при перемещении по одной координате.

Из сказанного вытекает необходимость разработки оборудования для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов. При этом требуется обеспечение повышения не менее чем в 10 раз точности позиционирования (обеспечения погрешности позиционирования до 10 нм) исполнительных механизмов технологического оборудования для формирования прецизионных углублений по сравнению с лучшими зарубежными аналогами за счет реализации замкнутых контуров обратной связи, с учетом влияния внешних возмущающих факторов.

Для повышения точности обработки необходимо обеспечить наличие сверхточного привода стола. Данный привод должен обеспечивать нанометровую точность заданной пространственной траектории движения по трем осям координат за счет компенсации погрешностей перемещения основного привода координатного стола. Подобная точность может быть обеспечена применением привода на основе магнитоуправляемых эластомеров или пьезокерамики. Дополнительный точный позиционирующий и виброизолирующий привод стола на основе магнитоуправляемого эластомера или пьезокерамики способен обладать нанометровой точностью и плавностью

хода, малыми силами трения, хорошими демпфирующими свойствами и отсутствием люфтов [2, 3, 4].

Подсистема обработки станка, реализующая за счет согласованных относительных движений инструмента и заготовки, осуществляет главную функцию станка - размерную обработку заготовок. Номенклатура движений в подсистеме обработки и их параметры – траектория, скорость и т.д. определяются технологическим процессом обработки. Для реализации этих движений в станке предусмотрены специальные функциональные элементы - исполнительные звенья (шпиндели, столы и др.), детали несущей системы станка (включая подвижные стыки), элементы передачи движения и двигатели.

Компоновка станка представляет собой совокупность исполнительных звеньев и деталей несущей системы, которая характеризуется их количеством, типом, пространственным расположением и пропорциями [5, 6, 7]. Таким образом, при проектировании станка необходимо определиться с его компоновкой, которая будет обеспечивать точность и необходимый функционал работы станка. При этом необходимо провести процедуру выбора наилучшей компоновки станка для решения задач субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов. Для этого определим возможные варианты компоновки станка.

Компоновка станка, как правило, состоит из одного стационарного (постоянно неподвижного) и нескольких подвижных элементов, разделенных стыками. Совокупность элемента компоновки и соответствующего ему подвижного стыка называется подвижным блоком. Ряд подвижных блоков от исполнительного звена до стационарного элемента компоновки образует ветвь компоновок. Ветви составляют компоновку станка. Она представляет собой конструкционную структуру, строение станка, но без детализации отдельных его элементов.

Получить деталь заданной формы можно, используя различные виды инструмента и способы обработки. От этого зависит состав исполнительных движений в станке и его кинематическая структура. Различным кинематическим структурам, как правило, соответствуют различные компоновки.

Изменяя структуру компоновки и пространственное расположение элементов, участвующих в формообразовании, можно получить несколько различных компоновок станка одного и того же назначения.

В состав компоновочных факторов входят:

- структура компоновки как совокупность определенным образом связанных элементов (стационарных и подвижных, совершающих координатные движения);
- пространственное расположение элементов компоновки (в частности основных плоскостей стыков);
- габариты элементов компоновки (главным образом их размерные пропорции), от которых зависит соотношение жесткостей элементов компоновки по разным координатным осям;
- вылеты - координатные расстояния между центрами жесткости стыков и точками приложения нагрузки (силы резания, веса элементов), сильно влияющих на перенос силовых воздействий и перемещений;
- факторы категории сопряжений - типы подвижных стыков, отличающиеся соотношением длин подвижной и неподвижной частей.

Компоновочные факторы не зависят от конструкции узлов станка. Все они имеют количественное выражение и в значительной степени влияют на основные показатели качества станка.

Из изложенного следует, что задачами проектирования компоновки станков является определение компоновочных факторов, которые при заданном наборе координатных движений исполнительных звеньев обеспечивают потенциальную возможность получения оптимальных (или близких к ним) значений основных показателей качества станка.

В процессе размерной обработки заготовок траектории движений формообразования обеспечивают точность станка. Заданные траектории формообразующих движений и их расположение в пространстве обеспечиваются исполнительными звеньями и несущей системой станка, которые представляют собой элементы компоновки.

Рабочий элемент станка может быть выполнен в виде шпинделя для обработки резанием, в форме лазерного элемента и т.д. Вариант лазерного исполнения рабочего элемента станка субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов не приемлем в связи со сложностью обеспечения заданного качества изготавливаемых деталей. Это связано с особенностями управления лазерным элементом, точность которого может зависеть, например, от типа материала исходной заготовки. Следо-



вательно, отсутствует необходимость ввода дополнительных обозначений типа рабочего элемента, так как остается единственный вариант его реализации в форме шпинделя.

Выбор компоновки станка для субтрактивной обработки с нанометровой точностью является сложной задачей. Крайне трудно осуществить выбор рациональной компоновки, т.к. у каждого варианта есть свои достоинства и недостатки. В исследовании нами предлагается использование методов принятия решений, предполагающих использование методов экспертного оценивания, в силу того, что решаемая нами задача является слабо структурируемой и многокритериальной. Критерии для выбора наилучшего решения, как правило, имеют отношение к разным областям знаний и необходимо привлечение к опросу соответствующих экспертов.

Определим множество возможных движений элементов трехпозиционного станка относительно обцепринятой трехмерной системы координат:

X - движение шпинделя вдоль оси X ;

Y - движение шпинделя вдоль оси Y ;

Z - движение шпинделя вдоль оси Z .

При этом необходимо учесть, что шпиндель станка может производить вращательное движение, обозначенное через C . Таким образом, мы имеем множество вариантов движения шпинделя $МДШ = \{X, Y, Z, C\}$.

Известно, что станок для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов будет состоять из двух основных элементов (станина и непосредственно рабочий элемент, осуществляющий обработку). Следовательно, движение может осуществлять либо станина станка, либо рабочий элемент.

Необходимо ввести дополнительные обозначения вариантов движения различных элементов станка. Для обозначения движения рабочего элемента воспользуемся обозначениями движения, введенными ранее. Движение станины обозначим следующим образом:

\bar{X} - движение станины вдоль оси X ;

\bar{Y} - движение станины вдоль оси Y ;

\bar{Z} - движение станины вдоль оси Z ;

\bar{C} - вращательное движение станины.

Таким образом, мы получаем множество вариантов движения станины $МДС = \{\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{C}\}$.

Исходя из множеств $МДШ$ и $МДС$, выразим множество возможных перемещений элементов станка $МПЭС$, на основании которых формируются варианты компоновки станка:

$$МПЭС = МДШ \cup МДС = \{X, Y, Z, C, \bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{C}\}$$

С целью выбора варианта схемы компоновки станка для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов необходимо рассчитать теоретически возможные варианты базовой компоновки станка. Далее проводится оптимизация количества вариантов схем компоновки до приемлемого числа, которое будет оцениваться экспертами посредством системы поддержки принятия решений.

Рассчитаем число размещений без повторов $A_{|МПЭС|}^4$. При этом количество возможных вариантов движений, соответствующим различным элементам станка равно $|МПЭС| = 8$. Число позиций, которые мы выбираем, принимаем равным 4 (число введенных координат).

$$A_8^4 = \frac{8!}{(8-4)!} = 1680$$

Полученное число вариантов представляет собой общее число возможных вариантов перемещений. При этом возможны варианты, когда вдоль одной и той же оси может перемещаться и шпиндель, и станина. В подобной ситуации учтены варианты компоновки, в которых не применяется перемещение вдоль одной или двух координат.

Анализ предметной области и вариантов построения станка субтрактивной обработки с нанометровой точностью позволил определить достаточно большое число способов построения, но с учетом тематики исследования можно сузить область поиска наилучшей компоновки.

При выборе варианта компоновки станка необходимо учесть тот факт, что каждый вариант движения может выполняться только одним элементом станка (станина либо шпиндель).

Так как в нашем случае речь идет о станке, в котором могут быть подвижны только 2 элемента, воспользуемся иным способом выявления возможных вариантов перемещений. Введем следующие обозначения:

1 – движение вдоль выбранной оси осуществляет шпиндель;

0 – движение вдоль выбранной оси осуществляет станина.

После исключения нереализуемых технически и заведомо проигрышных схем исполнения сформируем таблицу вариантов компоновки станка в зависимости координат перемещения (таблица).

Таблица
Table

Возможные варианты схем компоновки станка
Possible options for machine layout schemes

№ варианта	Координата перемещения				Описание варианта компоновки в принятых обозначениях
	Ось X	Ось Y	Ось Z	Вращение C	
1	0	0	0	0	$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{C}$
2	0	0	0	1	$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, C$
3	0	0	1	0	$\bar{X}, \bar{Y}, Z, \bar{C}$
4	0	0	1	1	\bar{X}, \bar{Y}, Z, C
5	0	1	0	0	$\bar{X}, Y, \bar{Z}, \bar{C}$
6	0	1	0	1	\bar{X}, Y, \bar{Z}, C
7	0	1	1	0	\bar{X}, Y, Z, \bar{C}
8	0	1	1	1	\bar{X}, Y, Z, C
9	1	0	0	0	$X, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{C}$
10	1	0	0	1	X, \bar{Y}, \bar{Z}, C
11	1	0	1	0	X, \bar{Y}, Z, \bar{C}
12	1	0	1	1	X, \bar{Y}, Z, C
13	1	1	0	0	X, Y, \bar{Z}, \bar{C}
14	1	1	0	1	X, Y, \bar{Z}, C
15	1	1	1	0	X, Y, Z, \bar{C}
16	1	1	1	1	X, Y, Z, C

Использование системы поддержки принятия решений для выбора наилучшего варианта компоновки приведет к формированию матрицы парных сравнений размерности 16x16. Заполнение матрицы данного размера может привести к осложнению работы с ней экспертов в связи с трудоемкостью процесса заполнения матрицы. Следовательно, не смотря на то, что число возможных вариантов компоновки схем исполнения станка сократилось в 10 раз, необходимо провести дополнительное экспертное оценивание с целью сокращения вариантов схем исполнения станка. На основании таблицы 1, после дополнительного экспертного оценивания определены наиболее рациональные варианты компоновки станка:

1. $XYZC$
2. $XY\bar{Z}C$
3. $X\bar{Y}ZC$
4. $X\bar{Y}\bar{Z}C$
5. $\bar{X}YZC$

6. \overline{XYZC}
7. $\overline{XY\bar{Z}C}$
8. $\overline{XY\bar{Z}C}$

В частности, альтернатива \overline{XYZC} означает следующую схему компоновки: перемещение шпинделя по координатам X, Y, станины по координате Z, и C -вращение шпинделя. Как видно, все компоновки позволяют проводить размерную субтрактивную обработку, что является существенной особенностью рассматриваемого типа станков.

После проведения исследования были предложены критерии для определения наилучшей с точки зрения эксперта компоновки. В качестве метода принятия решения был выбран метод анализа иерархий (МАИ) в форме Саати [8], дающий возможность провести ранжирование критериев и определить их важность для конкретного эксперта.

При использовании МАИ строится иерархия принятия решения, где выделяются цель, критерии и альтернативы [9, 10]. Иерархия с предложенными нами критериями при выборе компоновки станка субтрактивной обработки с нанометровой точностью представлена на рисунке 1.

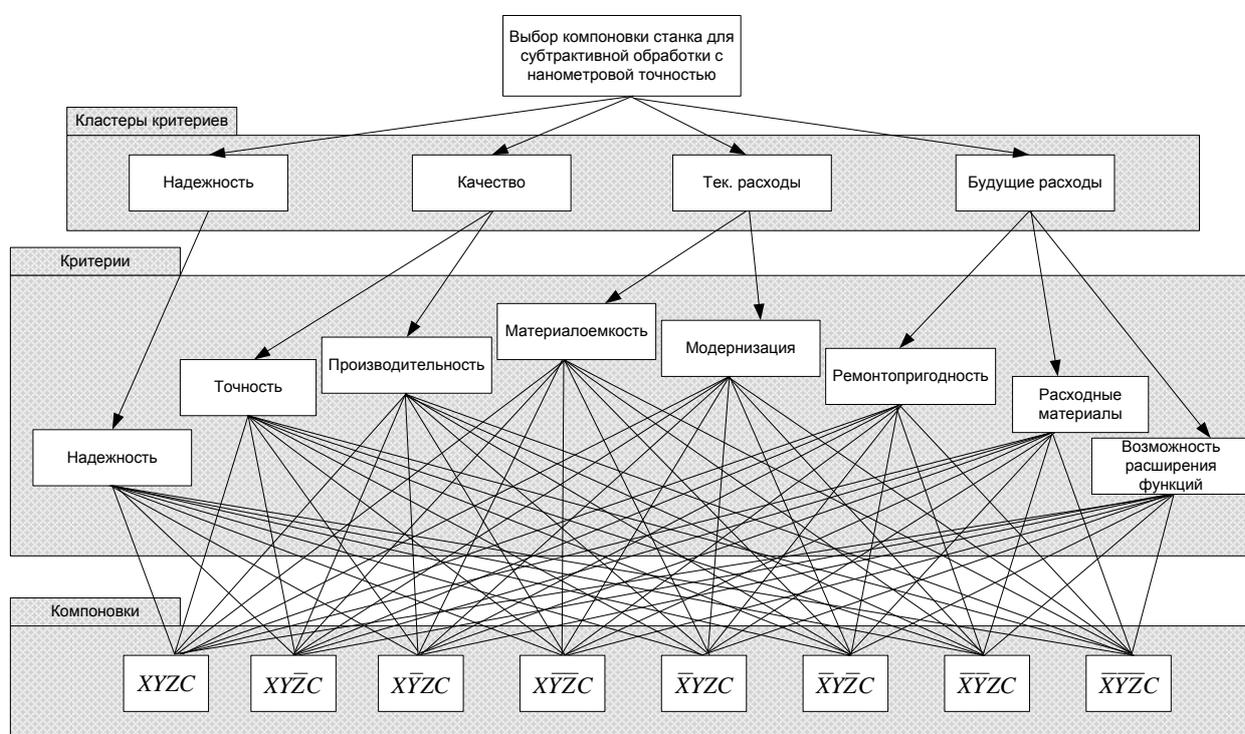


Рис. 1. Иерархия выбора компоновки станка для субтрактивной обработки
Fig. 1. Hierarchy for the subtractive processing machine layout selecting

Все критерии были разбиты на 4 кластера: надежность, качество, текущие расходы и будущие расходы. В кластере надежность присутствует только один критерий надежность, и при оценке экспертом альтернатив здесь производится их качественное сравнение. При этом эксперт учитывает показатели надежности, составляющие представления о данном параметре, исходя из личного опыта.

Кластер «Качество» состоит из таких критериев как точность обработки и производительность станка. Данные показатели являются основными характеристиками станка.

Кластер «Текущие расходы» состоит из критериев материалоемкость и затрат на модернизацию. Материалоемкость показывает затраты на материалы при создании станка, а затраты на модернизацию показывают сколько ресурсов необходимо привлечь, чтобы осуществить модернизацию существующего оборудования.

Кластер «Будущие расходы» состоит из 3 критериев и касается затрат, возникающих при эксплуатации станка. В него входят: ремонтпригодность, затраты на материалы, возможность расширения функционала станка.

Для формирования и обработки результатов экспертного оценивания была использована система поддержки принятия решений «Решение» [11,12], в которой создана разработанная иерархия (рисунок 2) для проведения экспертных опросов.

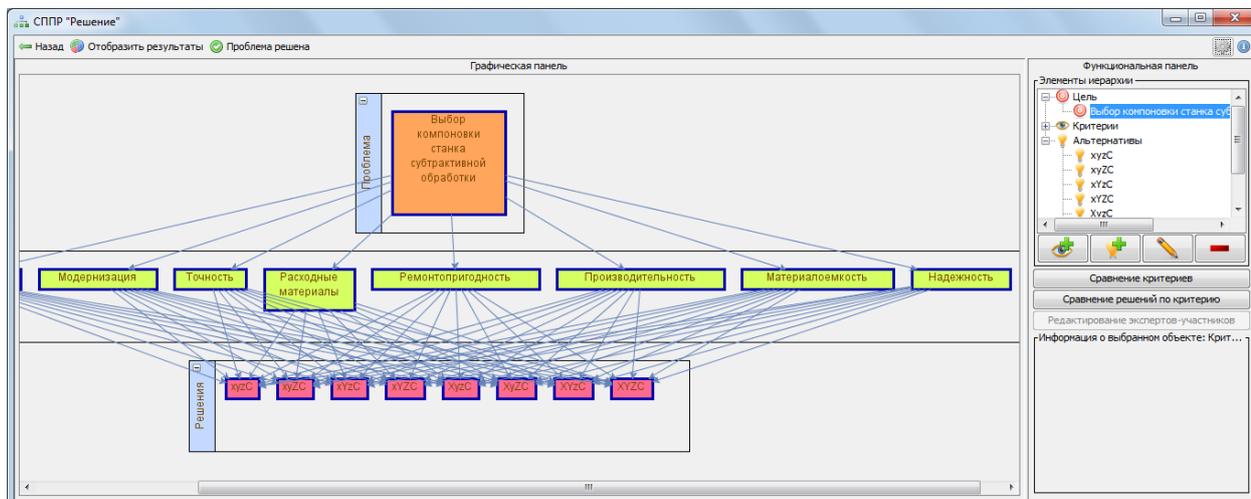


Рис. 2. Главное окно с разработанной иерархией для выбора компоновки станка субтрактивной обработки
Fig. 2. The main window representing the developed hierarchy for subtractive processing machine layout selecting

Экспертами определены весомости критериев (рисунок 3).

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	Приоритеты
1. Масштабируемость	1	1/2	1/9	1/2	1/2	1/3	1	1/5	0,036
2. Модернизация	2	1	1/8	1/2	1/2	1/2	2	1/4	0,052
3. Точность	9	8	1	5	5	7	9	3	0,428
4. Расходные материалы	2	2	1/5	1	1	1/2	2	1/3	0,074
5. Ремонтопригодность	2	2	1/5	1	1	1/2	2	1/3	0,074
6. Производительность	3	2	1/7	2	2	1	3	1/2	0,107
7. Материалоемкость	1	1/2	1/9	1/2	1/2	1/3	1	1/5	0,036
8. Надежность	5	4	1/3	3	3	2	5	1	0,194

СЗ: 8,220 ИС: 0,031 ОС: 0,022 F: 0,024

* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.
* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Рис. 3. Парное сравнение критериев
Fig. 3. Pairwise comparison of criteria

Как видно, наиболее важными критериями являются точность, надежность и производительность, т.к. эксперта в меньшей степени интересуют затраты на станок, важнее для него получение точно обработанные детали с наибольшей производительностью. Далее произведены парные сравнения альтернатив по предложенным критериям и определена наилучшая схема компоновки (рисунок 4).

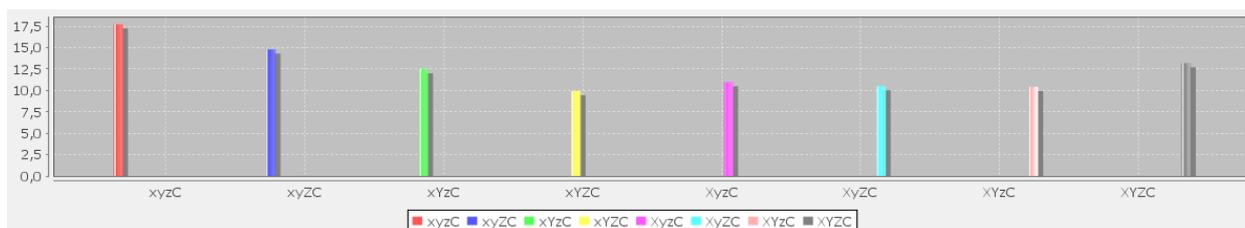


Рис. 4. Выбор рациональной схемы компоновки станка для субтрактивной обработки
Fig. 4. The rational scheme selection for the subtractive processing machine layout

Таким образом, проведен выбор структурно-компоновочной схемы оборудования для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов, в результате которого получены следующие результаты:

- систематизированы варианты перемещений элементов станка в трехмерном пространстве с возможностью вращения рабочего элемента;
- выявлены возможные варианты схем компоновки станка;
- определены наиболее приоритетные альтернативы компоновочных схем станка на основании возможных вариантов схем компоновки;
- систематизированы в форме кластеров критерии для определения наилучшей с точки зрения эксперта компоновки;
- построена иерархия принятия решений на основании МАИ, дающая возможность выбрать рациональную компоновочную схему;
- по результатам экспертного оценивания выявлено, что наиболее рациональной структурно-компоновочной схемой станка для субтрактивной обработки многослойных гетерогенных структур с нанометровой точностью позиционирования исполнительных механизмов является схема с формулой XYZC.

Список литературы References

1. Бардин, В.А. Актюаторы нано- и микроперемещений для систем управления, контроля и безопасности [Текст] / В. А. Васильев, В. А. Бардин // Современная техника и технологии. – 2014. – № 2.
Bardin, V.A. Aktjuatory nano- i mikroperemeshhenij dlja sistem upravlenija, kontrolja i bezopasnosti [Tekst] / V. A. Vasil'ev, V. A. Bardin // Sovremennaja tehnika i tehnologii. – 2014. – № 2.
2. Ивашов, Е.Н. Трехкоординатный пьезопривод для сканирующей туннельной микроскопии [Текст] / Е.Н. Ивашов, К.Д. Федотов // Информационные материалы в науке и производстве (ИТНП-2013): Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 5–6 июня 2013 г. Самар. гос. техн. ун-т.– Самара, 2013. – С.3–6.
Ivashov, E.N. Trehkoordinatnyj p'ezoprivod dlja skanirujushhej tunnel'noj mikroskopii [Tekst] / E.N. Ivashov, K.D. Fedotov // Informacionnye materialy v nauke i proizvodstve (ITNP-2013): Materialy Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. 5–6 ijunya 2013 g. Samar. gos. tehn. un-t.– Samara, 2013.–S.3-6.
3. Бобцов, А.А. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений [Текст] / А.А. Бобцов [и др.]; под. ред. А. А.Бобцова. – Санкт Петербург: ИТМО, 2011. – 131 с.
Bobcov, A.A. Ispolnitel'nye ustrojstva i sistemy dlja mikroperemeshhenij [Tekst] / A.A. Bobcov [i dr.]; pod. red. A. A.Bobcova. – Sankt Peterburg: ITMO, 2011. – 131 s.
4. Панич, А.Е. Пьезокерамические актюаторы [Текст] / А. Е. Панич.- Ростов на Дону: РГУ, 2008. – 159 с.
Panich, A.E. P'ezokeramicheskie aktjuatory [Tekst] / A. E. Panich.- Rostov na Donu: RGU, 2008. – 159 s.
5. Бушуев, В.В. Металлорежущие станки. Том 1. [Текст] / В.В. Бушуев и др. – М.: Машиностроение, 2011. – 608 с.
Bushuev, V.V. Metallorzhushhie stanki. Tom 1. [Tekst] / V.V. Bushuev i dr. – M.: Mashinostroenie, 2011. – 608 s.
6. Мазеин, П.Г. Станки с компьютерным управлением: учебное пособие [Текст] / П.Г. Мазеин, С.С. Панов, С.В. Шереметьев и др. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – Ч.2. – 88 с.
Mazein, P.G. Stanki s komp'juternym upravleniem: uchebnoe posobie [Tekst] / P.G. Mazein, S.S. Panov, S.V. Sheremet'ev i dr. – Cheljabinsk: JuUrGU, 2006. – Ch.2. – 88 s.
7. Афонин, А.Н. Автоматизация диагностирования и прогнозирования состояния металлорежущих станков на промышленных предприятиях [Текст] / О.В. Аникеева, А.Н. Афонин, А.Г. Ивахненко // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1 (40). Ч. 1. – С. 103-107.
Afonin, A.N. Avtomatizacija diagnostirovanija i prognozirovaniya sostojanija metallorzhushhih stankov na promyshlennyh predpriyatijah [Tekst] / O.V. Anikeeva, A.N. Afonin, A.G. Ivahnenko // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 1 (40). Ch. 1. – S. 103-107.
8. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – Москва: Радио и связь, 1993.– 278 с.



Saati, T. Prinjatje reshenij. Metod analiza ierarhij [Tekst] / T. Saati. – Moskva: Radio i svjaz', 1993. – 278 s.

9. Ломакин, В.В. Комплекс критериев и алгоритмическое обеспечение процесса принятия решений при создании систем управления наружным освещением [Текст] / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко, Р.Г. Асадуллаев // Фундаментальные исследования: научный журнал. – Москва: Российская академия естествознания - 2014. - №11(11). – С. 2370-2374

Lomakin, V.V. Kompleks kriteriev i algoritmicheskoe obespechenie processa prinjatija reshenij pri sozdanii sistem upravlenija naruzhnym osveshheniem [Tekst] / V.V. Lomakin, M.V. Lifirenko, R.G. Asadullaev // Fundamental'nye issledovaniya: nauchnyj zhurnal. – Moskva: Rossijskaja akademija estestvoznaniya - 2014. - №11(11). – S. 2370-2374

10. Ломакин, В.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов [Текст] / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко // Фундаментальные исследования. – 2013. – №11. – С.1798-1803.

Lomakin, V.V. Algoritm povyshenija stepeni soglasovannosti matricy parnyh sravnenij pri provedenii jekspertnyh oprosov [Tekst] / V.V. Lomakin, M.V. Lifirenko // Fundamental'nye issledovaniya. – 2013. – №11. – S.1798-1803.

11. Лифиренко, М.В. Система поддержки принятия управленческих решений на основе усовершенствованного аналитико-иерархического процесса / М.В. Лифиренко, В.В. Ломакин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013616249 от 02.07.2013г.

Lifirenko, M.V. Sistema podderzhki prinjatija upravlencheskih reshenij na osnove usovershenstvovannogo analitiko-ierarhicheskogo processa / M.V. Lifirenko, V.V. Lomakin // Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM №2013616249 ot 02.07.2013g.

12. Ломакин, В.В. Система поддержки принятия решений с автоматизированными средствами корректировки суждений экспертов [Текст] / В.В. Ломакин, М.В. Лифиренко // Научные ведомости Белгородского государственного университета: научный журнал. – Белгород: Издательский дом «Белгород». - 2014. - №1(172) выпуск 29/1. – С. 114–120.

Lomakin, V.V. Sistema podderzhki prinjatija reshenij s avtomatizirovannymi sredstvami korrekcirovki suzhenij jekspertov [Tekst] / V.V. Lomakin, M.V. Lifirenko // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta: nauchnyj zhurnal. – Belgorod: Izdatel'skij dom «Belgorod». - 2014. - №1(172) vypusk 29/1. – S. 114–120.

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.396.9

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОСТАВКИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ PROBABILITY-TIME CHARACTERISTICS ESTIMATES OF DATA DELIVERY IN THE WIRELESS AD HOC NETWORK

К.А. Польщикова
К.А. Polshchikova

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia*

e-mail: polshchikova@bsu.edu.ru

Аннотация. В статье предложена аналитическая модель для оценки вероятностно-временных характеристик доставки данных в беспроводной самоорганизующейся сети. Для построения модели использован математический аппарат вероятностно-временных графов и производящих функций. В модели учитывается влияние мобильности абонентов и возможных деструктивных факторов на время и вероятность доставки сообщений.

Resume. The article offers an analytical model for assessing the probability-time characteristics of data delivery in the wireless ad hoc network. To construct a model of the mathematical apparatus of probability-time graphs and generating functions. The model takes into account the impact of mobile subscribers and potential destructive factors on the time and the probability of message delivery.

Ключевые слова: беспроводная самоорганизующаяся сеть, доставка данных, вероятностно-временной граф, виртуальное соединение.

Keywords: wireless ad hoc network, data delivery, probability-time graph, virtual connection.

Введение

Создание беспроводных самоорганизующихся сетей на современном этапе развития телекоммуникационной отрасли является перспективным научно-техническим направлением. Применение с этой целью известной технологии MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) позволяет передавать информацию в условиях динамически изменяющейся топологии, обеспечивает высокую живучесть и быстрое развертывание сети [1]. Для повышения эффективности доставки данных в беспроводной самоорганизующейся сети (БСС) используется режим виртуальных соединений, включающий три основных этапа:

- 1) установление виртуального соединения между узлом-источником сообщения и узлом-получателем;
- 2) передача пакетов данных от узла-источника к узлу-получателю и квитанций в обратном направлении;
- 3) закрытие виртуального соединения между узлом-источником и узлом-получателем.

Быстрое изменение сетевой топологии приводит к преждевременным разрывам физических и виртуальных соединений, что существенно замедляет доставку данных [2]. Преждевременные разрывы виртуальных соединений возникают в БСС благодаря мобильности сетевых узлов, внешних деструктивных воздействий и других факторов (перегрузок, помех и т.д.) [3; 4].

Статья посвящена решению актуальной задачи, состоящей в разработке аналитической модели для оценки вероятностно-временных характеристик в БСС. Попытки решения подобной задачи представлены в работе [5], в которой предложены модели для расчета среднего времени доставки сообщения в беспроводной телекоммуникационной сети. Однако эти модели имеют существенные ограничения, т.к. не учитывают возможности перемещения и уничтожения узлов сети.

Постановка задачи

Рассматриваемую научно-техническую задачу можно представить в следующем формализованном виде.

Задано:

- 1) t_{II} – среднее время передачи потока данных в процессе доставки сообщения;
- 2) t_Y – среднее время установления виртуального соединения;
- 3) t_{IIY} – среднее время, требуемое для повторного установления виртуального соединения;
- 4) t_3 – среднее время закрытия виртуального соединения;
- 5) λ_1 – интенсивность разрывов виртуальных соединений, обусловленных мобильностью абонентов;
- 6) λ_2 – интенсивность разрывов виртуальных соединений, происходящих вследствие влияния деструктивных факторов;
- 7) λ_3 – интенсивность разрывов виртуальных соединений, связанных с влиянием других факторов;
- 8) n – разрешенное количество повторно устанавливаемых виртуальных соединений в процессе доставки сообщения.

Требуется: получить в аналитическом виде выражения для расчета величины T_D (среднего времени доставки сообщения в БСС) и величины P_D (вероятности доставки сообщения в БСС).

Допущение: зависимость вероятности преждевременного разрыва виртуального соединения от времени подчинена экспоненциальному закону.

Разработка модели

На основе сделанного допущения вероятность разрыва виртуального соединения в течение интервала времени τ может быть вычислена по формуле:

$$p = 1 - \exp[-\tau(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)]. \quad (1)$$

Для определения интервала времени τ можно использовать выражение:

$$\tau = \frac{t_{II}}{m}, \quad (2)$$

где величина m соответствует количеству одинаковых по продолжительности интервалов времени, на которые в ходе моделирования разбивается процесс передачи сообщения. Чем выше величина m , тем большее число состояний исследуемого процесса учитывается в процессе моделирования и, следовательно, точнее определяются его характеристики.

Процесс доставки сообщения в БСС при $m = 2$ и $n = 2$ можно представить в виде вероятностно-временного графа (ВВГ), изображенного на рис. 1.

Началу доставки сообщения по сети от узла-источника к узлу-адресату соответствует вершина «Н». В течение среднего времени t_Y осуществляется установление виртуального соединения. Состояние, в котором виртуальное соединение установлено в первый раз, соответствует вершине «У». Переход от вершины «Н» к вершине «У» моделируется функцией соответствующего ребра графа:

$$f_Y(z) = z^{t_Y}. \quad (3)$$

где z – параметр функции ребра.

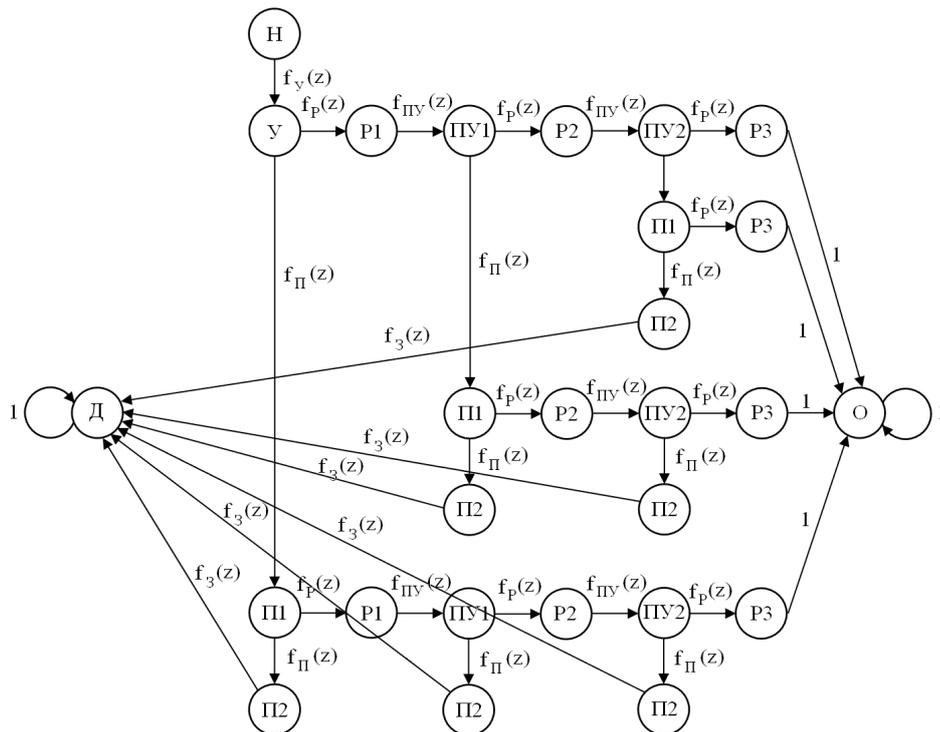


Рис. 1. ВВГ доставки данных в БСС при $m = 2$ и $n = 2$
 Fig. 1. Graph of data delivery in the wireless ad hoc network ($m = 2$ and $n = 2$)

Переход из вершины «У» в вершину «P1» моделирует событие, состоящее в преждевременном разрыве виртуального соединения в течение интервала времени длительностью τ . Указанному переходу соответствует следующая функция:

$$f_p(z) = pz^\tau. \tag{4}$$

Переход из вершины «У» в вершину «П1» соответствует передаче потока данных без преждевременного разрыва виртуального соединения в течение первого интервала времени длительностью τ и моделируется функцией:

$$f_{\Pi}(z) = (1 - p)z^\tau. \tag{5}$$

После первого преждевременного разрыва виртуальное соединение в течение среднего времени $t_{\Pi V}$ устанавливается повторно, что соответствует переходу из вершины «P1» в вершину «ПУ1» и моделируется следующей функцией:

$$f_{\Pi V}(z) = z^{t_{\Pi V}}. \tag{6}$$

- Остальные вершины ВВГ соответствуют следующим состояниям анализируемого процесса:
- вершина «P2» – произошел преждевременный разрыв виртуального соединения во второй раз;
 - вершина «P3» – произошел преждевременный разрыв виртуального соединения в третий раз;
 - вершина «ПУ2» – виртуальное соединение установлено повторно во второй раз;
 - вершина «П2» – в течение второго интервала времени длительностью τ поток данных передавался без преждевременного разрыва виртуального соединения;
 - вершина «О» – повторное установление виртуального соединения недопустимо, доставка сообщения прервана;
 - вершина «Д» – виртуальное соединение закрыто, доставка сообщения успешно завершена.

Все переходы в вершины «P1», «P2» и «P3» моделируются функцией $f_p(z)$, в вершины «ПУ1» и «ПУ2» – функцией $f_{\Pi V}(z)$, а в вершины «П1» и «П2» – функцией $f_{\Pi}(z)$.

Каждому переходу из вершины «П2» в вершину «Д» соответствует функция:

$$f_3(z) = z^{t_3}. \tag{7}$$

С помощью эквивалентных преобразований [6–8] анализируемый ВВГ может быть преобразован к виду, изображенному на рис. 2.

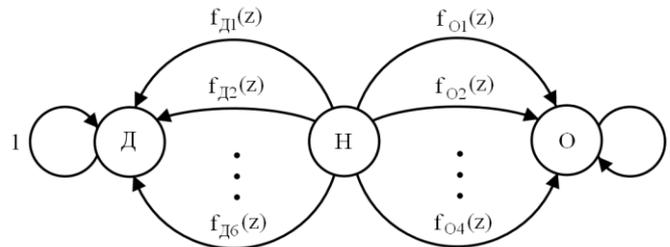


Рис. 2. ВВГ в преобразованном виде
Fig. 2. Graph with a transformed view

Для оценки величин T_D и P_D необходимо учесть функции всех переходов из вершины «Н» в вершину «Д» (рис. 2):

$$f_{Д1}(z) = f_Y(z) f_{H^2}(z) f_3(z); \tag{8}$$

$$f_{Д2}(z) = f_Y(z) f_{H^2}(z) f_P(z) f_{HY}(z) f_3(z); \tag{9}$$

$$f_{Д3}(z) = f_Y(z) f_{H^2}(z) f_P^2(z) f_{HY}^2(z) f_3(z); \tag{10}$$

$$f_{Д4}(z) = f_Y(z) f_{H^2}(z) f_P(z) f_{HY}(z) f_3(z); \tag{11}$$

$$f_{Д5}(z) = f_Y(z) f_{H^2}(z) f_P^2(z) f_{HY}^2(z) f_3(z); \tag{12}$$

$$f_{Д6}(z) = f_Y(z) f_{H^2}(z) f_P^2(z) f_{HY}^2(z) f_3(z). \tag{13}$$

Осуществление окончательных преобразований позволяет представить анализируемый ВВГ в виде, изображенном на рис. 3.

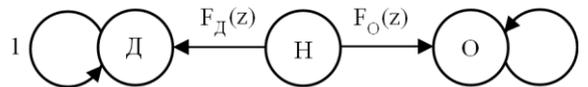


Рис. 3. ВВГ после окончательных преобразований
Fig. 3. Graph after the final transformation

Производящая функция, моделирующая переход из вершины «Н» в вершину «Д» (рис. 3) имеет следующий вид:

$$F_D(z) = f_Y(z) f_3(z) f_{H^2}(z) (1 + 2f_P(z) f_{HY}(z) + 3f_P^2(z) f_{HY}^2(z)). \tag{14}$$

Среднее время доставки сообщения в БСС может быть найдено с помощью выражения:

$$T_D = \left. \frac{dF_D(z)}{dz} \right|_{z=1}. \tag{15}$$

Для оценки вероятности доставки сообщения в БСС следует использовать формулу:

$$T_D = F_D(z) \Big|_{z=1}. \tag{16}$$

Заключение

Таким образом, на основе применения математического аппарата вероятностно-временных графов и производящих функций разработана аналитическая модель доставки данных в БСС. Новизна предложенной модели состоит в учете влияния мобильности абонентов и возможных деструктивных воздействий на вероятностно-временные характеристики моделируемого процесса. Применение полученных аналитических выражений позволяет оценить вероятность и среднее время доставки сообщения в БСС.

Список литературы References

1. Бунин С. Г. Самоорганизующиеся сети со сверхширокополосными сигналами / С. Г. Бунин, А. П. Войтер, М. Е. Ильченко, В. А. Романюк. – К.: Наукова думка, 2012. – 444 с.
Bunin S. G. Samoorganizujushhiesja seti so sverhshirokopolosnymi signalami / S. G. Bunin, A. P. Vojter, M. E. Il'chenko, V. A. Romanjuk. – K.: Naukova dumka, 2012. – 444 s.
2. Осипов Е. А. Проблема реализации надежной передачи данных в самоорганизующихся и сенсорных сетях / Е. А. Осипов // Электросвязь. – 2006. – № 6. – С. 29–33.
Osipov E. A. Problema realizacii nadezhnoj peredachi dannyh v samoorganizujushhihsja i sensor-nyh setjah / E. A. Osipov // Jelektrosvjaz'. – 2006. – № 6. – S. 29–33.
3. Polshchykov K. O. Synthesis of neuro-fuzzy systems of data flows intensity control in mobile ad-hoc network / K. O. Polshchykov // Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 23rd International Crimean Conference. – Sevastopol, 2013. – P. 517–518.
Polshchykov K. O. Synthesis of neuro-fuzzy systems of data flows intensity control in mobile ad-hoc network / K. O. Polshchykov // Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 23rd International Crimean Conference. – Sevastopol, 2013. – P. 517–518.
4. Польщикова К. А. Об управлении интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети специального назначения // Научные ведомости БелГУ. – 2014. – № 21 (192). – Вып. 32(1). – С. 196–201.
Pol'shnikov K. A. Ob upravlenii intensivnost'ju potokov dannyh v mobil'noj radioseti speci-al'nogo naznachenija // Nauchnye vedomosti BelGU. – 2014. – № 21 (192). – Vyp. 32(1). – S. 196–201.
5. Рвачева Н. В. Аналитическая модель процесса доставки информационного сообщения в беспроводной телекоммуникационной сети / Н. В. Рвачева // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2010. – Вып. 5 (46). – С. 270–276.
Rvacheva N. V. Analiticheskaja model' processa dostavki informacionnogo soobshhenija v bespro-vodnoj telekommunikacionnoj seti / N. V. Rvacheva // Radiojelektronnye i komp'juternye sistemy. – 2010. – Vyp. 5 (46). – S. 270–276.
6. Польщикова К. А., Здоренко Ю. Н., Сова О. Я. Математическая модель передачи мультимедийного сообщения в телекоммуникационной сети с коммутацией пакетов // Научные ведомости БелГУ. – 2014. – № 15 (186). – Вып. 31(1). – С. 176–184.
Pol'shnikov K. A., Zdorenko Ju. N., Sova O. Ja. Matematicheskaja model' peredachi mul'timedijno-go soobshhenija v telekommunikacionnoj seti s kommutaciej paketov // Nauchnye vedomosti BelGU. – 2014. – № 15 (186). – Vyp. 31(1). – S. 176–184.
7. Невмержицкий И. М. Методика оценки эффективности протокола транспортного уровня ТСР/IP / И. М. Невмержицкий, К. А. Польщикова, С. И. Шаповалов // Радиотехника. – 2001. – Вып. 121. – С. 203–205.
Nevmerzchickij I. M. Metodika ocenki jeffektivnosti protokola transportnogo urovnja TSR/IR / I. M. Nevmerzchickij, K. A. Pol'shnikov, S. I. Shapovalov // Radiotehnika. – 2001. – Vyp. 121. – S. 203–205.
8. Польщикова К. А., Кубракова Е. Н., Сокол Г. В. Математическая модель обслуживания запросов на резервирование пропускной способности каналов телекоммуникационной сети для передачи потоков реального времени // Проблемы телекоммуникаций. – 2014. – № 1 (13). – С. 74–83.
Pol'shnikov K. A., Kubrakova E. N., Sokol G. V. Matematicheskaja model' obsluzhivanija zaprosov na rezervirovanie propusknoj sposobnosti kanalov telekommunikacionnoj seti dlja peredachi potokov re-al'nogo vremeni // Problemy telekommunikacij. – 2014. – № 1 (13). – S. 74–83.



УДК 534.734

**О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ФОНЕМ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗВУКОВЫХ РЕДАКТОРОВ****ON IMPROVING THE ACCURACY OF SPECTRAL ANALYSIS
OF PHONEMES USING AUDIO EDITORS****И.А. Сидоренко, П.А. Кускова
I.A. Sidorenko, P.A. Kuskova***Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia**e-mail: Sidorenko@bsu.edu.ru*

Аннотация. В статье предложен способ повышения точности анализа формантной структуры звуков речи на основе формирования «идеализированных» фонем, полученных из квазистационарных фрагментов исходных фонем. Показано, что на основе предложенного подхода можно детализировать спектр любого фрагмента фонемы, как для вокализованных, так и не вокализованных звуков речи, а также любых стохастических сигналов при использовании стандартной процедуры быстрого преобразования Фурье в звуковых редакторах.

Resume. The article proposes a method to improve the accuracy of the analysis of the formant structure of speech sounds on the basis of the formation of the "idealized" phonemes obtained from quasi-stationary fragments of source phonemes. It is shown that the proposed approach can be further defined range of any fragment of phonemes for both vocalized and not vocalized speech sounds, as well as any stochastic signals using the standard procedure of the fast Fourier transform in audio editors.

Ключевые слова: имитационное моделирование, транспортный поток, технологический процесс, исчисление объектов, язык моделирования производственных процессов, системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект».

Keywords: фонема, форманта, звуковой редактор, быстрое преобразование Фурье.

Введение

Самым естественным и востребованным средством общения между людьми была и остается речь, поэтому интерес к разработке технологий обработки речевых сигналов остается в центре внимания специалистов в области инфокоммуникационных систем. Об этом свидетельствует наличие научных публикаций на эту тему, например [1-5]. Сама речь по своей природе является уникальным сигналом, а сущность процесса речевого общения людей так до конца и не раскрыта. Именно поэтому в основе технологий применяемых для разработки инфокоммуникационных систем используются различные подходы, в том числе основанные на анализе фонемной и формантной структур речи [2, 3]. При подготовке специалистов в области речевых инфокоммуникационных технологий полезно продемонстрировать фонемную и формантную структуры речи. Для этих целей логично было бы применить звуковые редакторы, позволяющие в реальном масштабе времени производить анализ и обработку звуковых сигналов. Однако, попытка их применения для спектрального анализа звуков речи не увенчалась успехом [1].

В статье [1] были рассмотрены причины, не позволившие продемонстрировать формантную структуру звуков русской речи при использовании звуковых редакторов Adobe Audition®, Sound Forge®, Audacity® и им подобным. Для спектрального анализа звуков в указанных редакторах применяется стандартная процедура быстрого преобразования Фурье (БПФ), которая предусматривает разбиение исследуемого звукового сигнала на сегменты заданной размерности отсчетов N , причём кратной целой степени числа 2, т.е. $N=2^n$. Как правило, в звуковых редакторах могут задаваться значения $n \geq 6$, что позволяет формировать сегменты звуков речи из 64, 128, ... , 1024 и т.д. отсчетов. Это ограничение на размер сегмента приводит к невозможности точного согласования размера выборки с длительностью отдельных звуков речи, которая в общем случае является случайной величиной. В результате спектральному анализу подвергаются некие сегменты звуков, размер которых меньше, либо (чаще всего) больше длительности реальных фонем.

Кроме этого, в [1] было показано, что сегменты звуков речи подвергаются дополнительным искажениям, возникающим в результате применения оконных функций, необходимых для устранения эффекта Гиббса. Эти искажения можно было бы существенным образом ослабить, увеличив размер выборки N таким образом, чтобы она заключала в себе большое число периодов исследуе-

мой фонемы. Однако это редко оказывается возможным по двум причинам. Во-первых, невокализованные звуки речи (краткие согласные «н», «к» и т.п.) имеют малую длительность, поэтому выделить сегмент звука, содержащий несколько одинаковых фонем практически невозможно. Во-вторых, даже у вокализованных звуков речи на различных участках их звучания форма фонемы претерпевает существенные изменения, которые всегда сопровождаются перераспределением энергии в спектральной области. Кроме этого, дополнительный интерес представляет анализ изменения формантной структуры фонемы на различных участках её существования: атаке, стационарной части, затухания. Попытки улучшить ситуацию варьированием размером выборки N , повышением частоты дискретизации звуковых сигналов, применением различных оконных функций не привели к положительным результатам. Поэтому в статье [1] был сделан вывод о том, что использование в учебном процессе звуковых редакторов для демонстрации формантной структуры фонем речи невозможно, поскольку вычисляемые ими спектры не отражают известных результатов. Для решения этой задачи следует использовать программное обеспечение, предоставляющее пользователю полную свободу в выборе параметров размера выборки анализируемого фрагмента и вычисляющего спектр по алгоритмам, не предусматривающим обязательную кратность размера окна БПФ степени числа 2. Такие условия могут быть реализованы, например, в программе MATLAB®, дающей возможность произвольного задания параметров дискретного преобразования Фурье.

Целью статьи является изложение способа повышения точности отображения формантной структуры звуков речи, при использовании стандартной процедуры вычисления спектра на основе БПФ, применяемой в звуковых редакторах.

Постановка задачи

Для проведения исследований была использована прикладная программа MATLAB®, в которой реализованы все доступные алгоритмы вычисления спектра сигналов.

Прежде всего, нужно было решить вопрос с выбором критерия для оценки точности вычисления спектра. Известно [6], что при спектральном анализе детерминированных сигналов можно аналитически рассчитать точные значения коэффициентов ряда Фурье, которые следует использовать в качестве эталонных величин при анализе результатов вычисления спектра таких сигналов различными способами. Фонемы же не являются детерминированными сигналами, поскольку не обладают устойчивой формой, которая всегда изменяется в зависимости от места звука в слове, особенностей голоса говорящего и ряда других факторов. В этом смысле фонеме часто сравнивают с буквами, написанными людьми с разным почерком. Следовательно, спектр каждой фонемы является уникальным и не предсказуемым. Усреднённые оценки спектра возможны и широко используются при разработке инфокоммуникационных технологий и устройств обработки речи. Однако в ряде случаев практический интерес представляет именно точная оценка формантной структуры звуков речи. Например, при решении задачи идентификации голоса диктора важно знать именно уникальные, присущие конкретному человеку особенности произношения звуков или даже отдельных их частей. Именно такую цель, - сохранение уникальных спектральных параметров исследуемых звуков речи и ставили перед собой авторы данной статьи. Учитывая изложенное, было принято решение осуществлять оценку точности вычисления спектра следующим образом: выбрать один из алгоритмов вычисления спектра в качестве эталонного, определив предварительно условия его применения, а затем сравнивать полученные с его помощью контрольные результаты со значениями, полученными при использовании других алгоритмов.

В статье [1] было сделано предположение о том, что искажения спектра исследуемых звуков речи обусловлено применением алгоритма БПФ, а именно: не возможностью согласовать размер анализируемой выборки с длительностью исследуемой фонемы и последующим применением оконных функций для устранения эффекта Гиббса. Следовательно, алгоритм БПФ не может быть выбран в качестве эталонного, а, наоборот, полученные с его помощью результаты должны сравниваться с контрольными значениями, полученными с помощью алгоритма, выбранного эталонным. Дальнейший ход рассуждений состоял в следующем: для устранения искажений, вызванных эффектом Гиббса, следует избавиться у исследуемых сегментов звука от точек разрыва первого рода, т.е. скачков напряжения сигнала на границах сегмента. Тогда не потребуются применение оконных функций, искажающих форму анализируемого сегмента. Достичь желаемого результата можно в том случае, если сегментирование звука выполнять в ручную, выделяя начало и конец исследуемой фонемы в моменты времени перехода графика уровнеграммы через ноль. У такого способа сегментирования есть и ещё одно преимущество: можно проводить исследование спектральной структуры звука на любом отрезке его существования - атаке, стационарной части или затухания. Очевидно, что размер полученной таким образом выборки сигнала не будет характеризоваться числом, кратным степени двойки, поэтому применение стандартного для звуковых ре-

дакторов алгоритма БПФ не возможно. В этом случае спектр может быть вычислен по формуле дискретного преобразования Фурье:

$$F(k) = \sqrt{\left(\sum_{i=0}^{N-1} x[i] \cos(2\pi ki/N)\right)^2 + \left(-\sum_{i=0}^{N-1} x[i] \sin(2\pi ki/N)\right)^2} \quad (1)$$

Результаты расчета по формуле (1) и следует использовать в качестве контрольных, а сам метод вычисления ДПФ считать эталонным.

Результаты вычислительных экспериментов

Для проведения вычислительных экспериментов были использованы звуковой редактор Adobe Audition® и программа MATLAB®, в которой спектр вычислялся двумя способами: с помощью встроенной функции `fft(.)`, реализующей алгоритм БПФ с прямоугольным окном; с помощью написанной программы, реализующей вычисление ДПФ по формуле(1).

На рис.1 представлены выделенная указанным выше способом фонема звука «и» с частотой дискретизации $F_d=8$ кГц (а) и результаты её спектрального анализа методом БПФ с использованием окна Хэннинга, $N=64$ в редакторе Adobe Audition® (б), вычисленные в программе MATLAB® с помощью встроенной функции БПФ, $N=64$ (в) и с помощью полной формулы ДПФ (г).

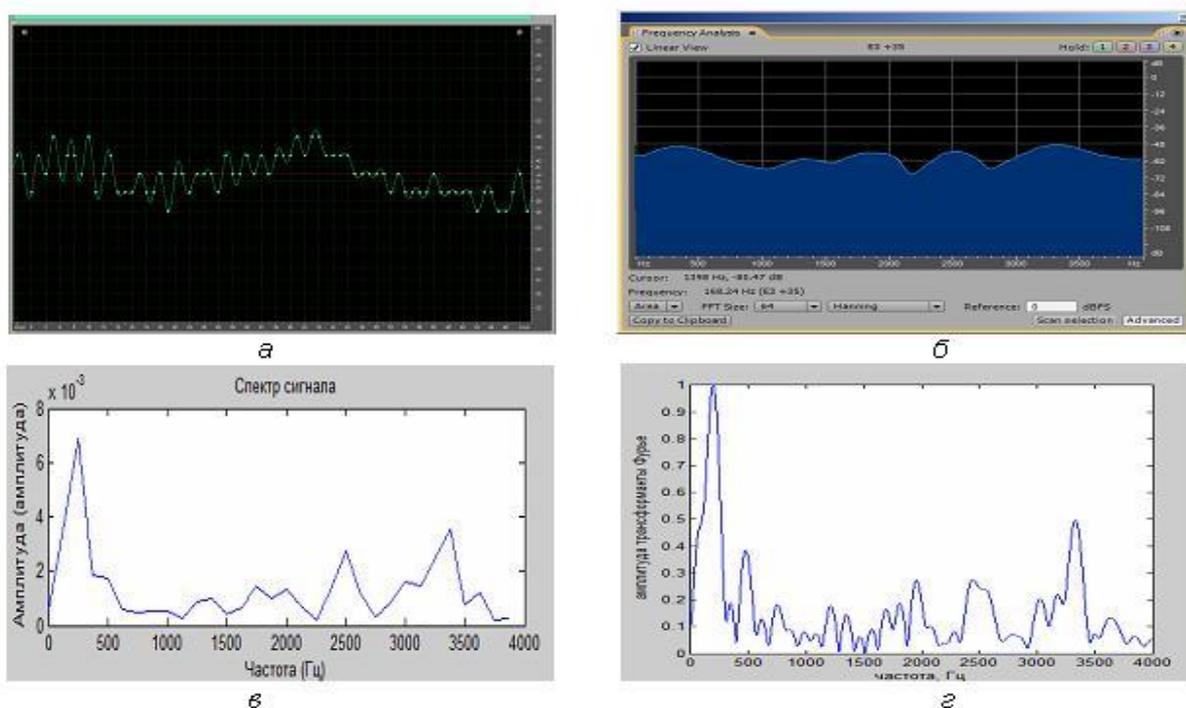


Рис.1. Уровнеграмма и вычисленные спектры фонемы звука «и»

Fig.1. Signalosome and calculated spectra phonemes sound "i"

Сравнение спектров на рисунке 1,а,б,в, показывает их существенное различие. На рисунке 1,б спектр выглядит как флуктуирующая функция с примерно одинаковым, равномерным распределением энергии во всей полосе частот сигнала. Спектры, вычисленные в программе MATLAB®, дают совершенно другую картину распределения энергии – сильно выделяется область в районе 250 Гц, просматриваются также локальные формантные области на частотах 2000 Гц, 2500 Гц и 3400 Гц, имеющие явно более низкую концентрацию энергии. Для правильной интерпретации этих спектров следует провести огибающую линию, плавно соединяющую пиковые значения спектральных компонент. Очевидно, что применение звукового редактора Adobe Audition® не даёт удовлетворительного результата и может вызвать неправильную оценку распределения энергии фонемы в ходе образовательного процесса. Похожая картина наблюдалась и при вычислении спектра фонем других звуков речи. На рис. 2 приведены аналогичные результаты для фонемы звука «з».

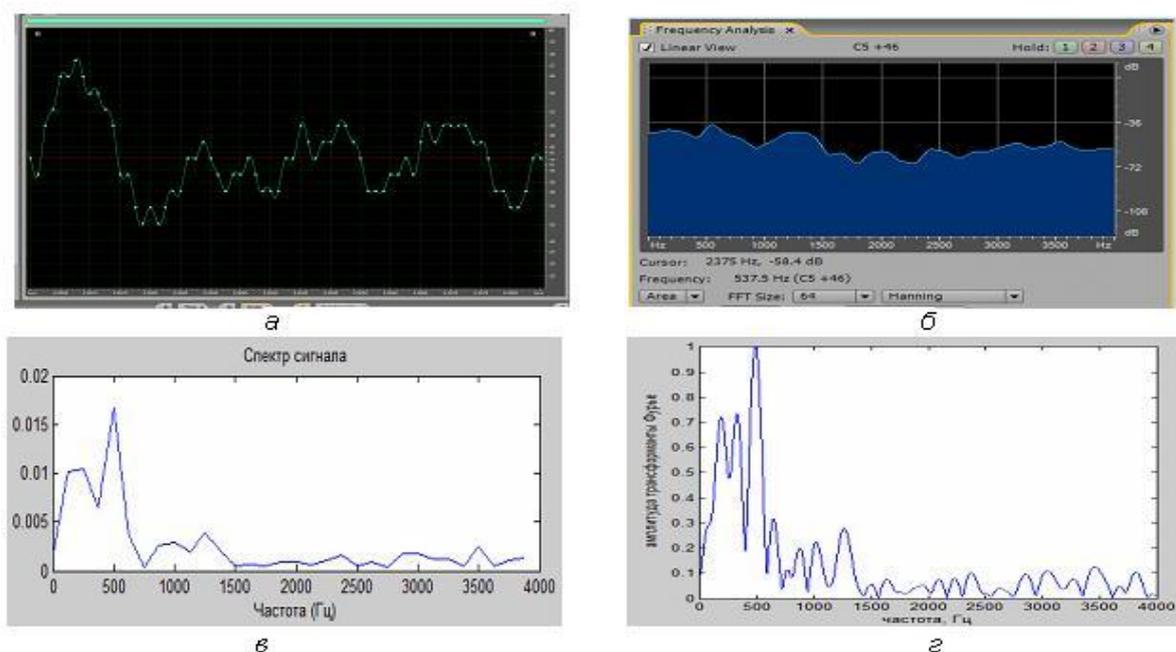


Рис. 2. Уровнеграмма и вычисленные спектры фонемы звука «з»
Fig.2. Signalosome and calculated spectra phonemes sound "z"

На следующем этапе исследований было сделано предположение о том, что для повышения точности спектрального анализа с помощью звуковых редакторов можно синтезировать «идеальный» для анализа звук, образованный многократным копированием одного образца фонемы, не имеющей точек разрыва (скачков напряжения) в начале и в конце. Такая операция легко реализуема с помощью опции «вставка», имеющейся во всех звуковых редакторах.

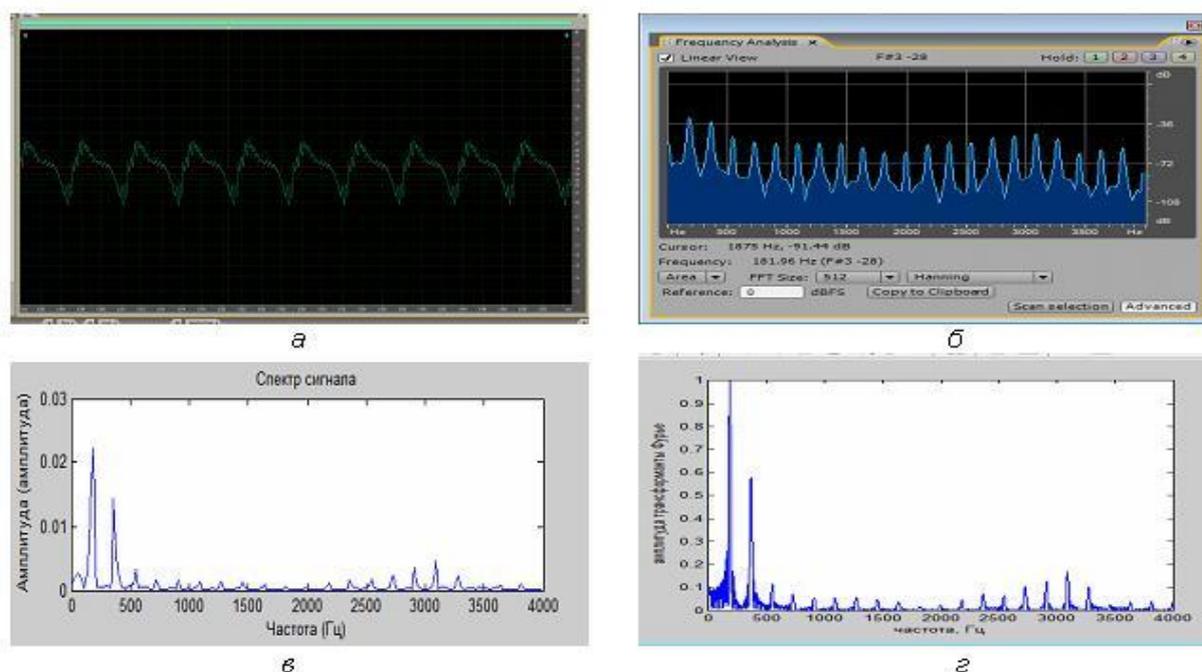


Рис.3. Уровнеграмма и вычисленные спектры 10 фонем звука «и»
Fig.3. Signalosome and calculated spectra of 10 phonemes sound "i"

На рис. 3 представлены результаты вычисления спектра звукового сигнала, синтезированного из 10 периодов фонемы звука «и». Общая длительность полученного сигнала равнялась 440 отсчетам. Для анализа спектра методом БПФ в обоих случаях выбирался ближайший из больших размер окна $N=512 > 440$. Соответственно, ДПФ вычислялось точно для 440 отсчетов.

Сравнение соответствующих результатов вычисления спектров на рис. 1 и рис.3 показывает, что синтезированный звук даёт более четкую картину спектра, который приобретает ярко выраженную периодическую структуру и облегчает локализацию формантных областей. При этом результаты расчетов для БПФ и ДПФ, выполненные в программе MATLAB® для синтезированной «идеальной» фонемы очень близки, что свидетельствует о повышении точности вычисления спектра при БПФ, несмотря на различие в объеме выборки сигнала и размера окна анализа. Существенно улучшился и вид спектра в программе Adobe Audition® - огибающая спектра стала более выразительной и в целом повторяет поведение огибающей спектров, полученных в программе MATLAB®. Для большей выразительности распределения энергии следует использовать не логарифмическую шкалу амплитуд, а линейную, как в программе MATLAB®.

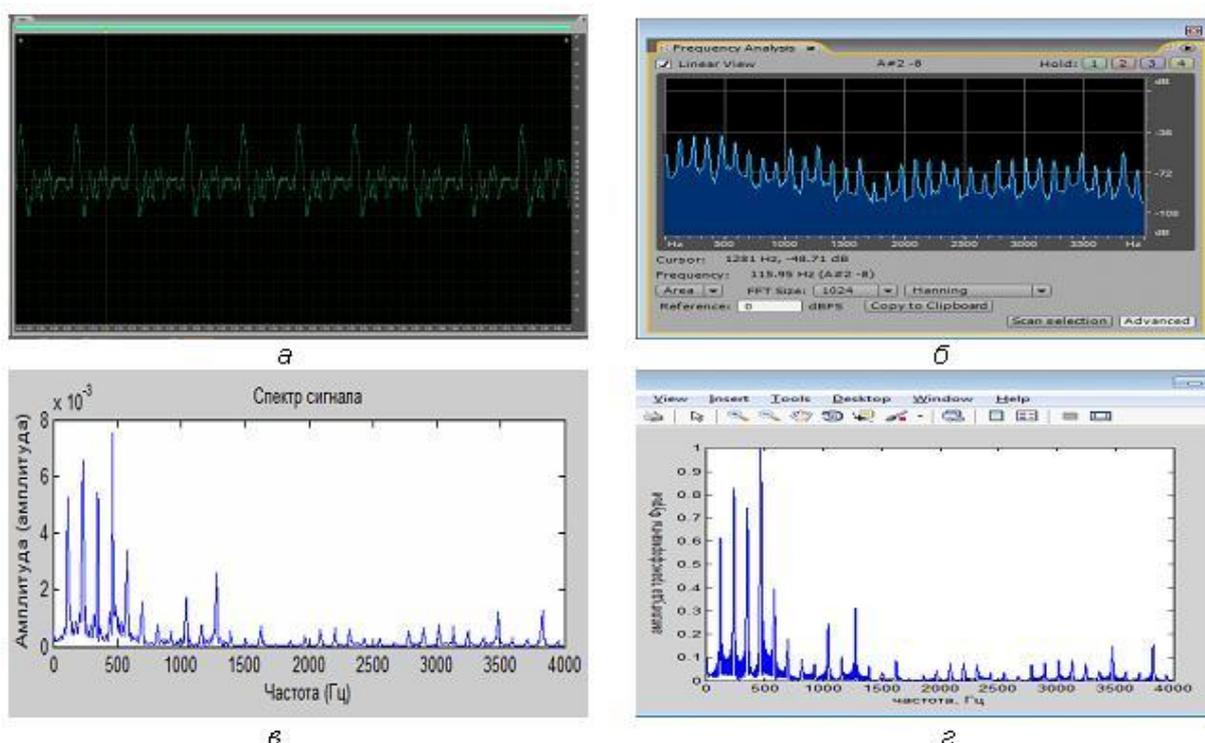


Рис. 4. Уровнеграмма и вычисленные спектры 10 фонем звука «з»
 Fig. 4. Signalosome and calculated spectra of 10 phonemes sound "z"

На рис.4. приведены результаты вычисления спектра для «идеальной» фонемы звука «з», состоящей из 10 периодов фонемы, общим объемом 690 отсчетов. Размер окна для БПФ выбирался равным 1024 отсчетам. Также как и в предыдущем случае заметно существенное улучшение локализации формантных областей.

Заключение

Предложенный способ вычисления формантных областей, предусматривающий формирование «идеальной» фонемы путем многократного копирования одного периода исследуемой фонемы позволяет повысить точность спектрального анализа при применении стандартной процедуры БПФ в общем случае и при использовании звуковых редакторов в частности. Необходимо также отметить универсальность предложенного подхода для спектрального анализа любых нестационарных или коротких по длительности сигналов, если предметом исследования является их мгновенный спектр. Фактически предложенный подход частично устраняет самый главный недостаток преобразования Фурье – присущую ему частотно-временную неопределенность.

Список литературы References

1. Сидоренко И.А., Кускова П.А. О спектральном анализе фонем с использованием звуковых редакторов // Научные ведомости Белгородского государственного университета №1(144) 2013 выпуск 25/1, серия Информатика, Белгород, 2013г. – стр. 246-250.
Sidorenko I.A., Kuskova P.A. O spektral'nom analize fonem s ispol'zovaniem zvukovyh re-daktorov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta №1(144) 2013 vypusk 25/1, serija Informatika, Belgorod, 2013g. – str. 246-250.
2. Жиляков Е.Г., Прохоренко Е.И. Частотный анализ речевых сигналов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. №2(31) 2006, выпуск 3, серия Информатика и прикладная математика. – Белгород, 2006 г.- стр. 201-208.
Zhilyakov E.G., Prohorenko E.I. Chastotnyj analiz rechevyh signalov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. №2(31) 2006, vypusk 3, serija Informatika i prikladnaja matematika.- Belgorod, 2006g.- str. 201-208.
3. Жиляков Е.Г., Фирсова А.А. Оценивание периода основного тона звуков русской речи // Научные ведомости Белгородского государственного университета №1(144) 2013 выпуск 25/1, серия Информатика, Белгород, 2013г. – стр. 173-181
Zhilyakov E.G., Firsova A.A. Ocenivanie perioda osnovnogo tona zvukov russkoj rechi. // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta №1(144) 2013 vypusk 25/1, serija Informatika, Belgorod, 2013g. – str. 173-181.
4. Бабаринов С.Л., Будникова М.А. О распознавании речи // Научные ведомости Белгородского государственного университета №21(192) 2014 выпуск 32/1, серия Информатика, Белгород, 2014. – стр. 182-185
Babarinov S.L., Budnikova M.A. O raspoznavanii rechi // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta №21(192) 2014 vypusk 32/1, serija Informatika, Belgorod, 2014g. – str. 182-185
5. Савченко В.В., Васильев Р.В. Анализ эмоционального состояния диктора по голосу на основе фонетического детектора лжи // Научные ведомости Белгородского государственного университета №21(192) 2014 выпуск 32/1, серия Информатика, Белгород, 2014г. – стр. 186-195
Savchenko V.V., Vasil'ev R.V. Analiz jemocional'nogo sostojanija diktora po golosu na osnove fo-neticheskogo detektora lzhi // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta №21(192) 2014 vypusk 32/1, serija Informatika, Belgorod, 2014g. – str. 186-195
6. Приходько А.И. Детерминированные сигналы. Учеб. пособ. для вузов. – М.:Горячая линия-Телеком, 2013.-326 с.: ил.
Prihod'ko A.I. Determinirovannye signaly. Ucheb. posob. Dlja vuzov.-M.:Gorjachaja linija-Telekom, 2013. – 326 s.: il.



УДК 681.327.12:534.78

О СЕГМЕНТАЦИИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ НА ОДНОРОДНЫЕ ОТРЕЗКИ ON SEGMENTATION OF SPEECH SIGNALS ON HOMOGENEOUS PIECES

Е.Г. Жилияков, С.П. Белов, А.С. Белов, А.А. Фирсова
E.G. Zhilyakov, S.P. Belov, A.S. Belov, A.A. Firsova

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

e-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru, belov@bsu.edu.ru, belov_as@bsu.edu.ru, firsova_a@bsu.edu.ru.

Аннотация. В настоящее время наибольших успехов в решении задачи автоматического распознавания устной речи удается достичь при использовании так называемых скрытых марковских моделей (СММ) речеобразования. Одним из этапов таких процедур является сегментация речевых сигналов (РС) на участки однородности. Вместе с тем, следует отметить, что для использования СММ необходимо иметь достаточно обширные и достоверные сведения о вероятностях переходов из состояния в состояние (звук-звук), а также адекватные модели генерации соответствующих отрезков РС, например, параметров моделей линейного предсказания (ЛП). Поэтому, несмотря на определенное изящество теоретических обоснований и известные примеры общедоступных технологий распознавания устной речи на основе СММ, нельзя считать, что проблема полностью решена. В статье предложен метод сегментации речевых сигналов на отрезки, порождаемые звуками речи, в основе которого лежат частотные представления. Разработаны модели анализа и сопоставления энергетических характеристик отрезков речевых сигналов при принятии решений о значимости их различий.

Resume. At the present time, the greatest success in solving the problem of automatic speech recognition can be achieved by using the so-called Hidden Markov Models (HMM) speech production. One step of such procedures is the segmentation of speech signals (RS) to homogeneity portions. However, it should be noted that the use of CMM must have quite extensive and reliable information on the probability of transition from state to state (audio sound), as well as an adequate model of the generation of the corresponding segments of MS, such as model parameters of linear prediction (LP). Therefore, despite a certain elegance of theoretical studies and known examples of public speech recognition technology based on the CMM, we cannot assume that the problem is completely solved. This paper proposes a method for segmentation of speech signals into segments generated by the sounds of speech, which is based on the frequency of submission. The models of analysis and comparison of energy characteristics of segments of speech signals developed when deciding on the significance of their differences.

Ключевые слова: сегментация речевых сигналов, однородные отрезки речевых сигналов, энергетические характеристики речевых сигналов, анализ и сопоставление, решающее правило.

Keywords: segmentation of speech signals, homogeneous pieces of speech signals, the energy characteristics of speech signals, analysis and collation, decision rule.

Введение

Речевым сигналом (РС) $x(t)$, где (t) - время, будем называть колебания электрического тока (или напряжения) на выходе микрофона, возбуждаемые акустическими воздействиями, которые возникают в процессе информационного обмена на основе устной речи.

Основными элементами устной речи являются ее звуки, комбинации которых (слова) образуют коды различных предметов. Еще одним важным элементом устной речи служат паузы между словами или отдельными звуками.

Возбуждаемые в процессе устной речи акустические колебания дешифрируются в слуховой системе человека, включающей в себя гидромеханические элементы, преобразующие их в электрические импульсы в нейронах мозга, сочетания которых распознаются как слова.

Очевидно, что для обеспечения достоверности в дешифрировании элементов устной речи соответствующие им акустические колебания с одной стороны должны быть в достаточной мере отличаться, а с другой - в пределах их звучания не должны изменяться значимо.

Таким образом, с элементами устной речи можно связать понятие однородности – незначимая в смысле определенной меры изменчивость характеристик возбуждаемых в течение их длительности колебаний акустической среды (переносчика информации).

Ясно, что однородные участки колебаний акустической среды будут порождать однородные в том же смысле отрезки РС. Разбиение РС на однородные отрезки естественно называть сегментацией. Наибольший интерес представляет сегментация РС в автоматическом режиме на основе вычислительных процедур, моделирующих процессы речеобразования и речевосприятия. Ясно, что достижение успеха в автоматической сегментации может служить основой многих задач



обработки речи: автоматического распознавания устной речи, идентификации дикторов, психофизических исследований состояния человека, сжатия речевых данных при хранении и передаче и т.д.

Проблема автоматического анализа и синтеза устной речи на основе обработки РС исследуется достаточно интенсивно [Шелухин, Лукьянцев, 2000]. В частности, задача сегментации РС на однородные отрезки рассматривалась в ряде работ [Сорокин, Цыплихин, 2004; Сорокин, Цыплихин, 2006; Жилияков и др., 2011], где предложены некоторые меры однородности и на основе вычислительных экспериментов исследуется их эффективность. На наш взгляд результаты этих исследований иллюстрируют неадекватность предлагаемых моделей с точки зрения отражения процессов речевого информационного обмена.

По-видимому, в настоящее время наибольших успехов в решении задачи автоматического распознавания устной речи удается достичь при использовании так называемых скрытых марковских моделей (СММ) речеобразования [Рабинер, 1989; Аграновский, Леднов, 2004]. Одним из этапов таких процедур является сегментация РС на участки однородности. Вместе с тем, следует отметить, что для использования СММ необходимо иметь достаточно обширные и достоверные сведения о вероятностях переходов из состояния в состояние (звук-звук), а также адекватные модели генерации соответствующих отрезков РС, например параметров моделей линейного предсказания (ЛП) [Рабинер, 1989]. Поэтому, несмотря на определенное изящество теоретических обоснований и известные примеры общедоступных технологий распознавания устной речи на основе СММ, нельзя считать, что проблема полностью решена.

Целью данной работы является разработка метода сегментации РС на основе моделей анализа энергетических характеристик их отрезков.

Модель анализа энергетических характеристик отрезков РС

Пусть $x(t)$, где $t \in [0, T]$ – отрезок РС, трансформанта Фурье которого

$$X(\omega) = \int_0^T x(t)e^{-j\omega t} dt \tag{1}$$

определяет его частотный спектр, так что имеет место равенство Парсевалья:

$$\|x\|^2 = \int_0^T x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega / 2\pi \tag{2}$$

Ясно, что соотношение (2) можно переписать в виде:

$$\|x\|^2 = \sum_{r=0}^{\infty} P_r(x) , \tag{3}$$

где $P_r(x)$ - части энергии РС

$$P_r(x) = \int_{\omega \in \Omega_r} |X(\omega)|^2 d\omega / 2\pi , \tag{4}$$

попадающие в частотные интервалы вида:

$$\Omega_r = [-\Omega_{2r} - \Omega_{1r}) \cup [\Omega_{1r}, \Omega_{2r}), \tag{5}$$

$$\Omega_{1r} = \Omega_{2, r-1}, \Omega_{10} = 0 \tag{6}$$

Представляется адекватным предположение о том, что реакция гидромеханических элементов слуховой системы человека определяется энергией, которая попадает в частотные полосы, соответствующие их упругим свойствам. В качестве основных подтверждений этому можно привести, по крайней мере, два экспериментально установленных факта.

а) Наличие критических частотных полос человеческого слуха, когда два гармонических акустических воздействия на слух не различаются, если их частоты находятся в границах полосы.

б) Основное свойство соответствующих звукам речи отрезков РС заключается в высокой частотной концентрации их энергии, так что найдется такое конечное множество частотных интервалов R_γ , что будут иметь место неравенства:

$$\sum_{r \in R_\gamma} P_r(x) \geq \gamma \|x\|^2, \quad (7)$$

$$1 - \gamma \ll 1, \quad (8)$$

$$\sum_{r \in R_\gamma} |\Omega_{2r} - \Omega_{1r}| \leq \Omega_\epsilon, \quad (9)$$

здесь Ω_ϵ – граничная круговая частота

$$\Omega_\epsilon = 2\pi\nu_\epsilon \quad (10)$$

$$\nu_\epsilon \leq 6 * 10^3 + 10/T \text{ Гц} \quad (11)$$

Следующее предположение модели заключается в том, что при дешифрировании акустических воздействий выделяются частотные интервалы, в которые попадают части энергии, превышающий некоторые пороги:

$$P_r(x) > h_r(x). \quad (12)$$

Представляется естественными такие частотные интервалы называть информационными.

При этом пороги определяются адаптивно, в зависимости от общего фона, в качестве которого естественно использовать спектральную плотность анализируемого отрезка

$$S(x) = \|x\|^2 / (2\Omega_\epsilon) \quad (13)$$

Тогда в качестве порогов естественно использовать следующие значения:

$$h_r(x) = 2S(x) * (\Omega_{2r} - \Omega_{1r})_r = \|x\|^2 * (\Omega_{2r} - \Omega_{1r}) / \Omega_\epsilon \quad (14)$$

Пусть теперь $R_1(*)$ – множество частотных интервалов, для которых выполняются неравенства вида (12), где правые части определяются соотношениями (14). Положим

$$G_1(x) = \sum_{r \in R_1(x)} P_r(x), \quad (15)$$

$$D_1(x) = G_1(x) / \|x\|^2. \quad (16)$$

Последнее соотношение определяет долю энергии отрезка сигнала, попадающую в совокупность выделяемых частотных интервалов. В соответствии с (12) и (14) имеют место неравенства

$$G_1(x) > S_1(x) = \sum_{r \in R_1(x)} h_r(x) \quad (17)$$

$$D_1(x) > \sum_{r \in R_1(x)} (\Omega_{2r} - \Omega_{1r}) / \Omega_\epsilon = \Delta\Omega_1(x) / \Omega_\epsilon \quad (18)$$



т.е. доля энергии, попадающая в отбираемые частотные интервалы, больше доли соответствующей суммарной частотной полосы:

$$W_1(x) = \Delta\Omega_1(x)/\Omega_g. \tag{19}$$

Отметим, что для отрезков с почти равномерным распределением энергии в пределах полосы $[0, \Omega_g]$ будет иметь место приближительное равенство

$$D_S(x) \approx W_1(x) \tag{20}$$

Такая ситуация возникает, например, в паузах речи, когда РС представляет собой отрезок шумов микрофона.

В свою очередь в случае вокализованных звуков речи будет реализовываться максимальная частотная концентрация энергии.

Модель сопоставления энергетических характеристик смежных отрезков РС

Разобьем условно отрезок $x(t)$ на два смежных

$$x_1(t) = x(t), \quad 0 < t \leq T/2, \tag{21}$$

$$x_2'(t) = x(t + T/2), \quad 0 < t \leq T/2. \tag{22}$$

Спектры этих частей определяются интегралами вида (1) с соответствующими верхними пределами.

Пусть далее $P_r(x), P_r(x_1), P_r(x_2)$ - части энергии общего отрезка и его частей, попадающие в одни и те же частотные интервалы, а множество $R_1(x)$ определяется на основе неравенства вида (12), с учетом (13) и (14).

Представляется адекватным предположение (гипотеза) о том, что изменение энергетических характеристик с течением времени приводит к изменению амплитуды колебаний воспринимающих их элементами слуховой системы, которые и фиксируются интеллектуальной ее частью. При этом принимаются во внимание некоторые средние характеристики колебаний, определяемые спектральной плотностью объединенного отрезка.

Так как энергия гармонического колебания $\alpha \cos(\omega_0 t)$ пропорциональна α^2 , то по аналогии с этим полагаем, что амплитуды колебаний гидромеханических элементов для одних и тех же частотных интервалов пропорциональны квадратным корням из соответствующих энергий, то есть $P_r^{1/2}(x_1)$ и $P_r^{1/2}(x_2)$ соответственно.

В качестве меры относительных различий в интенсивностях реакций элементов слуховой системы для объединенного отрезка предлагается использовать функционал:

$$B_1(x_1, x_2) = C_1(x_1, x_2) / \|x\|^2 \tag{23}$$

где,

$$C_1(x_1, x_2) = \sum_{r \in R_1(x)} (P_r^{1/2}(x_1) - P_r^{1/2}(x_2))^2 \tag{24}$$

или, после очевидных преобразований:

$$C_1(x_1, x_2) = \sum_{r \in R_1(x)} (P_r(x_1) - P_r(x_2)) - 2 \sum_{r \in R_1(x)} (P_r(x_1) \cdot P_r(x_2))^{1/2} \tag{25}$$

Непосредственно из определения (24) следует неравенство:

$$0 \leq B_1(x_1, x_2) \tag{26}$$



Ясно, что равенство нулю здесь достигается тогда и только тогда, когда выполняются все равенства вида:

$$P_r(x_1) = P_r(x_2), r \in R_1(x) \quad (27)$$

Эти равенства будем называть условиями (признаком) полной однородности отрезка $x(t)$. Такая ситуация вполне возможна для периодического с периодом $T/2$ сигнала, когда имеет место:

$$x_2(t) = x_1(t) \quad (28)$$

Реальные РС таким свойством не обладают. Поэтому в общем случае необходимо ввести меру значимости отклонения от нуля значений функционала (23), превышение которой принимается за признак нарушения однородности.

В качестве такой меры предлагается использовать:

$$V(x) = S_1(x)/G_1(x) \quad (29)$$

Напомним, что, согласно определениям (15) и (17), знаменатель здесь равен доле энергии объединенного отрезка, попадающей в совокупность информационных частотных интервалов, удовлетворяющих неравенству вида (12), тогда как числитель равен сумме вычисляемых на основе представления (14) порогов. Последнее соответствует среднему значению энергии отрезка, которую можно соотносить с набором информационных частотных интервалов.

Имея в виду определения (14), (15) и (19) границу (29) можно преобразовать к виду:

$$V(x) = W_1(x)/D_1(x), \quad (30)$$

т.е. отношение доли частотной полосы, которую занимают информационные частотные интервалы к доле, попадающей в них энергии объединенного отрезка.

Таким образом, можно сформулировать следующее решающее правило.

Анализируемый отрезок $x(t), t \in [0, T]$ признается однородным при выполнении неравенства:

$$B(x_1, x_2) < V(x) \quad (31)$$

и неоднородным в противном случае. С учетом введенных ранее определений неравенству (31) нетрудно придать иной вид:

$$C_1(x_1, x_2)/S_1(x_1, x_2) < \|x^2\|/G_1(x). \quad (32)$$

Или

$$C_1(x_1, x_2)/\Delta\Omega(x) < \|x^2\|/G(x) * S(x). \quad (33)$$

Левую часть этого неравенства можно называть частотной плотностью суммы (24). В соответствии с (33) допускается, что ее значение может быть больше чем спектральная плотность (13) анализируемого отрезка, причем это превышение тем меньше чем больше $D_1(x)$.

Исследования частично финансировались в рамках гранта РФФИ №15-07-01463 и №15-07-01570

Список литературы References

1. Шелухин, О.И. 2000. Цифровая обработка и передача речи. М., Радио и связь, 456.
Sheluhin, O.I. 2000. Cifrovaja obrabotka i peredacha rechi. M., Radio i svjaz', 456.

-
2. Сорокин, В.Н. 2004. Сегментация и распознавание гласных. Журнал Информационные процессы, Т.4, №2: 202-220.
Sorokin, V.N. 2004. Segmentacija i raspoznavanie glasnyh. Zhurnal Informacionnye processy, Т.4, №2: 202-220.
3. Сорокин, В.Н. 2006. Сегментация речи на кардинальные элементы. Журнал Информационные процессы, Т.6, №3: 177-207.
Sorokin, V.N. 2006. Segmentacija rechi na kardinal'nye jelementy. Zhurnal Informacionnye processy, Т.6, №3: 177-207.
4. Жилияков, Е.Г. 2011. Сегментация речевых сигналов на основе анализа распределения энергии по частотным интервалам. Научные ведомости Белгородского государственного университета, № 7 (102) выпуск 18/1, серия Информатика: 187-196.
Zhilyakov, E.G. 2011. Segmentacija rechevyh signalov na osnove analiza raspredelenija jenergii po chastotnym intervalam. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo univer-siteta, № 7 (102) vypusk 18/1, serija Informatika: 187-196.
5. Рабинер Л.Р. 1989. Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях при распознавании речи. ТИИЭР т. 77, №2: 86-120.
Rabiner L.R. 1989. Skrytye markovskie modeli i ih primenenie v izbrannyh prilo-zhenijah pri raspoznavanii rechi. TИИЭR t. 77, №2: 86-120.
6. Аграновский, А.В. 2004. Теоретические аспекты алгоритмов обработки и классификации речевых сигналов. М., Радио и связь, 164.
Agranovskij, A.V. 2004. Teoreticheskie aspekty algoritmov obrabotki i klassifikacii rechevyh signalov. M., Radio i svjaz', 164.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Алтухов Д.В.** – начальник производства Агропромышленной группы БВК. г. Губкин.
- Асадуллаев Р.Г.** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационного менеджмента Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Афонин А.Н.** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры материаловедения и нанотехнологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Басавин Д.А.** – ассистент кафедры информатики и информационных технологий Белгородского государственного аграрного университет им. В. Я. Горина. г. Белгород
- Басов О.О.** – кандидат технических наук, докторант Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации. г. Орел
- Белов А.С.** – кандидат технических наук, доцент, кафедры информационных управляющих систем Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Белов С.П.** – доктор технических наук, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Болгова Е.В.** – аспирант кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Бычкова А.С.** – студент кафедры информационные системы ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». г. Орел
- Волков В.Н.** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационные системы ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». г. Орел
- Глазунова О.А.** – кандидат экономических наук, доцент кафедры коммерческой деятельности и рекламы Белгородского университета кооперации, экономики и права. г. Белгород.
- Григоров М.С.** – сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации. г. Орел
- Дуденков В.М.** – аспирант кафедры технической кибернетики и автоматического регулирования факультета прикладной математики, информатики и механики Воронежского государственного университета. г. Воронеж
- Ерохин О.И.** – аспирант кафедры Технологии и оборудование пищевых и химических производств Тамбовского государственного технического университета. г. Тамбов
- Жиляков Е.Г.** – доктор технических наук, профессор, почётный работник высшего профессионального образования РФ, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий

- Белгородского государственного национального исследовательского университета, руководитель УНИК «Информационно-коммуникационные системы и технологии» Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Жихарев А. Г.** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационных управляющих систем Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Зайцева Н.О.** – ассистент кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Зайцева Т.В.** – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Игнатенко С.А.** – аспирант, ассистент кафедры природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород.
- Игрунова С.В.** – кандидат социологических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Кузьмина Л.Р.** – старший преподаватель кафедры менеджмента Волжского института экономики, педагогики и права. г. Волжский.
- Кускова П.А.** – магистрант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Лифиренко М.В.** – кандидат технических наук, ассистент кафедры информационного менеджмента Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Лихневская Н.В.** – гос. служ. Департамента природопользования и охраны окружающей среды Белгородской области. г. Белгород.
- Ломазов В.А.** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры информатики и информационных технологий Белгородского государственного аграрного университет им. В. Я. Горина. г. Белгород
- Ломакин В.В.** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры информационного менеджмента Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Лунёв Р.А.** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационные системы ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». г. Орел
- Майстренко А.В.** – кандидат технических наук, доцент кафедры Технологии и оборудование пищевых и химических производств Тамбовского государственного технического университета. г. Тамбов
- Майстренко Н.В.** – кандидат технических наук, доцент кафедры Системы

-
- автоматизированной поддержки принятия решений Тамбовского государственного технического университета. г. Тамбов
- Масленникова Н.Ю.** – аспирант Белгородского государственного национально-го исследовательского университета. г. Белгород.
- Маторин С.И.** – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Михеев Г.В.** – аспирант, ассистент кафедры маркетинга и управления предприятием Кубанского государственного технологического университета. г. Краснодар.
- Нестерова Е.В.** – старший преподаватель кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Новикова Н.М.** – доктор технических наук, профессор кафедры технической кибернетики и автоматического регулирования факультета прикладной математики, информатики и механики Воронежского государственного университета. г. Воронеж
- Петров Д.В.** – аспирант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Петросов Д.А.** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой информатики и информационных технологий Белгородского государственного аграрного университет им. В. Я. Горина. г. Белгород
- Пигнастый О.М.** – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерного мониторинга и логистики Национального Технического Университета "ХПИ". Украина, г. Харьков
- Плякин А.В.** – доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой природопользования Волжского гуманитарного института (филиала) Волгоградского государственного университета. г. Волжский.
- Польщиков К.А.** – кандидат технических наук, доцент, помощник проректора по научной и инновационной деятельности Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Полякова Т.А.** – кандидат географических наук, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород.
- Прядко С.Н.** – кандидат экономических наук кафедры менеджмента организации Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород.
- Пусная О.П.** – старший преподаватель кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород

-
- Путивцева Н.П.** – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Румбешт В.В.** – кандидат технических наук, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Савченко В.В.** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математики и информатики Нижегородского государственного лингвистического университета. г. Нижний Новгород
- Сидоренко И.А.** – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Слинкова О.К.** – доктор экономических наук, декан факультета бизнеса и сервиса Института экономики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород.
- Сорокина Е.С.** – старший преподаватель кафедры информационного менеджмента Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород.
- Стычук А.А.** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационные системы ФГБОУ ВПО «Государственный – УНПК». г. Орел
- Тубольцев М.Ф.** – кандидат технических наук, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Тубольцева О.М.** – аспирант кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Фирсова А.А.** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Фурцев Д.Г.** – аспирант кафедры прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Цапков А.Н.** – заместитель начальника отдела оборота земель сельскохозяйственного назначения департамента имущественных и земельных отношений Белгородской области. г. Белгород.
- Череповская Н.А.** – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента организации Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород.



-
- Черноморец А.А.** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информатики Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Черноморец Д.А.** – студент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород
- Чугунова Н.В.** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород.
- Ядута А.З.** – кандидат технических наук, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного национального исследовательского университета. г. Белгород

Ф. СП-1		<p>АБОНЕМЕНТ на журнал 79998 <i>Научные ведомости БелГУ.</i> <i>Серия Экономика. Информатика</i></p>											
(наименование издания)										Количество комплектов		1	
на 2015 год по месяцам													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		X			X			X			X		
Куда													
(почтовый индекс)						(адрес)							
Кому													
(фамилия, инициалы)										Тел.			

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА													
ПВ		ме-сто		ли-тер		на журнал 79998						индекс издания	
<i>Научные ведомости БелГУ.</i> <i>Серия Экономика. Информатика</i> (наименование издания)													
Стои-мость	подписки			руб.		коп.		Кол-во комплек-тов	1				
	перед-ресовки			руб.		коп.							
на 2015 год по месяцам													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
		X			X			X			X		
Куда													
(почтовый индекс)						(адрес)							
Кому													
(фамилия, инициалы)													