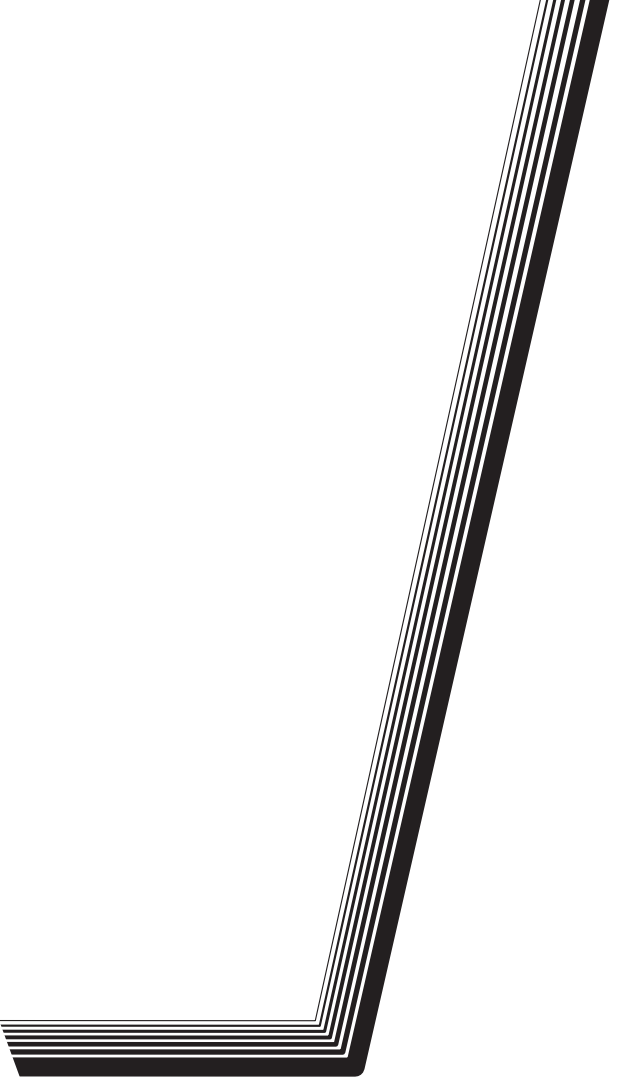


ВЕСТНИК



Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 5(57)

Красноярск 2014

ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева (Вестник СибГАУ)

Выпуск 5(57)

Главный редактор

Ковалев Игорь Владимирович,
доктор технических наук, профессор

Заместители главного редактора

Логинов Юрий Юрьевич, доктор
физико-математических наук, профессор

Сенашов Сергей Иванович, доктор
физико-математических наук, профессор

Мурыгин Александр Владимирович,
доктор технических наук, профессор

Ответственный секретарь

Зеленков Павел Викторович, кандидат
технических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Аплеснин С. С., доктор физико-математических
наук, профессор

Головенкин Е. Н., доктор технических наук,
профессор

Ерыгин Ю. В., доктор экономических наук,
профессор

Лаптенко В. Д., доктор технических наук,
профессор

Ловчиков А. Н., доктор технических наук,
профессор

Медведев А. В., доктор технических наук,
профессор

Михеев А. Е., доктор технических наук,
профессор

Москвичев В. В., доктор технических наук,
профессор

Сафонов К. В., доктор физико-математических
наук, доцент

Смирнов Н. А., доктор технических наук,
профессор

Сомов В. Г., доктор технических наук,
доцент

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Васильев С. Н., академик РАН, доктор физико-
математических наук, профессор (Москва)

Дегерменджи А. Г., академик РАН,
доктор физико-математических наук,
профессор (Красноярск)

Детерев А. С., доктор технических наук,
профессор (Красноярск)

Калвода Л., кандидат наук, доцент
(Прага, Чехия)

Колмыков В. А., кандидат технических наук,
профессор (Красноярск)

Краточилова И., доктор, доцент (Прага, Чехия)

Краус И., профессор (Прага, Чехия)

Лопатин А. В., доктор технических наук,
профессор (Красноярск)

Лю Т., профессор (Пекин, Китай)

Минкер В., доктор, профессор (Ульм, Германия)

Миронов В. Л., член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук,
профессор (Красноярск)

Младенов Г., член-корреспондент Болгарской
академии наук, доктор физических наук, профессор
(София, Болгария)

Павера Р., доцент (Братислава, Словакия)

Семенкин Е. С., доктор технических наук,
профессор (Красноярск)

Тестоедов Н. А., член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор
(Железногорск)

Ужуле К., доктор (Рига, Латвия)

Фошнер М., доктор, доцент (Марибор, Словения)

Чжанг Ш., доктор (Тяньцзинь, Китай)

Шабанов В. Ф., академик РАН, доктор физико-
математических наук, профессор (Красноярск)

Шайдуров В. В., член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук,
профессор (Красноярск)

Швиденко А., доктор инженерных наук,
профессор (Лаксембург, Австрия)

Эйя Х., доктор инженерных наук,
профессор (Тронхейм, Норвегия)

VESTNIK

Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta
imeni akademika M. F. Reshetneva (Vestnik SibGAU)

Issue 5(57)

Chief Editor:

Kovalev I. V.

Dr.Sc., Professor

Deputy Chief Editors

Loginov Y. Y., Dr.Sc., Professor

Senashov S. I., Dr.Sc., Professor

Murygin A. V., Dr.Sc., Professor

Executive Secretary

Zelenkov P. V., Cand.Sc.

EDITORIAL BOARD

Aplesnin S. S., Dr.Sc., Professor

Golovenkin E. N., Dr.Sc., Professor

Erygin Y. V., Dr.Sc., Professor

Laptenok V. D., Dr.Sc., Professor

Lovchikov A. N., Dr.Sc., Professor

Medvedev A. V., Dr.Sc., Professor

Mikheev A. E., Dr.Sc., Professor

Moskvichev V. V., Dr.Sc., Professor

Safonov K. V., Dr.Sc., Docent

Smirnov N. A., Dr.Sc., Professor

Somov V. G., Dr.Sc., Docent

EDITORIAL COUNCIL

Vasiliev S. N., Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc., Professor (Moscow)

Degermendzhi A. G., Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc., Professor (Krasnoyarsk)

Degterev A. S., Dr.Sc., Professor (Krasnoyarsk)

Kalvoda L., Cand.Sc.-Ing., Associate Professor (Prague, Czech Republic)

Kolmykov V. A., Cand.Sc., Professor (Krasnoyarsk)

Kratochvilova I., Dr.-Ing., Associate Professor (Prague, Czech Republic)

Kraus I., Sc.D., Professor (Prague, Czech Republic)

Lopatin A. V., Dr.Sc., Professor (Krasnoyarsk)

Liu T., Ph.D., Professor (Beijing, China)

Minker W., Dr.-Ing., Professor (Ulm, Germany)

Mironov V. L., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc., Professor (Krasnoyarsk)

Mladenov G., Corresponding Member of Bulgarian Academy of Sciences, Dr.Sc., Professor (Sofia, Bulgaria)

Pawera R., Associate Professor (Bratislava, Slovakia)

Semenkin E. S., Dr.Sc., Professor (Krasnoyarsk)

Testoedov N. A., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc., Professor (Zheleznogorsk)

Užule K., Ph.D. (Riga, Latvia)

Fošner M., Ph.D. Associate Professor (Maribor, Slovenia)

Zhang S., Ph.D. (Tianjin, China)

Shabanov V. F., Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc., Professor (Krasnoyarsk)

Shaidurov V. V., Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc., Professor (Krasnoyarsk)

Shvidenko A., Dr.-Ing., Professor (Laxenburg, Austria)

Oye H., Dr.-Ing., Professor (Trondheim, Norway)

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

Журнал «Вестник СибГАУ» является периодическим печатным научным рецензируемым журналом. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ-ФС77-22189 от 27.10.2005 г. ISSN 1816-9724. Подписные индексы в каталогах «Роспечать» – 11399; «Пресса России» – 39263.

Входит в перечень журналов ВАК.

Зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Включен в базу данных Ulrich's Periodicals Directory американского издательства Bowker.

Выпускается с 2000 года. До 2002 года носил название «Вестник Сибирской аэрокосмической академии имени академика М. Ф. Решетнева» («Вестник САА»).

Журнал публикует результаты научных исследований в области естественных, технических и прикладных наук по вопросам:

- проектирования, производства и эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники;
- космического машиностроения;
- управления, вычислительной техники, информатики аэрокосмической отрасли;
- отраслевой экономики.

Каждый выпуск включает четыре раздела:

- 1 раздел. Математика, механика, информатика.
- 2 раздел. Авиационная и ракетно-космическая техника.
- 3 раздел. Технологические процессы и материалы.
- 4 раздел. Экономика.

Статьи публикуются бесплатно после обязательного рецензирования и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.vestnik.sibsau.ru). Журнал выходит 4 раза в год. Специальный выпуск – 1 раз в год.

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки (<http://www.elibrary.ru>) и сайте журнала (www.vestnik.sibsau.ru)

При перепечатке или цитировании материалов из журнала «Вестник СибГАУ» ссылка обязательна.

Учредитель

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, 660014, Красноярск,
проспект имени газеты «Красноярский рабочий», 31, П-416.
Тел./ факс (391)291-90-19
E-mail: vestnik@sibsau.ru

Редактор: О. А. ПЛЕХОВА
Редактор английского текста С. Г. ЭФА
Оригинал-макет и верстка О. В. Булатниковой
Подписано в печать 29.12.2014. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 38,2.
Уч.-изд. л. 45,6. Тираж 1000 экз. Заказ 87/223. С 213/14.
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Михайловой И. Г.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 6в-69

INFORMATION FOR AUTHORS AND SUBSCRIBERS

Vestnik SibGAU is a periodical printed peer-reviewed journal included by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation in the Index of Leading Russian Peer-Reviewed Journals and Periodicals, in which significant scientific dissertation results should be published when applying for a Dr.Sc. degree.

Vestnik SibGAU is the official periodical of Siberian State Aerospace University (SibSAU)

The journal holds a Certificate of Registration as a Mass Media Resource. Certificate (Cyrillic): PI No. FC 77-22189, dated 27 October 2005.

The Journal is included in the following subscription catalogues:
1. 11399 – Rospechat'
2. 39263 – Pressa Rossii

The journal is registered in the Russian Science Citation Index (RSCI).

The journal is indexed in the database of Ulrich's Periodicals Directory.

The journal was first published in 2000. Prior to 2002 it had the title *Vestnik Sibirskoi aerokosmicheskoi akademii imeni akademika M. F. Reshetneva* (*Vestnik SAA*).

Vestnik SibGAU is a scientific journal which reviews and publishes results of research in the field of natural and applied sciences and engineering. The main topics of the journal are:

- design, production, and operation of aircraft and spacecraft;
- aerospace engineering;
- management, computer technology, applied informatics in the aerospace industry;
- applied economics.

Each issue consists of four parts:

- Part 1. Mathematics, Mechanics, Computer Science.
- Part 2. Aviation and Spacecraft Engineering.
- Part 3. Technological Processes and Materials.
- Part 4. Economics.

Articles prepared in accordance with the editorial guidelines (www.vestnik.sibsau.ru) are published free of charge after being peer reviewed.

There are four issues every year with an additional special issue, which is published once a year.

An online version of *Vestnik SibGAU* can be viewed at <http://www.elibrary.ru>

Vestnik SiGAU should be cited when reprinting or citing materials from the journal.

CONTACTS: *Vestnik SibGAU* website: www.vestnik.sibsau.ru

Address: Siberian State Aerospace University
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., 660014, Krasnoyarsk, Russia
tel./ fax (391)291-90-19; e-mail: vestnik@sibsau.ru

Editor O. A. PLEKHOVA
Editor (English Language) S. G. EFA
Layout original O. V. BULATNIKOVA
Signed (for printing): 29.12.2014. Format 70×108/16.
Offset Paper. Print flat. 38,2. Published sheets 45,6.
1000 copies. Order 87/223. С 213/14.
Printing and Publication Department
Siberian State Aerospace University
660014, Krasnoyarsk,
31, Krasnoyarsky Rabochy Av.,
Printed in the printing house of I.G. Mikhailova
660125, Krasnoyarsk, 6в-69, Vodopyanova Str.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА. МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Антамошкин А. Н., Казаковцев Л. А. Применение метода изменяющихся вероятностей для задач оптимального размещения на сети	10
Антамошкин А. Н., Масич И. С. Выбор логических закономерностей построения решающего правила распознавания	20
Банникова А. В., Медведев А. В. Об управлении объектами с памятью в условиях непараметрической неопределенности	26
Баранов Р. П. Идентификация человека по его личной подписи в системах электронного документооборота	38
Болгов А. Н. Мультиагентный подход в реконструкции текстуры на изображениях	44
Брестер К. Ю., Вишневская С. Р., Семенкина О. Э., Сидоров М. Ю. Эффективная процедура аутентификации студента по речи в дистанционном образовании	51
Городов А. А., Городова Л. В., Кузнецов А. А. Моделирование сложных процессов при помощи авторегрессии	57
Ивлева Н. В., Фибих Е. В. Применение электронного обучения в Сибирском государственном аэрокосмическом университете имени академика М. Ф. Решетнёва с использованием международных образовательных платформ	62
Коплярова Н. В. Алгоритм идентификации систем класса Винера	67
Краснов И. З. Матрица доступа как пассивный элемент защиты информационных ресурсов	78
Липинский Л. В., Кушнарёва Т. В., Дябкин Е. В., Попов Е. А. Гибридный эволюционный алгоритм автоматизированного формирования деревьев принятия решения	85
Личаргин Д. В., Трушакоева А. И., Сафонов К. В., Бачурина Е. П. Разработка системы рекурсивных порождающих грамматик для решения задачи автоматического построения интонационных шаблонов языковых выражений	93
Пронина Е. А., Шлепкин А. А., Дарзиев А. Н. О силовой 2-подгруппе в периодической группе с заданным набором конечных подгрупп	101
Пятаева А. В. Обнаружение областей задымления на видеопоследовательности с применением локальных бинарных шаблонов	108
Семенкина М. Е., Попов Е. А. Решение задач компьютерной безопасности при помощи автоматически генерируемых ансамблей нейронных сетей	115
Сидорова Т. В., Шершнева В. А., Космидис И. Ф., Зыкова Т. В., Кытманов А. А. Об использовании среды MOODLE в обучении математике студентов института космических и информационных технологий СФУ	122
Становов В. В., Семенкина О. Э. Самоконфигурирующийся гибридный эволюционный алгоритм формирования нечетких классификаторов с активным обучением для несбалансированных данных	128
Ткачева А. А. Использование данных дистанционного зондирования Земли при трехмерном моделировании естественных ландшафтных сцен	136

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Гришин А. А., Смирнов Н. А., Харитонов А. И. Анализ конструкции кольцевых токосъемных устройств	146
Ханов В. Х., Бородин Т. В., Антамошкин А. Н. Обзор технических решений для разработки бортового комплекса управления типа «система на кристалле» для сверхмалого космического аппарата	153

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

Дружинина А. А., Лаптенков В. Д., Мурыгин А. В. Повышение точности позиционирования по стыку соединения деталей с остаточной намагниченностью при электронно-лучевой сварке	168
Крушенко Г. Г. Эволюция технологии изготовления корпусов насосов турбонасосного агрегата жидкостного ракетного двигателя	174
Раводина Д. В., Трушкина Т. В., Михеев А. Е., Гирн А. В., Хоменко И. И. Коррозионная стойкость МДО-покрытий на титановых сплавах	180

РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА

Батукова Л. Р., Зеленская Т. В., Медведев А. В. Инновационная модернизация экономики: особенности ее реализации в сибирских регионах сырьевой направленности	188
Батукова Л. Р., Зеленская Т. В., Медведев А. В. Инновационная модернизация экономики регионов Сибири: концептуальные основы, основные положения организационного механизма управления	196
Беляков Г. П., Анищенко Ю. А., Сафронов М. В. Риски космических проектов. Анализ неудачных космических запусков	208
Белякова Е. В., Беляков Р. А. Принципы формирования стратегии технологического развития промышленного комплекса региона	216
Белякова Г. Я., Фалалеев А. Н., Шишкина Н. А. Факторы, оказывающие влияние на качество инновационно-инвестиционных проектов создания высокотехнологичных производств	221
Белякова Г. Я., Фокина Д. А. Инструменты управления экспортным потенциалом с учетом стратегии развития предприятия машиностроения	227
Брюханов Ю. М., Лукин А. А., Фатьянова И. Р. Статистическая связь между уровнем легализации криминальных доходов, инвестиционным климатом и инновационным потенциалом регионов Российской Федерации	233
Бубнов В. А., Хаустов Д. С., Хоменко Г. А. Налогообложение полисистемных монополий	245
Васильева З. А., Филимоненко И. В., Лукьянова А. А., Фалалеев А. Н. Роль локальных рынков в обеспечении устойчивости экономики региона при переходе к инновационной модели развития	253
Гильц Н. Е., Куимов В. В., Таюрский А. И. Контроллинг производства инновационной продукции гражданского назначения: концептуальный подход, модель, методика	262
Ерыгина Л. В., Орлова К. В. Роль инновационных малых предприятий в современной экономике	271
Ерыгина Л. В., Смородинов Р. В., Сенашов С. И. Основные проблемы внедрения и оценки эффективности инновационно-инвестиционных проектов производства наукоемкой продукции	276
Подвербных О. Е., Семёнкин Е. С., Кузнецов А. А., Самохвалова С. М. Стимулирование инновационной деятельности высокотехнологичных предприятий	280
Рагозина М. А., Левко В. А., Лячин В. И. Адаптивное планирование производственной программы: особенности, понятия, принципы	288
Смородинов Р. В., Смородинова Н. И. Показатели оценки эффективности инновационно-инвестиционных проектов наукоемких производств	295
Федотов Д. В., Семенкин Е. С. О прогнозировании экономических показателей с помощью нейроэволюционных моделей	299
Филимоненко И. В., Васильева З. А., Александров Ю. Л., Лютых Ю. А. Мультиаспектность влияния локальных рынков на инновационное развитие региона	305
Чувашова М. Н. Систематизация факторов, влияющих на качество экономического пространства ресурсно-ориентированных регионов	314
Сведения об авторах	320

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, COMPUTER SCIENCE

Antamoshkin A. N., Kazakovtsev L. A. Application of the probability changing method for optimal location problems on a network	10
Antamoshkin A. N., Masich I. S. The selection of logical patterns for constructing a decision rule of recognition	20
Bannikova A. V., Medvedev A. V. About the control of objects with the memory in a nonparametric uncertainty	26
Baranov R. P. Person identification by signature in the electronic document management system.....	38
Bolgov A. N. Image texture reconstruction based on multiagent approach.....	44
Brester C. Y., Vishnevskaya S. R., Semenkina O. E., Sidorov M. Y. Effective speech-based student authentication procedure in distance learning	51
Gorodov A. A., Gorodova L. V., Kuznetsov A. A. Modeling of complex processes using autoregressive methods	57
Ivleva N. V., Fibikh E. V. E-learning usage at Siberian State Aerospace University through international educational platforms	62
Koplyarova N. V. Algorithms of Wiener system identification	67
Krasnov I. Z. Access matrix as a passive element in the protection of information resources	78
Lipinskiy L. V., Kushnareva T. V., Dyabkin E. V., Popov E. A. Hybrid evolutionary algorithm for automated design of decision trees	85
Lichargin D. V., Trushakova A. I., Safonov K. V., Bachurina E. P. Development of recursive generative grammars system for solving the problem of automatic generation of language phrases intonation patterns	93
Pronina E. A., Shlepkin A. A., Darziev A. N. About a Sylow 2-subgroup in the periodic group with a given set of finite subgroups	101
Pyataeva A. V. Video-based smoke detection using local binary patterns	108
Semenkina M. E., Popov E. A. Computer security problems solving by automatically designed neural network ensembles	115
Sidorova T. V., Shershneva V. A., Kosmidis I. F., Zyкова T. V., Kytmanov A. A. Using the MOODLE system in teaching of mathematics for students of the Institute of Space and Information Technologies of SFU	122
Stanovov V. V., Semenkina O. E. Self-configuring hybrid evolutionary algorithm for fuzzy classifier design with active learning for unbalanced datasets	128
Tkacheva A. A. Remote sensing for reconstruction of natural landscape scenes	136

PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING

Grishin A. A., Smirnov N. A., Kharitonov A. I. The analysis of the design of the current collection devices	146
Khanov V. Kh., Borodina T. V., Antamoshkin A. N. Review of technical solutions for developing of a control and data handling as a system on a chip for ultra small spacecraft	153

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS

Druzhinina A. A., Laptinok V. D., Murygin A. V. Improvement of the positioning accuracy along the joint connection of details with the residual magnetization in electron beam welding	168
Krushenko G. G. The evolution of manufacture technology of pump bodies turbo-pump assembly LRE	174
Ravodina D. V., Trushkina T. V., Miheev A. E., Girn A. V., Khomenko I. I. Corrosion resistance MAO coatings on titanium alloy	180

PART 4. ECONOMICS

Batukova L. R., Zelenskaya T. V., Medvedev A. V. Economy innovative modernization: features of its realization in the raw orientation Siberian regions	188
Batukova L. R., Zelenskaya T. V., Medvedev A. V. Innovative modernization of Siberian regions economy: conceptual bases, basic provisions of the management organizational mechanism	196

Belyakov G. P., Anishchenko Y. A., Safronov M. V. Analysis of failed space launches from the point of space project risk management	208
Belyakova E. V., Belyakov R. A. Formation principles of the strategy of technological development for the regional industrial complex	216
Belyakova G. Y., Falaleev A. N., Shishkina N. A. The factors having impact on innovative and investment projects quality of hi-tech productions creation	221
Belyakova G. Y., Fokina D. A. Management tools of export potential with regard to the strategy development of the machine building enterprise	227
Brioukhanov Y. M., Lukin A. A., Fatyanova I. R. The statistical relationship between the level of money laundering, investment climate and innovation potential of regions of the Russian Federation	233
Bubnov V. A., Khaustov D. S., Khomenko G. A. Taxation polysystemic monopolies	245
Vasil'eva Z. A., Filimonenko I. V., Luk'yanova A. A., Falaleev A. N. The role of local markets in providing stability of regional economy in the time of conversion to innovation model of development	253
Gilts N. E., Kuimov V. V., Tayursky A. I. Controlling of production of innovative civilian products: conceptual approach, model, technique	262
Erygina L. V., Orlova K. V. Role of innovative small enterprises in modern economy	271
Erygina L. V., Smorodinov R. V., Senashov S. I. Main issues of implementation and assessment of innovation and investment projects of science-intensive production	276
Podverbnykh O. E., Semenkin E. S., Kuznetsov A. A., Samokhvalova S. M. Stimulation of innovation activity of high-tech enterprises	280
Ragozina M. A., Levko V. A., Lyachin V. I. Adaptive planning of the production program: features, concepts and principles	288
Smorodinov R. V., Smorodinova N. I. Indicators for assessing the effectiveness of innovation investment projects of high-tech industries	295
Fedotov D. V., Semenkin E. S. On forecasting economic indexes by means of neuroevolutionary models	299
Filimonenko I. V., Vasil'eva Z. A., Aleksandrov Y. L., Lyutykh Y. A. The variety of the local markets influence on the innovative development of the region	305
Chuvashova M. N. Systematization of factors affecting the quality of economic space of the regions with resource based economy	314
Information about the authors	324

РАЗДЕЛ
PART
1



МАТЕМАТИКА,
МЕХАНИКА,
ИНФОРМАТИКА

MATHEMATICS,
MECHANICS,
COMPUTER SCIENCE



**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ
ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ НА СЕТИ**

А. Н. Антамошкин, Л. А. Казаковцев

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: levk@bk.ru

Рассматривается p -медианная задача оптимального размещения на графе (сети), являющаяся популярной моделью как в логистических задачах (оптимальное размещение транспортной, телекоммуникационной и иной инфраструктуры), так и опосредованно в задачах кластерного анализа, распознавания образов, в теории оценивания. Цель p -медианной задачи на графе (сети) заключается в нахождении определенного числа вершин (узлов) таких, чтобы суммарное расстояние от всех узлов сети до ближайшей из выбранных вершин (узлов) было минимальным. Для приближенного решения рассматриваемой неразрешимой (в общем случае) за полиномиальное время задачи предложен эвристический алгоритм, основанный на идеях метода изменяющихся вероятностей, являющегося методом случайного поиска с адаптацией. Идея алгоритма заключается в случайном выборе вершин в соответствии с заданными вероятностями выбора каждой из вершин и изменении этих вероятностей для каждой из выбранных вершин и вершин в некоторой ее окрестности в зависимости от достигнутого значения целевой функции (т. е. в зависимости от суммарного расстояния от каждой из вершин графа до ближайшей из выбранных вершин). При создании алгоритма для p -медианных задач с большой размерностью и вычислительной сложностью ставится задача оптимального использования вычислительных мощностей. Эффективность алгоритма подтверждена экспериментальной проверкой на тестовых примерах из библиотеки ORLIB. Также приведены результаты работы комбинированного алгоритма – комбинации предложенного алгоритма с процедурой локального поиска для решения данной задачи. Экспериментально показано, что результаты такой комбинации превосходят результаты оригинального многократных запусков алгоритма, реализующего локальный поиск из случайным образом выбранных вершин. Кроме того, в работе экспериментально показано, что для небольших задач алгоритм способен получить точное решение задачи.

Ключевые слова: дискретная оптимизация, p -медианная задача, методы случайного поиска, задачи размещения.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 10–19**APPLICATION OF THE PROBABILITY CHANGING METHOD
FOR OPTIMAL LOCATION PROBLEMS ON A NETWORK**

A. N. Antamoshkin, L. A. Kazakovtsev

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: levk@bk.ru

In this paper, the authors consider the p -median optimal location problem on a graph (network) which is a popular model for both logistic problems (optimal transportation, telecommunication and other infrastructure elements placement) and problems of cluster analysis, pattern recognition and estimation theory. The aim of the p -median problem on a graph (network) is to find the given number p of vertices of a graph such that the total distance from each vertex to the nearest chosen vertex reaches its minimum. To solve this NP-hard (in general) problem approximately, the authors propose a heuristic algorithm based on ideas of the probability changing method which is a random search method with adaptation. The idea of the proposed algorithm is based on random choosing of vertices in accordance with the given probabilities of choosing each of them. The probabilities for every chosen vertex and its neighborhood alter depending on the value of the objective function (i.e. in accordance with the total distance from each of the vertices to the nearest chosen vertex). For the algorithm for the large-scale p -median problems, a problem of optimal use of computational capacity is important. The effectiveness of the proposed algorithm was proved experimentally on test datasets from the ORLIB (special dataset library for operations research). In addition, the authors illustrate the results for the proposed algorithm combined with a local search procedure for the considered problem. The

experiments show that the results of such combination exceed the results of the multiple start of the local search procedure from randomly chosen vertices. In addition, the experiments demonstrate the ability of the proposed algorithm to reach an exact solution for small problems.

Keywords: discrete optimization, p -median problem, methods of random search, the location problem.

Введение. Задачи размещения – класс задач оптимизации, в которых основными параметрами выступают координаты (местоположения) точек в некотором пространстве (непрерывном либо дискретном) и расстояния между ними [1; 2]. Задачи находят непосредственное практическое применение как при размещении производств, сетей, объектов инфраструктуры, датчиков и т. п., так и при решении задач кластерного анализа, распознавания образов, теории оценивания [3].

Задача Вебера (Ферма–Вебера) [1] – задача о поиске точки, сумма взвешенных расстояний от которой до известных точек (точек требования) минимальна, является обобщением простейшей задачи Ферма о нахождении точки, сумма расстояний от которой до трех известных точек минимальна, и имеет, в свою очередь, множество обобщений, главные из которых – множественная задача Вебера [4] и p -медианная задача [5] на плоскости или на сети:

$$F(X_1, X_2, \dots, X_M) = \sum_{i=1}^N w_i \min_{j \in \{1, M\}} L(X_j, A_i) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\{A_i \mid i = 1, N\}$ – множество точек требования; $\{X_j \mid j = 1, p\}$ – множество размещаемых точек; w_i – весовой коэффициент i -й точки требования; $L(\cdot)$ – функция расстояния.

В общем случае задача не может быть решена за полиномиальное время, алгоритм с полиномиальным временем известен только для деревьев [6]. Использование релаксации Лагранжа [7] позволяет получать приближенные решения задач размерности до $n = 3\,795$. Под размерностью задачи будем понимать число вершин графа.

Непрерывные задачи размещения в евклидовой метрике (l_2), а также в метриках l_1 (прямоугольной или манхэттенской) и l_∞ (чебышевской) изучены и созданы универсальные алгоритмы на основе процедуры Вайсфельда, исследована их вычислительная сложность [8; 9]. Решение тех же задач, например с запретными зонами [10], уже не является тривиальным. В практических задачах при использовании евклидовой или прямоугольной метрики такие модели являются достаточно грубым приближением [11; 12], поскольку не учитывают свойства пространства и средств транспортировки, в частности, наличие и качество дорог, барьеры, рельеф и т. п. Нередко функция расстояния является решением другой (вложенной) оптимизационной задачи и задается в этом случае алгоритмически [12]. Таким образом, и в случае задачи Вебера, зачастую целесообразной является ее дискретизация [13; 14]. Такие задачи можно рассматривать как p -медианные задачи на полном графе. Компромиссные подходы, сочетающие в формулировке задачи

элементы дискретного и непрерывного подходов, рассмотрены в [15–17].

В p -медианной задаче на сети [5], которая рассматривается в настоящей работе, поиск решений (медиан) осуществляется в известном конечном множестве узлов графа (сети). В данной задаче требуется выбрать p вершин таким образом, чтобы сумма взвешенных расстояний от каждой из вершин графа до ближайшей из выбранных вершин была минимальной. Такое множество будем называть p -медианой, а элементы этого множества – медианами.

Эвристические методы случайного поиска не гарантируют нахождение точного решения, но они статистически оптимальны: процент задач, решенных «почти оптимально», растет с ростом размерности задачи [18] (т. е. с ростом числа булевых переменных). При решении дискретных задач размещения применяется генетический алгоритм и другие методы [19; 20].

Изначально разработанный для решения безусловных задач псевдобулевой оптимизации, метод изменяющихся вероятностей (МИВЕР) [18; 21; 22] – это метод случайного поиска, который некоторыми авторами рассматривается как специфический вариант генетического алгоритма [23], в котором происходит полная смена поколения особей от итерации к итерации, а процедуре скрещивания соответствует процедура адаптации вероятностей и генерация нового поколения в соответствии с новыми вероятностями.

Алгоритм 1. Метод изменяющихся вероятностей.

Дано: $f_b(X)$ – псевдобулева целевая функция – вещественная функция N булевых переменных, R – предельное число итераций. Здесь $X = (x_1, \dots, x_N)$ – вектор булевых переменных.

1. Присвоить $k = 0$. Установить начальные значения вероятностей $P_k = \{p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{kN}\}$, где $p_{kj} = P\{x_j = 1\}$. Здесь и далее индекс k – номер итерации. Корректный выбор начальных значений P_0 – важная проблема, особенно при переходе к условной оптимизации.

2. В соответствии с вектором распределений P_k генерируется набор N_v векторов X_{ki} , $i \in \{1, \dots, N_v\}$, каждый элемент p_{kj} вектора P_k задает математическое ожидание генерации единицы в j -й компоненте векторов X_{ki} . Число генерируемых на каждом шаге векторов N_v называется размерностью популяции по аналогии с генетическим алгоритмом.

3. Вычисляется значение $f_b(X_{ki})$ для каждого из сгенерированных векторов.

4. Выбираются некоторые значения целевой функции $f_b(X_{ki})$ и соответствующие векторы X_{ki} , например, экземпляры сгенерированных векторов с максимальным и минимальным значением $f_b(X_{ki})$.

5. На основе результатов шага 4 модифицируется вектор P_k .

6. $k = k + 1$, если $k < R$, то переход к шагу 2. Возможны другие условия останова.

7. Иначе останов.

В задачах условной оптимизации применяются специальные модификации метода. Например, параллельные модификации алгоритма, предложенные в [24], позволяют решать задачи «рюкзачного» типа большой размерности (десятки тысяч переменных), а для задачи о коммивояжере, сформулированной в булевых переменных, число переменных может достигать 10^6 .

При создании алгоритма для p -медианных задач с большой размерностью и, соответственно, вычислительной сложностью, попутно должны быть решены задачи оптимального использования вычислительных мощностей. Прогнозируемое появление и распространение в ближайшем будущем персональных кластеров делают оправданной разработку параллельных алгоритмов размещения для систем с распределенной памятью. Эффективность параллельных алгоритмов на базе метода изменяющихся вероятностей, описанных в [13; 25; 26], для задач большой размерности доказана экспериментально.

Целью данной работы является адаптация метода изменяющихся вероятностей для решения p -медианной задачи и исследование применимости полученного алгоритма для решения задач большой размерности ($n > 500$).

Постановка задачи, алгоритм расчета значения целевой функции. Пусть $G = (V, E)$ – ненаправленный связный граф (сеть), $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ – множество вершин, $E = \{e_i | i = \overline{1, m}\}$ – множество ребер, $e_i = (v_j, v_k)$, $j \in \{1, \dots, n\}$, $k \in \{1, \dots, n\} \forall i = \overline{1, m}$ без петель, т. е. $e_i \neq (v_j, v_j)$, $\forall i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$. Каждому ребру e_i поставлена в соответствие его длина $l_i > 0$ (для $e_i = (v_j, v_k)$ введем обозначение $l_{jk} = l_i$), каждой j -й вершине поставлен в соответствие вес $w_j \geq 0$. Для любой пары вершин (i, j) определена функция расстояния $L(i, j)$ – длина кратчайшего пути между данными вершинами:

$$L(i, j) = \sum_{k \in P_{i,j}^*} l_k = \min_{P_{path} \in P_{i,j}} \sum_{k \in P_{path}} l_k,$$

где $P_{i,j}^*$ – множество ребер, составляющих кратчайший путь между i -й и j -й вершинами; $P_{i,j}$ – множество всех возможных путей между данными вершинами; P_{path} – любой путь из множества возможных путей $P_{i,j}$.

Тогда p -медианную задачу можно сформулировать как

$$\begin{aligned} & \min_{m_1, \dots, m_p \in \{1, n\}} f(m_1, \dots, m_p) = \\ & = \min_{m_1, \dots, m_p \in \{1, n\}} \sum_{i=1}^n w_i \min_{j \in \{1, n\}} L(m_j, i), p < n. \end{aligned} \quad (2)$$

Введем дополнительные обозначения.

$C_i = \{k \in \{1, n\} | \exists e_j = (v_i, v_k), j \in \{1, m\}\}$ – множество индексов окружения i -й вершины (ее окрестности первого порядка);

$l_i^* = \min_{j=1, p} L(m_j, i)$ – длина кратчайшего пути из i -й вершины до ближайшей из p вершин $m_1, \dots, m_p$.

Значения функции $f(m_1, \dots, m_p)$ вычислим с помощью модификации алгоритма Дейкстры [27]:

Алгоритм 2. Расчет значения целевой функции.

Дано: индексы p выбранных вершин $m_1, \dots, m_p$.

1. Присвоить $l_i^* = +\infty \forall i = \overline{1, n}$.

2. Присвоить $l_{m_i}^* = 0 \forall i = \overline{1, p}$.

3. Присвоить $V^* = \{m_1, \dots, m_p\}$; $V^{**} = V^*$.

4. Пока $V^{**} \neq \emptyset$, цикл:

4.1. Пока $V' = \emptyset$.

4.2. Для $i \in V^{**}$ цикл:

4.2.1. Для $j \in C_i$ цикл:

4.2.1.1. Если $j \notin V^*$, тогда $V' = V' \cup \{j\}$; $l_j^* = l_i^* + l_{i,j}$.

4.2.1.2. Иначе, если $l_j^* > l_i^* + l_{i,j}$, тогда $l_j^* = l_i^* + l_{i,j}$.

4.2.1.3. Конец цикла 4.2.1.

4.2.2. Конец цикла 4.2.

4.3. Присвоить $V^{**} = V'$; $V^* = V^* \cup V'$.

4.4. Конец цикла 4.

5. Возврат $f(m_1, \dots, m_p) = \sum_{i=1}^n w_i l_i^*$.

Метод изменяющихся вероятностей является методом псевдобулевой оптимизации, для его применения целевая функция должна быть выражена как функция булевых переменных.

Введем новые переменные $x_1, \dots, x_n$:

$$x_i = \begin{cases} 1, & i \in \{m_1, \dots, m_p\}; \\ 0, & i \notin \{m_1, \dots, m_p\}. \end{cases} \quad (3)$$

В случае булевых переменных задача имеет ограничение

$$\sum_{i=1}^n x_i = p. \quad (4)$$

Обратный переход к исходным целочисленным переменным осуществляется следующим образом:

$$\{m_1, \dots, m_p\} = \{i | x_i = 1, i = \overline{1, n}\}.$$

Задачу с псевдобулевой целевой функцией можно сформулировать следующим образом:

$$\begin{aligned} & f_b(x_1, \dots, x_n) = f(\{j | x_j = 1, j = \overline{1, n}\}) = \\ & = \sum_{i=1}^n w_i \min_{\{j | x_j = 1, j = \overline{1, n}\}} L(j, i) \end{aligned}$$

с ограничением (4).

В данном виде задача может быть решена различными методами псевдобулевой оптимизации, в том числе и методом изменяющихся вероятностей. Предлагаемый нами алгоритм на базе метода изменяющихся вероятностей учитывает условие (4) на этапе

генерации очередной популяции векторов (шаг 2 алгоритма 1).

Алгоритм на базе метода изменяющихся вероятностей. Пусть $L_{\max}$ – диаметр графа (максимальное из расстояний между парами вершин):

$$L_{\max} = \max_{i,j \in \{1, \dots, n\}} L(i, j),$$

l_{avg} – средняя длина ребра:

$$l_{\text{avg}} = \sum_{j=1}^m l_j / m.$$

Наш алгоритм основан на следующих предположениях:

1. При

$$l_{\text{avg}} / L_{\max} \rightarrow 0 \quad (5)$$

свойства задачи размещения на сети приближаются к свойствам непрерывной задачи, а именно: при замене в решении $\{m_1, \dots, m_p\}$ любой m_i -й вершины на другую j -ю вершину такую, что $L(j, m_i)$ мало, изменение значения целевой функции будет малым.

2. Если в решении $\{m_1, \dots, m_p\}$ для любых двух вершин v_{m_i} и v_{m_j} расстояние $L(m_i, m_j)$ мало, велика вероятность того, что при замене одной из компонент решения m_j на k -ю точку такую, что $L(m_i, k) \gg \gg L(m_i, m_j)$, значение целевой функции для нового решения будет ближе к оптимальному:

$$f(m_1, \dots, m_i, \dots, m_j, \dots, m_p) > f(m_1, \dots, m_i, \dots, k, \dots, m_p).$$

Под «малым» расстоянием будем подразумевать $L(m_i, m_j) < L_0, L_0 = \text{const}$.

Эксперимент для доказательства данного утверждения приведен ниже.

Наша модификация алгоритма 1 сводится к изменению на шагах 2 и 5.

На шаге генерации экземпляров вектора X должно быть учтено ограничение (4). Это достигается следующим алгоритмом.

Алгоритм 3. Генерация одного члена популяции на шаге 2 алгоритма 1.

Дано: вектор вероятностей $P = (p_1, \dots, p_n)$, число вершин в решении p .

1. Присвоить $\chi = \emptyset$.

2. Пока $|\chi| < p$, цикл:

$$2.1. r = \text{Random}(\cdot) \cdot \sum_{j=1}^n p_j; S = 0.$$

2.2. Для каждого $j \in \{1, n\}$ цикл:

2.2.1. Присвоить $S = S + p_j$.

2.2.2. Если $S \geq r$, тогда $\chi = \chi \cup \{j\}$; прервать цикл

2.2.

2.2.3. Конец цикла 2.2.

2.3. Конец цикла 2.

3. Возврат χ .

Результатом алгоритма является множество χ .

Соответствующий вектор X_{ki} , $i \in \{1, \dots, N_v\}$ (см. шаг 2 алгоритма 1), может быть получен согласно формуле (3).

Здесь $\text{Random}()$ – функция, генерирующая случайные значения в интервале $[0,1)$ с равномерным распределением.

Данный алгоритм имеет следующую геометрическую интерпретацию. Расположим на числовой прямой, начиная от точки 0, смежные отрезки $S_1, \dots, S_n$, причем длина i -го отрезка равна p_i , $i = 1, n$. Длина

суммарного отрезка равна $\sum_{j=1}^n p_j$. Выберем случайную

точку r на суммарном отрезке. Определим, какому из отрезков $S_1, \dots, S_n$ она принадлежит. Вероятность попадания r в отрезок S_i пропорциональна p_i . Дополним множество χ соответствующим индексом. Повторим, пока в χ не наберется p индексов.

В следующей версии алгоритма снижается вероятность генерации решений с близкими друг к другу вершинами:

Алгоритм 4. Модифицированная процедура генерации члена популяции.

Дано: вектор вероятностей $P = (p_1, \dots, p_n)$, число вершин в решении p .

1. Присвоить $\chi = \emptyset$.

2. Пока $|\chi| < p$, цикл:

2.1. $P^* = P$.

$$2.2. r = \text{Random}(\cdot) \cdot \sum_{j=1}^n p_j^*; S = 0.$$

2.3. Для каждого $j \in \{1, n\}$ цикл:

2.3.1. Присвоить $S = S + p_j^*$.

2.3.2. Если $S \geq r$, тогда $\chi = \chi \cup \{j\}$; $j' = j$; прервать цикл 2.3.

2.3.3. Конец цикла 2.3.

2.4. Для каждого $j \in \{k \in \{1, n\} \mid L(j', k) < L_0\}$ присвоить $p_j^* = p_j^* \cdot L(j, j') / L_0$; конец цикла 2.4.

2.5. Конец цикла 2.

3. Возврат χ .

Алгоритм 4 дополнительно оперирует вторым временным вектором вероятностей P^* , компоненты которого меняются по ходу генерации элементов множества χ . Если на очередной итерации множество дополнено индексом j' , то вероятности p_j , соответствующие вершинам, лежащим от вершины $v_{j'}$ на расстоянии, не превышающем L_0 , уменьшаются, дабы избежать генерации близких друг к другу вершин в решении.

Шаг 5 алгоритма 1 (адаптация вектора вероятностей) на k -й итерации выполняется по формулам

$$p_{k,i} = p_{(k-1),i} \cdot d_{k,i};$$

$$d_{k,i} = d_{k,i}^b / d_{k,i}^w;$$

$$d_{k,i}^b = \begin{cases} 1 + L_0 / (1 + L(i^b, i)), & L(i, i^b) < L_0; \\ 1, & L(i, i^b) \geq L_0; \end{cases}$$

$$d_{k,i}^w = \begin{cases} 1 + L_0 / (1 + L(i^w, i)), & L(i, i^w) < L_0; \\ 1, & L(i, i^w) \geq L_0. \end{cases}$$

Здесь i^b и i^w – ближайшие к i -й вершине такие, что $i^b \in \chi^b$, $i^w \in \chi^w$, где χ^b и χ^w – те экземпляры сгенерированных алгоритмом 2 или алгоритмом 3 множеств индексов, входящих в решение вершин χ , в которых целевая функция принимает лучшее (минимальное) и худшее (максимальное) значения.

Следует отметить, что дискретизированную задачу Вебера, описанную в [13], можно считать частным случаем рассматриваемой в настоящей работе задачи на сети, вследствие чего предлагаемые алгоритмы имеют некоторое сходство.

Результаты экспериментов. Сначала докажем экспериментом состоятельность предположения 2.

Алгоритм 5. Дано: граф G с n вершинами, количество вершин в решении p , предельное расстояние L_0 .

1. Присвоить $N = 0$, $N_> = 0$.

2. Выбрать случайным образом p индексов вершин из n : $m_1, \dots, m_p \in \overline{1, n}$.

3. Если не существуют $i, j \in \overline{1, p} : L(m_i, m_j) < L_0$, то перейти к шагу 2.

4. Выбрать случайным образом $k \in \overline{1, n}$. Если $L(k, m_j) < L_0$, то повторить шаг 4.

5. Если $f(m_1, \dots, m_i, \dots, m_j, \dots, m_p) \geq f(m_1, \dots, m_i, \dots, k, \dots, m_p)$, то $N_> = N_> + 1$.

6. Присвоить $N = N + 1$; если $N < 1\,000$, то перейти к шагу 2.

7. Останов, возврат $P_> = N_> / 1000$.

Результаты работы алгоритма 5 для автоматически сгенерированных задач (см. алгоритм 6) и для задач rmed22 и rmed39 из набора тестовых задач ORLIB [28] представлены на рис. 1. Оценка вероятности дана в процентах. Для задач rmed22 и rmed39, благодаря специфике их генерации [28], соотношение l_{avg} / L_{max} велико, и условие предположения 2 выполняется лишь при очень малых значениях L_0 (много меньших, чем l_{avg}).

Для целей тестирования по основной теме статьи мы использовали автоматически сгенерированные тестовые задачи (см. алгоритм 6), схема одной из которых показана на рис. 2, а. Здесь длины ребер изображены в масштабе, диаметр вершин на изображении соответствует их весовому коэффициенту. На рис. 2 также изображено полученное нашим алгоритмом решение для $p = 32$. Здесь вершины, входящие в решение, обведены. Расстояние от каждой вершины до ближайшей вершины, входящей в решение, отмечено соответствующим цветом: вершины с меньшим расстоянием изображены темным цветом, с большим – светлым.

Алгоритм 6. Генератор тестовых задач.

Дано: n – число вершин.

1. Для каждого $i \in \overline{1, n}$ цикл: $a_i = \text{Random}() \cdot 500$; $b_i = \text{Random}() \cdot 500$, $w_i = 0,5 + \text{Random}() \cdot 10$; конец цикла.

2. Заполнить матрицу смежности A нулевыми значениями; множество ребер $E = \emptyset$.

3. Для $i \in \overline{1, n}$ цикл:

3.1. Если $i > 0,7n$, тогда $D_i = 1$.

3.2. Иначе, если $i > 0,3n$, тогда $D_i = 2$.

3.3. Иначе $D_i = 3 + [\text{Random}() \cdot 4]$.

3.4. Для $d \in \{1, \sum_{j=1}^n A_{i,j}\}$ цикл:

$j = \arg \min_{j \in \overline{1, n}, A_{i,j} > 0} (|a_i - a_j| + |b_i - b_j|)$; $A_{i,j} = 1$; $A_{j,i} = 1$;

добавить к множеству E ребро (i, j) ;

$l_{i,j} = |a_i - a_j| + |b_i - b_j|$; конец цикла.

4. Останов, возврат результатов: матрица смежности A , множество ребер E , длины ребер $l_{i,j}$, где $(i, j) \in E$, весовые коэффициенты w_i , где $i \in \overline{1, n}$.

В алгоритме 6 $\text{Random}()$ – функция, генерирующая случайные значения в интервале $[0, 1]$ с равномерным распределением. На шаге 3.4 ведется поиск вершин, близких к i -й, которые соединяются с ней ребрами, вследствие чего l_{avg} / L_{max} мало (см. условие (5)).

Ход решения (изменение значений вероятностей) проиллюстрирован на рис. 3, где вершины, для которых вероятность попадания в экземпляр решения максимальна, изображены светлым цветом, вершины с минимальной вероятностью – темным.

Диаметр окрестности L_0 – важный параметр, во многом определяющий эффективность работы алгоритма. При $p = 12$ сравнение результатов при различных значениях этого параметра показано на рис. 4.

Для построения графика зависимости достигнутого значения целевой функции от количества выполненных итераций k (см. шаг 6 алгоритма 1) в алгоритм добавлены специальные команды, записывающие значение целевой функции в массив. Для задачи, схема которой дана на рис. 2 ($n = 500$, $p = 12$), выполнялось по 10 запусков алгоритма с каждым из значений $L_0 \in \{1, 3, 10, 25, 50, 90, 120, 170, 250, 350, 500, 750\}$. На графике показаны усредненные значения для 10 запусков, достигнутые после каждой итерации. Линии $L_0 = 0$ соответствует алгоритм, не учитывающий соседство вершин, в котором генерация поколений экземпляров векторов X осуществляется согласно алгоритму 3. Наилучшие результаты достигаются при $L_0 = 90$. Оптимальное значение параметра L_0 зависит от параметра p . Тем не менее при изменении параметра L_0 в широком диапазоне ($L_0 = 10 \dots 350$) для данной задачи алгоритм стабильно показывает лучшие результаты, чем «классический» алгоритм схемы МИВЕР с генерацией экземпляров вектора X согласно алгоритму 3.

Применимость алгоритма для задач большой размерности проверена на тестовом примере с $n = 5\,000$ (рис. 5). Использовалась вычислительная система DEPO X8Sti (6-core CPU Xeon X5650 2.67 GHz, 12Gb RAM), HyperThreading отключен, компилятор ifort с опцией полной оптимизации (-O3).

Сравнение с алгоритмами, дающими точное решение, затруднено вследствие высокой вычислительной сложности задач. Так, например, метод ветвей и границ при соответствии задачи условию (5) практически вырождается в процедуру полного перебора. Методы,

предложенные Хаками [5], также имеют экспоненциальную асимптотическую сложность. Для $p = 3$ сравнение результата на сети с 170 вершинами, полученного нашим алгоритмом и алгоритмом случайного поиска без адаптации (хаотический поиск, при котором на каждой итерации случайным образом выбираются p вершин), с точным результатом, полученным полным перебором (горизонтальная асимптота), показано на рис. 6. Для построения графика к шагу 6 алгоритма 1 добавлены команды, которые через каждые 10 итераций фиксируют в специальном массиве достигнутое значение целевой функции и время с момента запуска алгоритма. Запуск алгоритма 1 и алгоритма хаотического поиска осуществлен по 10 раз, на рис. 6 показан усредненный (для 10 запусков) результат хаотического поиска и худший (из 10 запусков) результат нашего алгоритма на базе метода изменяющихся вероятностей. Следует отметить, что модифицированный алгоритм как улучшает усредненные результаты 10 запусков, так и несколько сужает разброс результатов. Так, анализ наихудших значений, полу-

ченных алгоритмами после 10 запусков, дает картину, аналогичную на рис. 6. Вычислительная сложность полного перебора эквивалентна 402 220 итерациям алгоритма 1 (требуется 4 826 640 вычислений целевой функции, алгоритм генерирует на каждом шаге 12 экземпляров вектора X).

Скомбинируем предложенный алгоритм с процедурой локального поиска. Дополним алгоритм 2 шагом 0:

Шаг 0 алгоритма 2: запустить процедуру локального поиска из начального множества вершин с индексами $m_1, \dots, m_p$.

Мы будем использовать простейший [29] из множества методов локального поиска для данной задачи [30] – поиск в окрестности, состоящей из вершин, смежных с выбранными вершинами $m_1, \dots, m_p$. Сравнение результатов полученного алгоритма с результатами многократного запуска процедуры локального поиска из случайно (хаотически) выбранных вершин для сгенерированной задачи большой размерности показано на рис. 7.

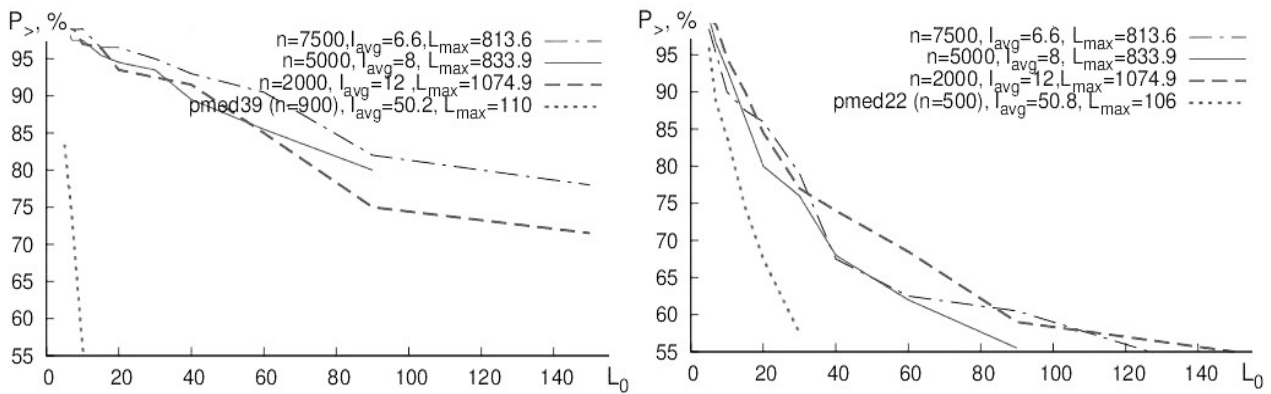


Рис. 1. Соотношение оценки вероятности выполнения условия предположения 2 и предельного расстояния L_0 для сгенерированных задач и задач из библиотеки ORLIB (pmed39 и pmed22). Указаны параметры задачи: n – число вершин сети, l_{avg} – среднее, L_{max} – максимальное расстояние между вершинами в сети

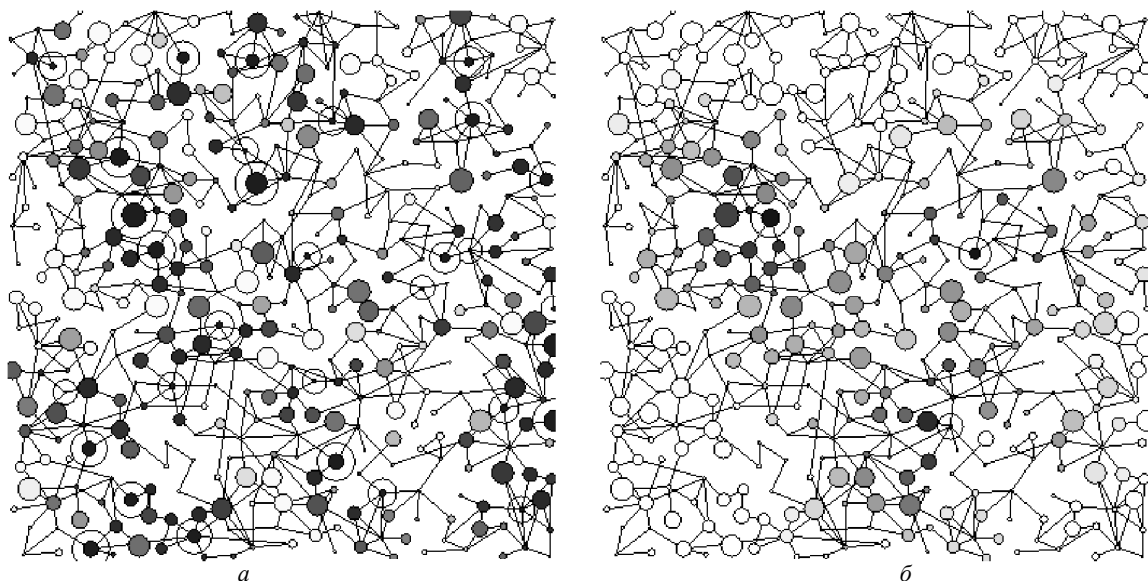


Рис. 2. Схема сгенерированной задачи ($n = 500$) и ее решения (обведены окружностями):
а – решение для $p = 32$; б – решение для $p = 3$

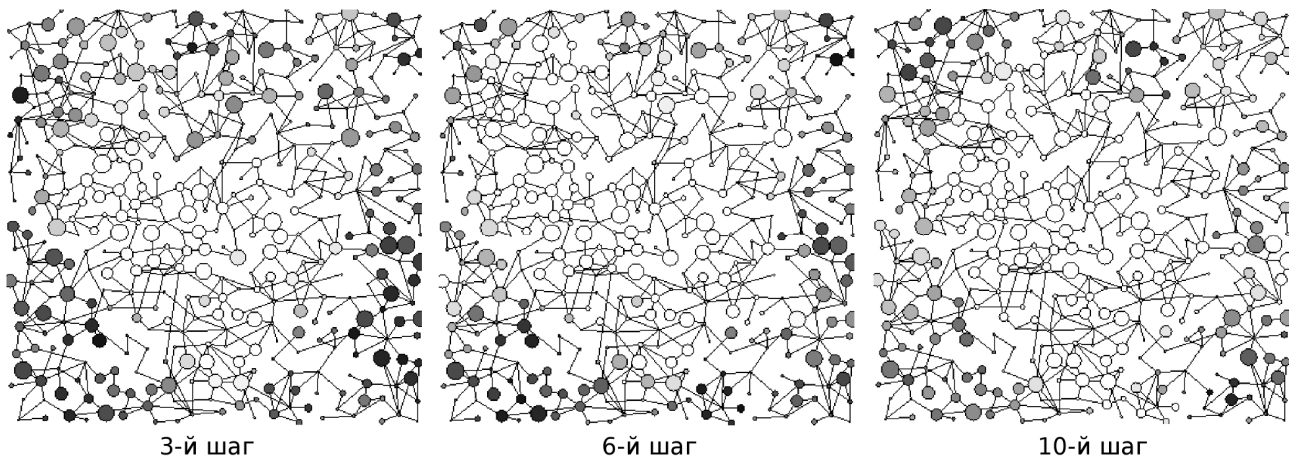


Рис. 3. Ход решения (изменение значений вероятностей) для $p = 3$, $L_0 = 100$

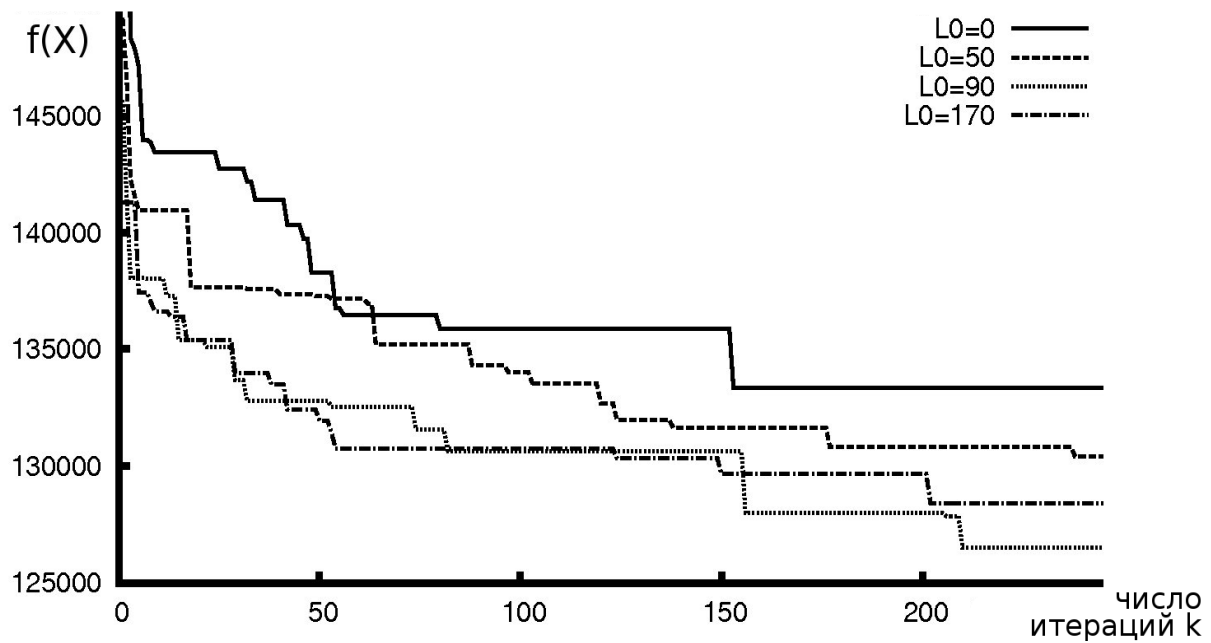


Рис. 4. Сравнение результатов с различными значениями параметра L_0 , $p = 12$

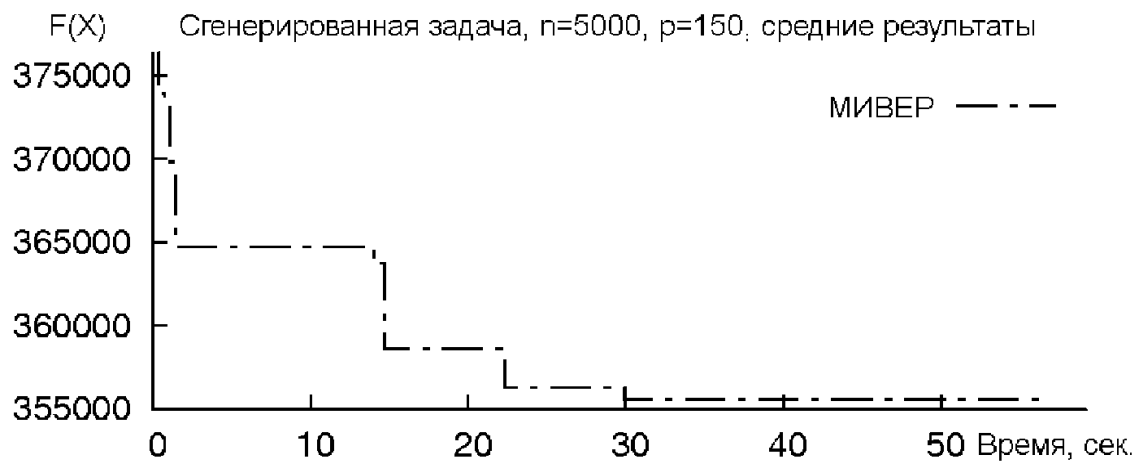


Рис. 5. Усредненные результаты для 10 попыток запуска тестового примера с $n = 5\,000$

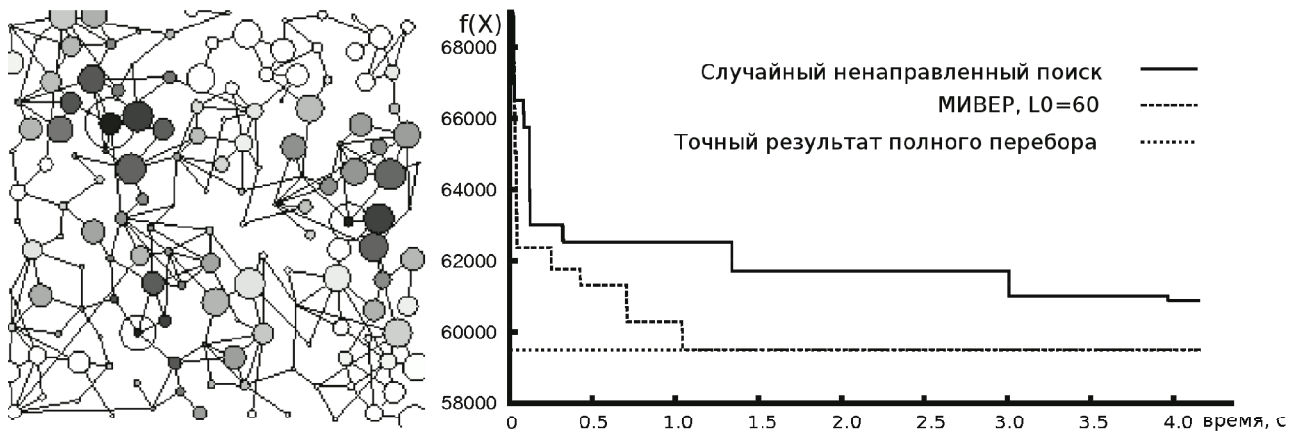


Рис. 6. Схема задачи с оптимальным решением и сравнение результата алгоритма для $p = 3$ с результатом хаотического поиска и полного перебора

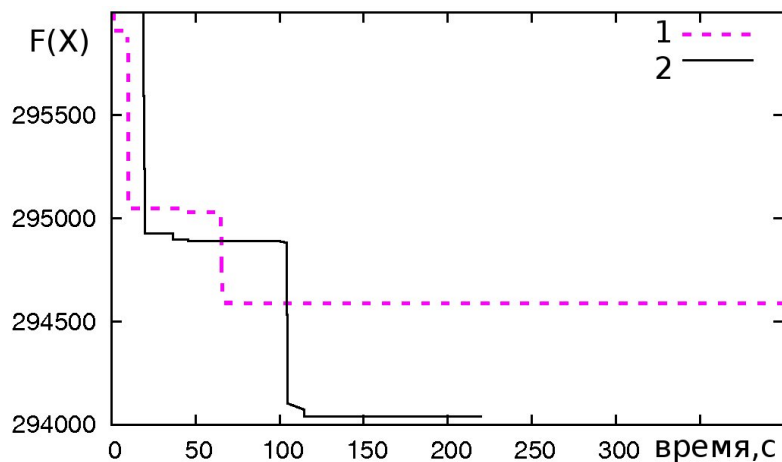


Рис. 7. Сравнение результатов комбинированного с локальным поиском алгоритма с результатами локального поиска из хаотически выбранных вершин. Сгенерированная задача, $n = 7500$, $p = 10$: 1 – комбинированный алгоритм, 2 – локальный поиск

Заключение. Предложенный эвристический алгоритм на базе метода изменяющихся вероятностей может быть использован для решения p -медианной задачи на сети при условии, что длины ребер сети много меньше, чем ожидаемая длина пути между произвольно выбранными вершинами. Поиск оптимальных параметров алгоритма остается темой дальнейших исследований.

Библиографические ссылки

1. Wesolowsky G. The Weber problem: History and perspectives // Location Science. 1993. Vol. 1. P. 53.
2. Drezner Z., Wesolowsky G. O. A Trajectory Method for the Optimization of the Multifacility Location Problem with lp Distances // Management Science. 1978. Vol. 24. P. 1507–1514.
3. Osinuga I. A., Bamigbola O. N. On the Minimum Norm Solution to Weber problem // SAMSA Conference Proceedings. Windhoek, 2007. P. 27–30.
4. Cooper L. An extension of the generalized Weber problem // Journal of Regional Science. 1968. Vol. 8, Iss. 2. P. 181–197.
5. Hakimi S. L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph // Operations Research. 1964. Iss. 12(3). P. 450–459.
6. Kariv O., Hakimi S. L. An algorithmic approach to network location problems. II. The p -medians // SIAM Journal on Applied Mathematics. 1979. Vol. 37(3). P. 539–560.
7. Avella P., Sassano A., Vasil'ev I. Computational Study of Large-Scale p -Median Problems // Mathematical Programming. 2007. Vol. 109(1). P. 89–114.
8. Masuyama, S., Ibaraki T., Hasegawa T. The Computational Complexity of the m -Center Problems on the Plane // The Transactions of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan. 1981. Vol. 64E. P. 57–64.
9. Megiddo N., Supowit K. On the Complexity of Some Common Geometric Location Problems // SIAM Journal on Computing. 1984. No. 13. P. 182–196.
10. Забудский Г. Г., Нежинский И. В. Решение задачи размещения в евклидовом пространстве с запрещенной областью // Вестник Омского университета. 1999. № 2. С. 17–19.

11. Morris J. G. Convergence of the Weiszfeld Algorithm for Weber Problems Using a Generalized "Distance" Function // *Operations Research*. 1981. Vol. 29, No. 1. P. 37–48.
12. Wesolowsky G. O, Love R. F. A Nonlinear Approximation Method for Solving a Generalized Rectangular Distance Weber Problem // *Management Science*. 1972. Vol. 18, No. 11. P. 656–663.
13. Kazakovtsev L. A. Adaptation of the Probability Changing Method for Weber Problem with an Arbitrary Metric // *Facta Universitatis series Mathematics and Informatics*, University of Nis. 2012. Vol. 27, No. 2. P. 239–254.
14. Антамошкин А. Н., Казаковцев Л. А. Алгоритм случайного поиска для обобщенной задачи Вебера в дискретных координатах // *Информатика и системы управления*. 2013. Вып. 1. С. 87–98.
15. Single-facility Weber Location Problem Based on the Lift Metric / P. S. Stanimirovic [et al.] // *Facta Universitatis series Mathematics and Informatics*. 2012. Vol. 27, No. 2. P. 175–190.
16. Gugat M., Pfeiffer B. Weber problems with mixed distances and regional demand // *Math. Meth. Oper. Res.* 2007. Iss. 66. P. 419–449.
17. Bischoff M., Fleischmann T., Klamroth K. The Multi-Facility Location-Allocation Problem with Polyhedral Barriers // *Computers and Operations Research*. 2009. No. 36. P. 1376–1392.
18. Антамошкин А. Н., Сараев В. Н. Метод изменяющихся вероятностей // *Проблемы случайного поиска*. Рига : Зинатне. 1988. Вып. 11. С. 26–34.
19. A Comprehensive Study of Optimization Algorithm for Wireless Coverage in Indoor Area / A. W. Reza [et al.] // *Optimization Letters*. 2012. Doi 10.1007/s11590-012-0543-z. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11590-012-0543-z?LI=true> (дата обращения: 10.05.2013).
20. Alp O., Erkut E., Drezner Z. An Efficient Genetic Algorithm for the p-Median Problem // *Annals of Operations Research*. 2003. Vol. 122, Iss. 1–4. P. 21–42.
21. Antamoshkin A., Saraev V. On Definition of Informative Subsystem of Signs in the Pattern Recognition Problem // *Computers and Artificial Intelligence*. 1985. Vol. 4, Iss. 3. P. 245–252.
22. Antamoshkin A. Brainware for Searchal Pseudoboolean Optimization // *Tr. of Tenth Prague Conf. on Inf. Theory, Stat.Dec. Functions, Random Processes*. Prague : Academia. 1987. Vol. 10A-B. P. 203–206.
23. Дегтерев А. С., Канашкин Ф. В., Сумароков А. Д. Обобщение генетических алгоритмов и алгоритмов схемы МИВЕР [Электронный ресурс] // *Электронный журнал «Исследовано в России»*. 2004. Т. 7. С. 1658–1665. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/153.pdf> (дата обращения: 13.05.2013).
24. Казаковцев Л. А., Ступина А. А. Параллельная реализация метода изменяющихся вероятностей // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. URL: www.science-education.ru/104-6810 (дата обращения: 31.10.2012).
25. Kazakovtsev L. A. Random Constrained Pseudo-Boolean Optimization Algorithm for Multiprocessor Systems and Clusters // *ICUMT 2012, International Congress on Ultra-Modern Telecommunications*. IEEE Press. S-Petersburg, 2012. P. 650–656.
26. Казаковцев Л. А. Параллельный алгоритм случайного поиска с адаптацией для систем с распределенной памятью // *Системы управления и информационные технологии*. 2012. № 3 (49). С. 11–15.
27. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs // *Numerische Mathematik*. 1959. Vol. 1. P. 269–271.
28. Beasley J. E. OR-Library: distributing test problems by electronic mail // *Journal of the Operational Research Society*. 1990. Vol. 41, No. 11. P. 1069–1072.
29. Antamoshkin A. N., Kazakovtsev L. A. Random Search Algorithm for the p-Median Problem // *Informatica (Ljubljana)*. 2013. Vol. 37(1). Pp. 267–278.
30. Scatter Search and Path Relinking: Fundamentals, Advances and Applications / M. G. C. Resende [et al.] // *Handbook of Metaheuristics*. 2nd ed. / M. Gendreau and Y. Potvin (editors). Springer, 2010. Pp. 87–107.

References

1. Wesolowsky G. The Weber problem: History and perspectives. *Location Science*. 1993, vol. 1, p. 53.
2. Drezner Z., Wesolowsky G. O. A Trajectory Method for the Optimization of the Multifacility Location Problem with lp Distances. *Management Science*. 1978, vol. 24, p. 1507–1514.
3. Osinuga I. A., Bamigbola O. N. On the Minimum Norm Solution to Weber problem. *SAMSA Conference Proceedings*. Windhoek, 2007, p. 27–30.
4. Cooper L. An extension of the generalized Weber problem. *Journal of Regional Science*. 1968, vol. 8, Iss. 2, p. 181–197.
5. Hakimi S. L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*. 1964, Iss. 12(3), p. 450–459.
6. Kariv O., Hakimi S. L. An algorithmic approach to the network location problems. II. The p-medians. *SIAM Journal on Applied Mathematics*. 1979, vol. 37(3), p. 539–560.
7. Avella P., Sassano A., Vasil'ev I. Computational Study of Large-Scale p-Median Problems. *Mathematical Programming*. 2007, vol. 109(1), p. 89–114.
8. Masuyama S., Ibaraki T., Hasegawa T. The Computational Complexity of the m-Center Problems on the Plane. *The Transactions of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan*. 1981, vol. 64E, p. 57–64.
9. Megiddo N., Supowit K. On the Complexity of Some Common Geometric Location Problems. *SIAM Journal on Computing*. 1984, no. 13, p. 182–196.
10. Zabudsky G. G., Nezinsky I. V. [Solution to the problem of accommodation in Euclidean space with a prohibited area]. *Byulleten Omskogo universiteta*. 1999, no. 2, p. 17–19 (In Russ.).
11. Morris J. G. Convergence of the Weiszfeld Algorithm for Weber Problems Using a Generalized "Distance" Function. *Operations Research*. 1981, vol. 29, no. 1, p. 37–48.
12. Wesolowsky G. O, Love R. F. A Nonlinear Approximation Method for Solving a Generalized

Rectangular Distance Weber Problem. *Management Science*. 1972, vol. 18, no. 11, p. 656–663.

13. Kazakovtsev L. A., Adaptation of the Probability Changing Method for Weber Problem with an Arbitrary Metric. *Facta Universitatis series Mathematics and Informatics, University of Nis*. 2012, vol. 27, no. 2, p. 239–254.

14. Antavoshkin A. N., Kazakovtsev L. A. [Random search algorithm for the generalized Weber problem in discrete coordinates]. *Informatika i sistemy upravleniya*. 2013, vol. 1, p. 87–98 (In Russ.).

15. Stanimirovic P. S., Ciric M., Kazakovtsev L. A., Osinuga I. A. Single-facility Weber Location Problem Based on the Lift Metric. *Facta Universitatis series Mathematics and Informatics*. 2012, vol. 27, no. 2, p. 175–190.

16. Gugat M., Pfeiffer B. Weber problems with mixed distances and regional demand. *Math. Meth. Oper. Res.* 2007, Iss. 66, p. 419–449.

17. Bischoff M., Fleischmann T., Klamroth K. The Multi-Facility Location-Allocation Problem with Polyhedral Barriers. *Computers and Operations Research*. 2009, no. 36, p. 1376–1392.

18. Antamoshkin A. N., Saraev V. N. [Probability changing method]. *Problemy sluchainogo poiska*. 1988, Iss. 11, p. 26–34 (In Russ.).

19. Reza A. W., Dimyati K., Noordin K. A., Kausar A. S. M. Z., Sarker Md. S. A Comprehensive Study of Optimization Algorithm for Wireless Coverage in Indoor Area. *Optimization Letters*. 2012. doi 10.1007/s11590-012-0543-z, Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11590-012-0543-z?LI=true> (accessed 10.05.2013).

20. Alp O., Erkut E. and Drezner Z. An Efficient Genetic Algorithm for the p-Median Problem. *Annals of Operations Research*. 2003, vol. 122, Iss. 1–4, p. 21–42.

21. Antamoshkin A., Saraev V. On Definition of Informative Subsystem of Signs in the Pattern Recognition Problem. *Computers and Artificial Intelligence*. 1985, vol. 4, Iss. 3, p. 245–252.

22. Antamoshkin A. Brainware for Searchal Pseudoboolean Optimization. *Tr. of Tenth Prague Conf.*

on Inf. Theory, Stat.Dec. Functions, Random Processes. Prague: Academia. 1987, vol. 10A-B, p. 203–206.

23. Degterev A. S., Kanashkin F. V., Sumarov A. D. [Generalization of genetic algorithms and algorithms of MIVER scheme]. *Issledovano v Rossii*. 2004, vol 7, p. 1658–1665. (In Russ.). Available at: <http://zhurnal.apelarn.ru/articles/2004/153.pdf> (accessed: 13.05.2013)

24. Kazakovtsev L. A., Stupina A. A. [Parallel implementation of the probability changing method]. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya*. 2012, no. 4 (In Russ.). Available at: www.science-education.ru/104-6810 (accessed: 31.10.2012).

25. Kazakovtsev L. A. Random Constrained Pseudo-Boolean Optimization Algorithm for Multiprocessor Systems and Clusters. ICUMT 2012, International Congress on Ultra-Modern Telecommunications. IEEE Press. S-Petersburg, 2012. P. 650–656.

26. Kazakovtsev L. A. [Parallel algorithm of random search with adaptation for systems with distributed memory]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2012, no. 3(49), p. 11–15 (In Russ.).

27. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*. 1959, vol. 1, p. 269–271.

28. Beasley J. E. OR-Library: distributing test problems by electronic mail. *Journal of the Operational Research Society*. 1990, vol. 41, no. 11, p. 1069–1072.

29. Antamoshkin A. N., Kazakovtsev L. A. Random Search Algorithm for the p-Median Problem. *Informatica (Ljubljana)*. 2013, vol. 37(1), p. 267–278.

30. Resende M. G. C., Ribero C. C., Glover F., Marti R. Scatter Search and Path Relinking: Fundamentals, Advances and Applications. *Handbook of Metaheuristics*, 2nd edition, Gendreau M. and Potvin Y. (editors), Springer, 2010, p. 87–107.

**ВЫБОР ЛОГИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
РЕШАЮЩЕГО ПРАВИЛА РАСПОЗНАВАНИЯ**

А. Н. Антамошкин, И. С. Масич

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: i-masich@yandex.ru

Исследуется один из аспектов построения логических алгоритмов распознавания – отбор закономерностей из множества найденных закономерностей в данных.

Рассматривается задача распознавания объектов, описываемых бинарными признаками и разделенных на два класса. В результате выполнения процедуры поиска закономерностей по обучающей выборке (набору исходных данных) найден ряд закономерностей. Встает вопрос отбора закономерностей из общего их числа для формирования решающего правила, что способно не только уменьшить его размер, но и повысить качество распознавания.

Один из способов произвести отбор закономерностей – выделить подмножество закономерностей, которые необходимы для покрытия всех объектов обучающей выборки. Эта задача формулируется в виде задачи оптимизации. Полученная оптимизационная модель представляет собой задачу условной псевдобулевой оптимизации, в которой целевая функция и функции в ограничениях являются унимодальными монотонными псевдобулевыми функциями.

Другой способ заключается в том, чтобы произвести отбор таких закономерностей, которые при совместном использовании увеличат разделяющую способность решающего правила. В качестве критерия при формировании решающего правила рассматривается ширина «разделяющей полосы». Еще один способ заключается в отборе опорных объектов, на основе которых формируются правила.

Отбор логических закономерностей, произведенный в соответствии с предлагаемым подходом, позволяет значительно снизить их число и упростить решающее правило, практически не снижая точность распознавания. Это делает решающее правило прозрачным, а результаты более интерпретируемыми, что необходимо для поддержки принятия решений при распознавании.

Ключевые слова: анализ данных, классификация, логический алгоритм, распознавание.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 20–25**THE SELECTION OF LOGICAL PATTERNS FOR CONSTRUCTING
A DECISION RULE OF RECOGNITION**

A. N. Antamoshkin, I. S. Masich

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: i-masich@yandex.ru

We investigate an aspect of the construction of logical recognition algorithms – selection of patterns in the set of found patterns in the data.

We consider the recognition problem for objects described by binary attributes and divided into two classes. In consequence of performance the procedure of searching patterns on the training set (a set of input data) a number of patterns has been found. The question is to select some patterns from their total number to form a decision rule. That can not only reduce the size of the decision rule, but also improve recognition.

One way to make a selection of patterns is to select a subset of patterns that is needed to cover all objects of the training sample. This problem is formulated as an optimization problem. The resulting optimization model represents a problem of conditional pseudo-Boolean optimization, in which the objective function and the constraints functions are unimodal monotone pseudo-Boolean functions.

Another way is to make the selection of such patterns, which when used together will increase separating capacity of the decision rule. As a criterion for the formation of the decision rule is considered the width of the separation margin. One more way is to select supporting objects and on their basis to form the rules.

The selection of logical patterns, which is made in accordance with the proposed approach, can significantly reduce the number of patterns and simplify the decision rule, almost without compromising the accuracy of recognition. This makes the decision rule clearer, and the results more interpretable. It is necessary to support decision making for recognition.

Keywords: analysis of data, classification, logical algorithm, recognition.

Постановка задачи отбора закономерностей.

К настоящему времени разработаны довольно эффективные алгоритмы классификации для решения задач диагностики и прогнозирования, которые при умелой настройке решают задачи с большой точностью. Но при практическом применении таких алгоритмов зачастую встает вопрос об интерпретируемости и доказательности результатов. Для принятия решений требуется модель в явном виде, такая модель, в которой вычисляемые решения обоснованы и опираются на имеющиеся данные. В данной работе строится модель принятия решений, состоящая из набора логических правил, которые описывают закономерности в исследуемом явлении или системе. Основная задача – выявить эти закономерности и привести к виду, в котором они будут использованы для построения модели принятия решений. Выявление закономерностей на основе имеющегося набора данных является сложной вычислительной задачей, требующей эффективного алгоритмического обеспечения и его программной реализации. Но получаемые классификаторы способны эффективно решать практические задачи [1; 2], в том числе в аэрокосмической отрасли [3; 4].

Процесс формирования решающих правил сопровождается решением задач выбора наилучших альтернатив в соответствии с некоторым критерием. Формализация этого процесса в виде ряда задач комбинаторной оптимизации формирует гибкий и эффективный алгоритм логического анализа для классификации данных.

Рассмотрим задачу распознавания объектов, описываемых бинарными признаками и разделенных на два класса $K = K^+ \cup K^- \subset \{0,1\}^n$. Объект $X \in K$ описывается бинарным вектором $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ и может быть представлен как точка в гиперкубе пространства бинарных признаков B_2^n .

Под *закономерностью* P (или *правилом*) понимается терм, который покрывает хотя бы один объект некоторого класса и не покрывает ни одного объекта другого класса. То есть закономерность соответствует подкубу, имеющему непустое пересечение с одним из множеств (K^+ или K^-) и пустое пересечение с другим множеством (K^- или K^+ соответственно). Закономерность P , которая не пересекается с K^- , будем называть положительной, а закономерность P' , которая не пересекается с K^+ – отрицательной. Закономерности являются элементарными блоками для построения логических алгоритмов распознавания.

Предположим, что в результате выполнения процедуры поиска закономерностей по обучающей выборке найден ряд положительных закономерностей P_i , $i = 1, \dots, p$, и отрицательных закономерностей N_j , $j = 1, \dots, n$.

Решающая функция может быть задана выражением

$$D(a) = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p P_i(a) - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_j(a)$$

для некоторого объекта a , где $P_i(a) = 1$, если закономерность P_i покрывает объект a , и $P_i(a) = 0$ в противном случае. То же самое для $N_j(a)$.

В [5] описаны алгоритмы поиска закономерностей. В частности, это алгоритмы, которые ведут поиск закономерности, опираясь на некоторый объект обучающей выборки. Поэтому в результате их работы может быть записано большое число закономерностей, вплоть до числа объектов обучающей выборки, некоторые из которых, впрочем, могут повторяться. При решении многих задач встает вопрос отбора закономерностей из общего их числа для формирования решающего правила, что способно не только уменьшить его размер, но в некоторых случаях и улучшить распознавание.

Основное преимущество, которое предоставляют логические алгоритмы распознавания при решении практических задач, – это прозрачность процесса распознавания новых объектов по полученной модели. Все выявленные закономерности представлены в явном виде. Но если этих закономерностей много, более, допустим, 10–15, то алгоритм распознавания становится трудно интерпретируемым. В связи с этим исследуем некоторые способы отбора из общего числа найденных закономерностей.

Минимизация числа закономерностей. Введем переменные, определяющие, будет ли закономерность присутствовать в решающей функции:

$$x_i = \begin{cases} 1, & P_i \text{ присутствует в решающей функции,} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, & N_j \text{ присутствует в решающей функции,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Один из способов произвести отбор закономерностей – выделить подмножество закономерностей, которые необходимы для покрытия всех объектов обучающей выборки [6]. Каждый объект обучающей выборки должен при этом покрываться хотя бы одной закономерностью. Используя введенные переменные, это условие можно записать в виде

$$\sum_{i=1}^p x_i P_i(a) \geq 1 \text{ для любого } a \in K^+,$$

$$\sum_{j=1}^n y_j N_j(a) \geq 1 \text{ для любого } a \in K^-.$$

Для повышения робастности алгоритма число 1 в правой части неравенств следует заменить целым положительным числом d . В таком случае каждый объект обучающей выборки должен подчиняться заданному количеству d закономерностей.

Таким образом, имеем следующую задачу минимизации числа используемых в решающем правиле закономерностей:

$$\sum_{i=1}^p x_i + \sum_{j=1}^q y_j \rightarrow \min$$

при ограничениях на переменные:

$$\sum_{i=1}^p x_i P_i(a) \geq d \text{ для любого } a \in K^+,$$

$$\sum_{j=1}^q y_j N_j(a) \geq d \text{ для любого } a \in K^-.$$

Полученная оптимизационная модель представляет собой задачу условной псевдобулевой оптимизации, в которой целевая функция и функции в ограничениях являются унимодальными монотонными псевдобулевыми функциями [7]. Для решения задачи использовались приближенные алгоритмы условной псевдобулевой оптимизации, основанные на поиске оптимального решения среди граничных точек допустимой области [8].

Для того чтобы оценить, как влияет уменьшение числа закономерностей в решающем правиле на точность распознавания, была проведена серия экспериментов на задачах распознавания и прогнозирования. Поиск закономерностей производился на основе оптимизационной модели [9], позволяющей находить максимальные закономерности, т. е. закономерности с наибольшим покрытием объектов некоторого класса. Каждая выборка данных была разделена на две

части – обучающую и тестовую. На основе каждого объекта обучающей выборки производился поиск закономерности. Проводилось сравнение качества распознавания решающих правил, построенных из полного набора закономерностей и из уменьшенного набора, полученного путем решения описанной выше оптимизационной задачи.

При проведении экспериментов использовались следующие задачи распознавания [10]:

– breast-cancer – задача диагностики рака молочной железы, объем выборки – 699 объектов, описываемых 9 разнотипными признаками (в результате бинаризации получено 80 бинарных признаков);

– wdbc – задача диагностики рака молочной железы, объем выборки – 569 объектов, описываемых 30 разнотипными признаками (120 бинарных признаков);

– hepatitis – задача диагностики наследственного гепатита, объем выборки – 155 объектов, описываемых 19 разнотипными признаками (37 бинарных признаков);

– spect – данные по сердечной компьютерной томографии объем выборки – 80 объектов, описываемых 22 бинарными признаками.

Результаты экспериментов приведены в табл. 1. Как видно, применение решающего правила, основанного на уменьшенном наборе закономерностей, в некоторых задачах приводит к незначительному снижению качества распознавания, но в то же время сопровождается значительным снижением числа закономерностей, которые необходимо использовать для принятия решения, что положительно сказывается на прозрачности получаемых решений.

Максимизация разделяющей полосы. Еще один способ заключается в том, чтобы произвести отбор таких закономерностей, которые при совместном использовании увеличат разделяющую способность решающего правила.

Таблица 1

Результаты распознавания

Задача распознавания	Набор закономерностей	Число положительных закономерностей	Число отрицательных закономерностей	Точность распознавания положительных объектов	Точность распознавания отрицательных объектов
Breast-cancer	Полный набор	419	209	0,97	0,91
	Уменьшенный набор	12	14	0,97	0,88
Wdbc	Полный набор	291	163	0,94	0,98
	Уменьшенный набор	9	11	0,92	0,96
Hepatitis	Полный набор	27	97	0,8	0,85
	Уменьшенный набор	7	7	0,8	0,81
Spect	Полный набор	38	34	1	0,83
	Уменьшенный набор	7	8	1	0,83

В качестве критерия при формировании решающего правила рассмотрим ширину «разделяющей полосы»:

$$\min\{D(a) : a \in K^+\} - \max\{D(a) : a \in K^-\},$$

где $D(a) = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p P_i(a) - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_j(a)$ для некоторого объекта a .

Учтем наличие выбросов, которые могут присутствовать в реальных задачах. Для этого введем переменную

$$z^a = \begin{cases} 1, & a \text{ принимается за выброс,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда задачу отбора закономерностей можно записать в следующем виде:

$$v^+ + v^- - C \sum_{a \in K} z^a \cdot |b^a| \rightarrow \max,$$

$$\text{где } v^+ = \min\{D'(a) : a \in K^+, z^a = 0\},$$

$$v^- = \min\{-D'(a) : a \in K^-, z^a = 0\},$$

$$D'(a) = \frac{\sum_{i=1}^p x_i P_i(a)}{\sum_{i=1}^p x_i} - \frac{\sum_{j=1}^n y_j N_j(a)}{\sum_{j=1}^n y_j},$$

$$b^a = \begin{cases} v^+ - D'(a), & a \in K^+, \\ v^- + D'(a), & a \in K^-. \end{cases}$$

Алгоритмы для решения таких задач оптимизации приведены в [11].

Декомпозиция обучающей выборки при выявлении закономерностей. Рассматриваемые в работах [12; 13] способы поиска закономерностей предполагают использование в качестве «опорной точки» объект обучающей выборки (прецедент), частичное повторение свойств которого может быть обнаружено в других объектах этого же класса. Описанный выше способ предписывает использовать большое число таких опорных объектов (возможно, всех объектов обучающей выборки) для получения закономерностей, а затем проводить отбор из найденных.

Рассмотрим другой способ, заключающийся в отборе самих этих опорных объектов. Всё множество объектов обучающей выборки некоторого класса, скажем K^+ , можно разбить на группы объектов так, чтобы объекты были схожи внутри каждой группы:

$$K^+ = K_1^+ \cup K_2^+ \cup \dots \cup K_k^+.$$

Для этого можно использовать алгоритм k -средних, в результате работы которого получаем набор центроидов $c_1, c_2, \dots, c_k$ так, что будет выполняться правило

$$a \in K_j^+, \text{ если } \|a - c_j\| < \|a - c_i\|$$

для всех $i = 1, 2, \dots, k, i \neq j$,

где K_j^+ – множество объектов, входящих в кластер с центроидом c_j .

Эти центроиды можно использовать в качестве опорных объектов для выявления логических закономерностей.

Описанный подход позволяет существенно снизить трудоемкость работы логического алгоритма распознавания, производя отбор объектов, используемых в качестве опорных при поиске закономерностей.

Рассмотрим результаты использования этого подхода применительно к задаче прогнозирования осложнений инфаркта миокарда: фибрилляции предсердий (ФП) и фибрилляции желудочков (ФЖ) [14]. Для нахождения центроидов использовался алгоритм k -средних программного приложения Weka [15], для поиска закономерностей и оценки точности построенного решающего правила использовалось авторское программное обеспечение.

Выборка для задачи ФП состояла из 184 положительных и 184 отрицательных объектов, описываемых 112 разнотипными признаками. Число бинаризованных признаков составило 215. Для каждого класса выделено по 15 центроидов, которые использовались для поиска закономерностей.

Выборка для задачи ФЖ состояла из 80 положительных и 80 отрицательных объектов, описываемых 112 разнотипными признаками. Число бинаризованных признаков составило 200. Для каждого класса выделено по 10 центроидов, которые использовались для поиска закономерностей.

10 % объектов выборки было выделено для тестирования полученного решающего правила. Результаты распознавания приведены в табл. 2.

В результате использования декомпозиции объектов обучающей выборки и соответствующего отбора объектов, используемых в качестве опорных для поиска закономерностей, получаем упрощение решающего правила – число используемых в решающем правиле закономерностей уменьшается в 7–10 раз. При этом для некоторых задач наблюдается даже увеличение точности распознавания тестовых объектов.

Заключение. Подводя итог, следует заключить, что отбор логических закономерностей, произведенный в соответствии с некоторым критерием, позволяет значительно снизить их число и упростить решающее правило, лишь немного снижая точность распознавания. При решении ряда практических задач распознавания и прогнозирования большое значение имеет интерпретируемость получаемых решений и возможность их обосновать, опираясь на правила и закономерности, которые, в свою очередь, основаны на прецедентах в виде объектов выборки данных. Поэтому использование описанных в этой работе подходов представляется полезным для решения таких задач.

Сравнение результатов распознавания

Задача распознавания	Набор закономерностей	Число положительных закономерностей	Число отрицательных закономерностей	Точность распознавания положительных объектов	Точность распознавания отрицательных объектов
ФП	Полный набор	165	165	0,7	0,79
	Уменьшенный набор	15	15	0,68	0,77
ФЖ	Полный набор	72	72	0,87	0,71
	Уменьшенный набор	10	10	0,9	0,88

Библиографические ссылки

1. Ovarian Cancer Detection by Logical Analysis of Proteomic Data / G. Alexe [et al.] // *Proteomics*. 2004. No. 4(3). P. 766–783.
2. From Diagnosis to Therapy via LAD / D. Axelrod [et al.] // *Invited Lecture at INFORMS Annual Meeting*. Denver, CO. October, 2004.
3. Dupuis C., Gamache M., Páge J. F. Logical analysis of data for estimating passenger show rates in the airline industry // *Journal of Air Transport Management*. 2012. 18. P. 78–81.
4. Esmaeili S. Development of equipment failure prognostic model based on logical analysis of data // *Master of Applied Science Thesis / Dalhousie University*. Halifax, Nova Scotia, 2012.
5. Масич И. С. Комбинаторная оптимизация в задаче классификации // *Системы управления и информационные технологии*. 2009. № 1.2(35). С. 283–288.
6. Hammer P. L., Bonates T. O. Logical analysis of data – An overview: From combinatorial optimization to medical applications // *Annals of Operations Research*. 2006. 148.
7. Antamoshkin A. N., Masich I. S. Pseudo-Boolean optimization in case of unconnected feasible sets // *Models and Algorithms for Global Optimization. Series: Springer Optimization and Its Applications*. Springer. 2007. Vol. 4. P. 111–122.
8. Антамошкин А. Н., Масич И. С. Эффективные алгоритмы условной оптимизации монотонных псевдобулевых функций // *Вестник СибГАУ*. 2003. Вып. 4. С. 60–67.
9. Модель логического анализа для решения задачи прогнозирования осложнений инфаркта миокарда / С. Е. Головенкин [и др.] // *Вестник СибГАУ*. 2010. Вып. 4(30). С. 68–73.
10. Bache K., Lichman M. UCI Machine Learning Repository. Irvine, CA : University of California, School of Information and Computer Science, 2013. URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml>.
11. Масич И. С. Приближенные алгоритмы поиска граничных точек для задачи условной псевдобулевой оптимизации // *Вестник СибГАУ*. 2006. 1(8). С. 39–43.
12. Alexe G., Hammer P. L. Spanned patterns for the logical analysis of data // *Discrete Appl. Math.* 154. 2006. P. 1039–1049.
13. Guoa C., Ryoo H. S. Compact MILP models for optimal and Pareto-optimal LAD patterns // *Discrete Applied Mathematics*. 160. 2012. P. 2339–2348.
14. Осложнения инфаркта миокарда: база данных для апробации систем распознавания и прогноза / С. Е. Головенкин [и др.] // *Препринт № 6*. 1997. Красноярск : Вычислительный центр СО РАН.
15. Waikato Environment for Knowledge Analysis. Weka 3: Data Mining Software in Java. URL: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>.

References

1. Alexe G., Alexe S., Hammer P. L., Liotta L., Petricoin E., Reiss M. Ovarian CancerDetection by Logical Analysis of Proteomic Data. *Proteomics*, 2004, no. 4(3), P. 766–783.
2. Axelrod D., Bonates T., Hammer P. L., Lozina I. From Diagnosis to Therapy via LAD. Invited Lecture at INFORMS Annual Meeting, Denver, CO, October, 2004.
3. Dupuis C., Gamache M., Páge J. F. Logical analysis of data for estimating passenger show rates in the airline industry, *Journal of Air Transport Management* 18, 2012. P. 78–81.
4. Esmaeili S. Development of equipment failure prognostic model based on logical analysis of data, *Master of Applied Science Thesis*, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, July 2012.
5. Masich I. S. [Combinatorial optimization problem in the classification] *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*, 2009, no. 1.2(35), p. 283–288 (In Russ.).
6. Hammer P. L., Bonates T. O. Logical analysis of data – An overview: From combinatorial optimization to medical applications. *Annals of Operations Research* 148, 2006.
7. Antamoshkin A. N., Masich I. S. Pseudo-Boolean optimization in case of unconnected feasible sets. *Models and Algorithms for Global Optimization. Series: Springer Optimization and Its Applications*. Springer. 2007, vol. 4, p. 111–122.

8. Antamoshkin A. N., Masich I. S. [Efficient algorithms for constrained optimization pseudo-monotone functions]. *Vestnik SibGAU*. 2003, no. 4, p. 60–67 (In Russ.).
9. Golovenkin S. E., Masich I. S., Shulman V. A. Et al. [Model of logical analysis for solving problem of prognosis of myocardial infarction complication]. *Vestnik SibGAU*. 2010, no. 4(30), p. 68–73 (In Russ.).
10. Bache K., Lichman M. UCI Machine Learning Repository. Irvine, CA : University of California, School of Information and Computer Science, 2013. Available at: <http://archive.ics.uci.edu/ml>.
11. Masich I. S. [The heuristic algorithms of boundary points search for an constraint pseudo-Boolean optimization problem.] *Vestnik SibGAU*. 2006, no. 1(8), p. 39–43 (In Russ.).
12. Alexe G., Hammer P.L. Spanned patterns for the logical analysis of data, *Discrete Appl. Math.* 154, 2006. P. 1039–1049.
13. Guoa C., Ryoo H. S. Compact MILP models for optimal and Pareto-optimal LAD patterns, *Discrete Applied Mathematics* 160, 2012. P. 2339–2348.
14. Golovenkin S. E., Gorban A. N., Shulman V. A. et. al. *Oslozhneniya infarkta miokarda: baza dannykh dlya aprobatsii sistem raspoznavaniya i prognoza*. [Complications of myocardial infarction: a database for testing recognition systems and forecasting]. *Vychislitel'nyy tsentr SO RAN: Preprint*. 1997, no. 6, 14 p. (In Russ.).
15. Waikato Environment for Knowledge Analysis. Weka 3: Data Mining Software in Java. Available at: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>.

**ОБ УПРАВЛЕНИИ ОБЪЕКТАМИ С ПАМЯТЬЮ
В УСЛОВИЯХ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**А. В. Банникова¹, А. В. Медведев²¹Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79
E-mail: bannikova.anast@gmail.com²Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

Рассматриваются проблемы идентификации и управления стохастическими объектами с дискретно-непрерывным характером технологического процесса. Исследуется более общий класс динамических объектов, в дальнейшем – объекты с памятью. Характерной отличительной особенностью рассматриваемых процессов является тот факт, что при описании не используются разностные аналоги дифференциальных уравнений, принятые в классической теории идентификации и управления. Подобные процессы часто имеют место в различных контурах управления аэрокосмической техники, например, при виброиспытаниях космических аппаратов, в процессе их производства. В этом случае локальный канал «вибратор – космический аппарат (КА)», определяемый вибросигналом и соответствующим сигналом датчика, установленным на КА, может описываться разностными уравнениями. При этом естественно отсутствие аналогии между уравнением в непрерывном времени и разностным. Данная особенность является главным отличием объектов с памятью от традиционных динамических процессов. Это накладывает свой отпечаток при моделировании и управлении подобными объектами и обуславливает актуальность рассматриваемой задачи. Рассматриваются теоретические сведения о непараметрических алгоритмах идентификации и управления. Непараметрические модели для объектов с памятью рассматриваются в двух вариантах. Один из них тесно связан с описанием объекта в виде интеграла Дюамеля. Второй путь состоит в частичной параметризации объекта, т. е. соответствует условиям как параметрической, так и непараметрической неопределенности. В основу построения непараметрических алгоритмов дуального управления положены принципы построения стохастических оптимальных систем А. А. Фельдбаума в их байесовской постановке. Состоят они в том, что управляющее устройство должно выполнять две функции: изучение и управление в процессе активного накопления информации. Рассматривается ситуация, когда на входе объекта «включается» управляющее устройство, соответствующие его обратной модели. Очевидно, что описание объекта не может быть по ряду причин точным, и обратный оператор может только приближенно описывать процесс в направлении «выход-вход». На этой основе выстраиваются как непараметрические модели объектов с памятью, так и непараметрические алгоритмы дуального управления. Тщательно анализируется процесс обучения системы дуального управления с активным накоплением информации. Подробно приводятся результаты численного исследования непараметрических моделей для многомерных процессов с памятью, а также результаты вычислительного эксперимента применения алгоритма непараметрического адаптивного дуального управления.

Ключевые слова: объект с памятью, априорная информация, непараметрическая идентификация, стохастический процесс, дуальное управление.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 26–37**ABOUT THE CONTROL OF OBJECTS WITH THE MEMORY
IN A NONPARAMETRIC UNCERTAINTY**A. V. Bannikova¹, A. V. Medvedev²¹Siberian Federal University
79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
E-mail: bannikova.anast@gmail.com²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

We consider the problem of identification and control of stochastic objects with discrete - continuous nature of the process. In this paper, we study more general class of dynamic objects in the future - objects with memory. The characteristic distinguishing feature of these processes is the fact that in the description the difference analogues of differential equations, taken in the classical theory of identification and control, are not used. The similar processes occur in many different kennels control of aerospace technology. For example, when vibration testing spacecraft channel "vibrator-sensor mounted on the spacecraft" can be described by difference equations. In this case, the lack of natural analogy between the equation in continuous time and difference is typical. This feature is the main difference with memory objects from the traditional dynamic processes. It leaves its mark in the modeling and management of such objects, and determines the urgency of the problem. This article discusses theoretical information about nonparametric algorithms of identification and control. Non-parametric model for objects with memory addresses are considered in two embodiments. One of them is closely related with the description of the object as the Duhamel integral. The second way is partial parameterization of the object, that is, to meet the conditions of both parametric and non-parametric uncertainties. The constructing nonparametric algorithms of dual control are based on the idea of A. A. Feldbaum. It states that the input object "on" its inverse counterpart, the language of mathematicians its inverse. Obviously, the description may not be accurate for some reasons, and then the inverse operator can only approximately describe the process in the direction of "exit-entry". On this basis, both non-parametric models of objects with memory and non-parametric algorithms of dual control are lined up. The learning system of dual control with active accumulation of information is carefully analyzed. The detailed results of the numerical investigation of non-parametric models for multivariate processes with memory, as well as the results of numerical experiments applying the algorithm of nonparametric adaptive dual control are given.

Keywords: object with memory, a priori information, non-parametric identification, stochastic processes.

Введение. Проблемы моделирования и идентификации сложных промышленных объектов традиционно имеют высокую практическую значимость. В большинстве случаев реальные технологические процессы можно отнести к классу динамических. В частности, такого рода процессы типичны для космической отрасли, например, при изготовлении отдельных узлов и блоков КА и изделий электронной техники (транзисторы, диодные матрицы, микросхемы и др.). Традиционно динамические объекты описываются дифференциальными уравнениями или их разностными аналогами [1; 2], но следует отметить, что такого рода описание объектов с памятью не является единственным. Из-за недостатка априорной информации часто не удается выбрать параметризованную структуру модели исследуемого процесса. В этом случае оказывается эффективным использовать теорию непараметрических систем моделирования и управления [3; 4]. В ряде случаев исследователь находится в условиях, когда априорная информация об исследуемом объекте соответствует одновременно как параметрическому, так и непараметрическому уровням априорной информации [5]. Ранее [6; 7] были рассмотрены некоторые задачи моделирования и идентификации для объектов с памятью. Дальнейшее внимание будет сосредоточено на непараметрических алгоритмах дуального управления [8; 9].

Постановка задачи идентификации. Пусть объект представляет собой динамическую систему и описывается уравнением $x_t = f(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-k}, u_t)$, где $f(\cdot)$ – неизвестный функционал; x_t – выходная переменная процесса; u_t – управляющее воздействие; k – известная «глубина» памяти [8], так или иначе найденная на основании имеющейся априорной информации. Здесь существенным является то, что вид функционала не определен с точностью до параметров.

Блок-схема рассматриваемого динамического процесса представлена на рис. 1, где приняты следующие

обозначения: $\hat{x}_t$ – выход модели объекта, (t) – непрерывное время, индекс t – дискретное время, h_t^u, h_t^x – случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса, $\xi(t)$ – векторная случайная помеха.

Контроль переменных осуществляется через интервал времени Δt . Таким образом, можно получить исходную выборку входных-выходных переменных $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$, где s – объем выборки, индекс h у переменных объекта из соображения простоты опущен. Следует отметить, что в данном случае параметрическая структура рассматриваемого процесса нам неизвестна, но можно говорить о частичной параметризации модели исследуемого процесса.

Схема, изображенная на рис. 1, является близкой к классической схеме, рассматриваемой в теории управления [10]. Как было замечено ранее, рассмотрение динамического процесса с помощью данной схемы не является единственным, так как одна из переменных процесса, например x_{t-2} , может отсутствовать, а конечное выходное воздействие может зависеть только от переменных x_{t-1}, x_{t-3} и входного воздействия u_t : $x_t = f(x_{t-1}, x_{t-3}, u_t)$. Таким образом, схема примет вид, изображенный на рис. 2.

Непараметрическая идентификация. В настоящее время наиболее развитой является теория параметрических систем, которая предполагает предварительную параметризацию модели [2; 10]. В случае недостатка априорной информации об исследуемом объекте, часто не представляется возможным обоснованно выбрать параметрическую структуру модели. В этом случае исследователь вынужден, обрабатывая имеющиеся выборки входных-выходных переменных, «добывать» дополнительную информацию, которая позволит более обоснованно выбрать параметрическую структуру модели.

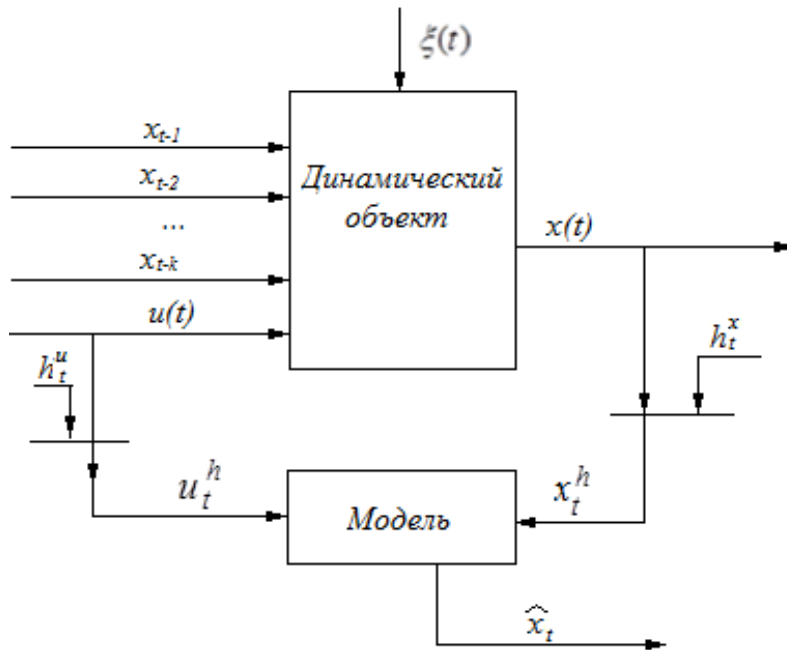


Рис. 1. Блок-схема моделирования объекта с памятью

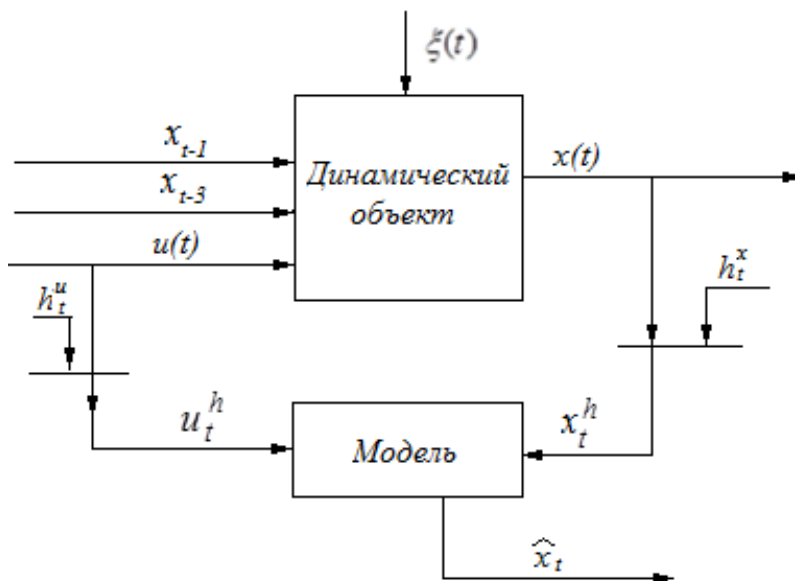


Рис. 2. Блок-схема моделирования объекта с памятью при фиксированных запаздывающих на соответствующее число тактов выходных переменных

В случае, когда априорной информации недостаточно, естественно использовать теорию непараметрической идентификации [11]. Непараметрическая теория, в отличие от предыдущей, предполагает, что известны только качественные характеристики системы. Это позволяет полностью уйти от вопроса определения параметрической структуры объекта.

В классическом случае, изображённом на рис. 1, задача идентификации состоит в оценивании класса

операторов на основе выборки $\{x_i, u_i, i = \overline{1, s}\}$. В случае, когда динамический объект описывается дифференциальным уравнением при последовательной дискретизации, итоговое разностное уравнение будет содержать последовательно все переменные: $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-k}$. Тогда в качестве непараметрической модели объекта можно использовать модель, в которой все коэффициенты разностного уравнения будут учтены:

$$\hat{x}_s(u, \mu) = \frac{\sum_{i=1}^{s-1} x_i \cdot \Phi\left(\frac{u_s - u_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \times \dots \times \Phi\left(\frac{x_{s-2} - x_{i-2}}{c_s}\right) \dots \Phi\left(\frac{x_{s-k} - x_{i-k}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{u_s - u_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \times \dots \times \Phi\left(\frac{x_{s-2} - x_{i-2}}{c_s}\right) \dots \Phi\left(\frac{x_{s-k} - x_{i-k}}{c_s}\right)} \quad (1)$$

Если для первого случая (рис. 1) выбор непараметрической модели не представляет труда, то какой вид модели следует выбрать для второго случая? При выборе модели для процесса, представленного на рис. 2, мы можем применить модель следующего вида:

$$\hat{x}_s(u_s) = \frac{\sum_{i=1}^{s-1} x_i \cdot \Phi\left(\frac{u_s - u_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \times \dots \times \Phi\left(\frac{x_{s-2} - x_{i-2}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-3} - x_{i-3}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{u_s - u_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \times \dots \times \Phi\left(\frac{x_{s-2} - x_{i-2}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-3} - x_{i-3}}{c_s}\right)}, \quad (2)$$

где последовательно учтены все запаздывающие на соответствующие число тактов выходные переменные. Но, вообще говоря, динамические процессы могут описываться разностными уравнениями несколько другой природы: $x_t = f(x_{t-1}, x_{t-3}, u_t)$, и в этом случае модель может быть принята в виде (3), где учтены только выходные переменные, непосредственно от которых зависит выход процесса:

$$\hat{x}_s(u_s) = \frac{\sum_{i=1}^{s-1} x_i \cdot \Phi\left(\frac{u_s - u_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-3} - x_{i-3}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{u_s - u_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-3} - x_{i-3}}{c_s}\right)} \quad (3)$$

В моделях (1)–(3) $\Phi(\cdot)$ – ядерная колоколообразная функция [12], c_s – коэффициент размытости ядра, которые удовлетворяют условиям сходимости [13].

В качестве колоколообразной функции $\Phi(\cdot)$ [12] могут быть использованы различные ядра. Параметр размытости c_s при наличии обучающей выборки находится из задачи минимизации показателя соответствия выхода объекта и выхода модели, основанного на методе скользящего экзамена, когда в модели (1)–(3) по индексу i исключается k -е наблюдение переменной, предъявляемой для экзамена:

$$R(c_s) = \sum_{k=1}^s (\bar{x}_s(u_k) - x_k)^2 = \min_{c_s}, k \neq i, \quad (4)$$

где индекс i фигурирует в формулах (1)–(3).

Для оценки полученных моделей была использована квадратичная ошибка:

$$R_s = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s (x_i - \bar{x}_s(u_i))^2, \quad (5)$$

где x_i – измеренное значение выходной переменной; $\bar{x}_s$ – полученная оценка; R_s – квадратичная ошибка. Также для каждой модели вычисляется относительная ошибка, равная отношению квадратичной ошибки к дисперсии выходной переменной:

$$W = R_s / D_s, \quad (6)$$

где D_s – дисперсия выходной переменной.

Проверим различие двух представленных моделей в ходе численного исследования. Пусть исследуемый объект является динамическим и описывается уравнением вида

$$x(t) = 0,1 \cdot x(t-1) - 0,2 \cdot x(t-3) + u(t), \quad (7)$$

где $x(t)$ – выходная переменная процесса; $u(t)$ – входная переменная процесса. Переходная характеристика данного объекта имеет вид, представленный на рис. 3.

Пусть входное воздействие имеет вид: $u(t) = \sin(0,5 \cdot t)$. Модель объекта, полученная с помощью оценки (3), представлена на рис. 4.

В данном эксперименте квадратичная ошибка моделирования равна 0,0089. Как можно увидеть из рис. 4 и значения квадратичной ошибки, полученная модель достаточно качественная и модели вида (3) могут эффективно использоваться при идентификации подобных процессов.

На рис. 5 представлены выход объекта и выход модели объекта, полученной с помощью модели (2).

Квадратичная ошибка в данном случае равна 0,156. Как видно из полученных графиков, данную модель также можно назвать удовлетворительной, хотя очевидно, что она уступает первой.

На рис. 6 представлены выход объекта и модели объекта, полученной при использовании уравнения (3) при уровне помех 7 %.

В эксперименте, представленном на рис. 6, квадратичная ошибка моделирования равна 0,07. Из рисунка 6 и значения квадратичной ошибки можно сделать вывод, что с помощью модели (3) можно получить адекватные модели даже при достаточно высоком уровне помех.

На рис. 7 представлен выход модели объекта и модель объекта, полученная с помощью модели (2) при уровне помех 7 %.

Непараметрическое дуальное управление. Недостаток априорной информации об объекте приводит к необходимости совмещать изучение объекта и управление им. При таком управлении управляющие воздействия носят двойственный характер. Они служат средством изучения, познания объекта, но также и средством приведения объекта к требуемому состоянию. Такое управление называют дуальным управлением [8]. Дуальное управление было открыто А. А. Фельдбаумом и развито на основе теории статистических решений.

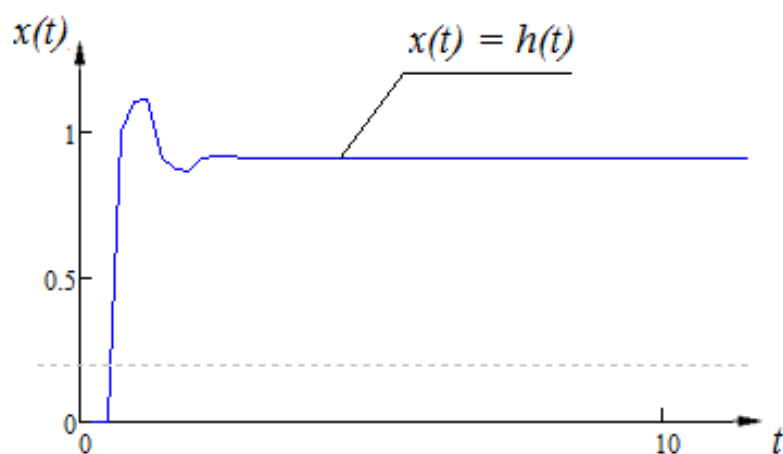


Рис. 3. Переходная характеристика объекта процесса (7)

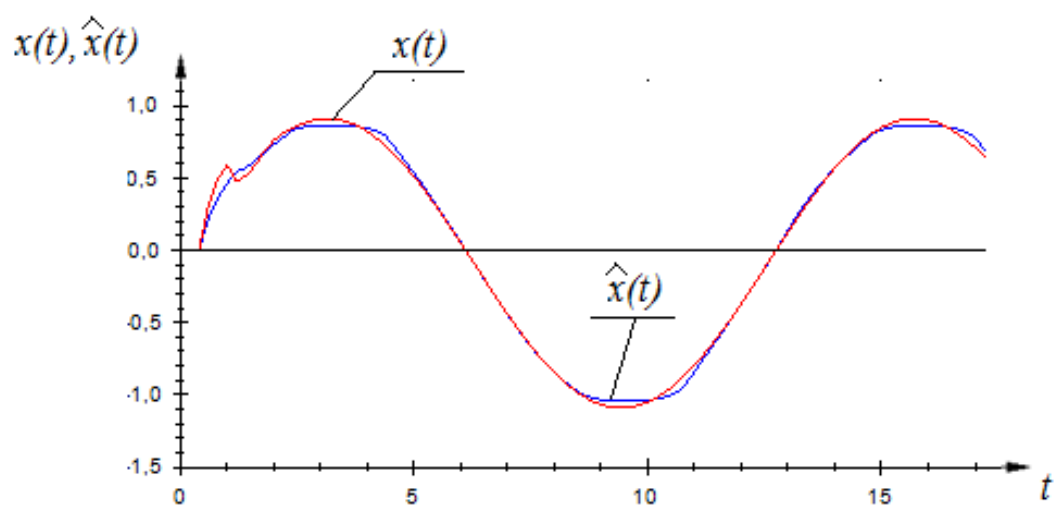


Рис. 4. Результаты моделирования объекта с памятью при частично известной параметрической структуре с помощью оценки (3)

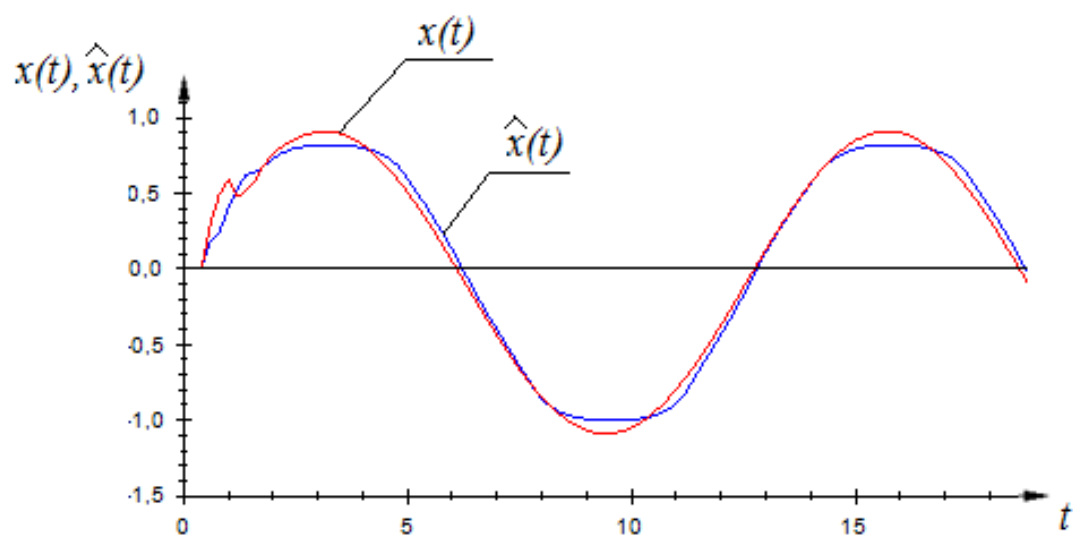


Рис. 5. Результаты моделирования объекта с памятью при частично известной параметрической структуре с помощью оценки (2)

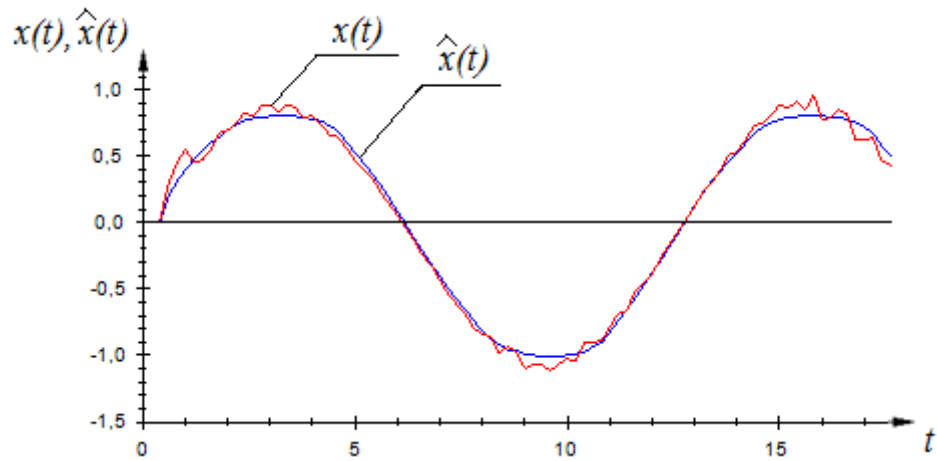


Рис. 6. Результаты моделирования объекта с памятью при частично известной параметрической структуре модели при помехе 7 % с помощью оценки (3)

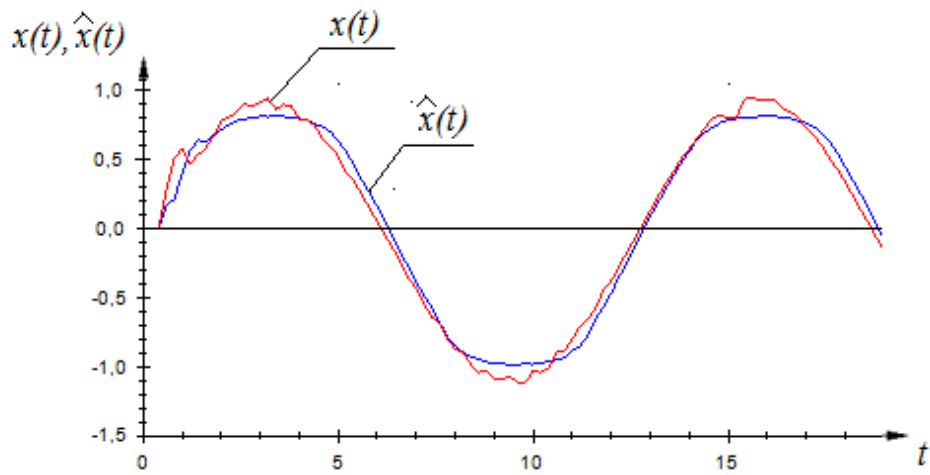


Рис. 7. Результаты моделирования объекта с памятью при помехе 7 % при частично известной параметрической структуре модели с помощью оценки (2)

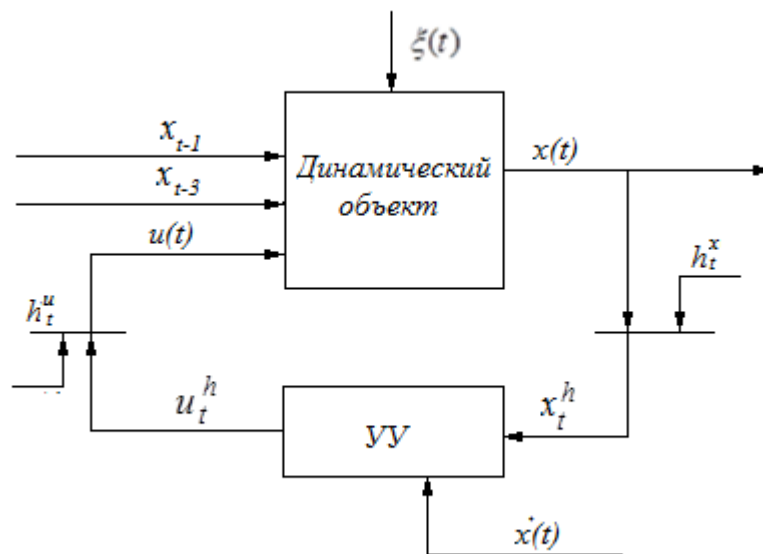


Рис. 8. Схема управления объектом с памятью

Пусть объект представляет собой динамическую систему и описывается уравнением $x_t = f(x_{t-1}, x_{t-3}, u_t)$. Схема управления представлена на рис. 8.

Непараметрический алгоритм дуального управления, подробно описанный в [14; 15], имеет вид

$$u_{s+1} = u_s^* + \Delta u_{s+1}, \quad (8)$$

где в $\square u_s^*$ сосредоточены «знания» об объекте; Δu_{s+1} – «изучающие» поисковые шаги:

$$\Delta u_{s+1} = \varepsilon(x_{s+1}^* - x_s). \quad (9)$$

В этом и состоит дуализм алгоритма (8).

Составляющая u_s^* из $\square$ (8), также как и в случае непараметрической идентификации, представляет собой сложный вопрос. С одной стороны, мы также как и в (2) можем учитывать все переменные до высшего порядка:

$$u_s^* = \frac{\sum_{i=1}^s u_i \cdot \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \times \times \Phi\left(\frac{x_{s-2} - x_{i-2}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-3} - x_{i-3}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \times \times \Phi\left(\frac{x_{s-2} - x_{i-2}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-3} - x_{i-3}}{c_s}\right)}, \quad (10)$$

где x^* – задающее воздействие, либо учитывать только переменные, непосредственно от которых зависит выход объекта:

$$u_s^* = \frac{\sum_{i=1}^s u_i \cdot \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-3} - x_{i-3}}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{x_{s+1}^* - x_i}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-1} - x_{i-1}}{c_s}\right) \Phi\left(\frac{x_{s-3} - x_{i-3}}{c_s}\right)}. \quad (11)$$

Проанализируем характер дуализма алгоритма (8). На начальной стадии управления основная роль принадлежит второму слагаемому Δu_{s+1} из формулы (8). Это случай активного накопления информации в системе дуального управления, который начинается с появления первого наблюдения входной и выходной переменных объекта. По мере процесса обучения (накопления информации) всё возрастающую роль при формировании управляющего воздействия u_{s+1} начинает играть первое слагаемое, т. е. u_s^* . Таким образом, в процессе дуального управления объектом фигурируют как этап изучения объекта, так и этап приведения его к цели.

Исследуем различие между двумя подходами в ходе численного эксперимента. Пусть исследуемый объект является динамическим и описывается уравнением вида

$$x(t) = 0,4 \cdot x(t-1) - 0,3 \cdot x(t-3) + u(t), \quad (12)$$

где $x(t)$ – выходная переменных процесса; $u(t)$ – входная переменная процесса. Переходная характеристика данного процесса представлена на рис. 9.

Пусть входное воздействие имеет вид $u(t) = \sin(0,5 \cdot t)$, а управляющее воздействие, поступающее на вход объекта с управляющего устройства, описывается уравнением (8), где u_s^* равно (11). Пусть задание имеет вид ступенчатой функции. В таком случае результат управления имеет вид, представленный на рис. 10.

На рис. 11 представлены результаты управления при помехе 5 %.

На рис. 10 квадратичная ошибка управления равна 0,072, на рис. 11 – 0,13. Сравним полученные результаты со случаем, когда u_s^* будет равно (10) (рис. 12).

Квадратичная ошибка управления для случая, представленного на рис. 11, равна 0,15. Как мы можем заметить, также как и в случае непараметрической идентификации, непараметрическое управление оказывается намного эффективней, тогда как в формуле управляющего воздействия, поступающего на объект, учитываются только переменные, которые формируют выходное воздействие.

Рассмотрим работу непараметрического дуального алгоритма управления подробнее. Обучение управлению начинается с первой диады наблюдений. На начальной стадии управления необходимо некоторое время (накопление выборки) для приведения объекта в заданное состояние, но уже на следующих этапах работы алгоритм почти мгновенно достигает задания. На рис. 13 подробно представлено поведение слагаемых алгоритма дуального управления.

На рис. 14 показано, как ведет себя алгоритм при случайном задании. Видно хорошее качество управления с помощью непараметрического регулятора даже при таком «экзотическом» варианте, когда задание носит случайный характер. С подобной задачей не справится ни один из известных регуляторов. На практике такой вариант задающего воздействия не встречается, однако это представляет интерес с теоретической точки зрения.

Непараметрическая идентификация на основе интеграла Дюамеля. Пусть объект описывается линейным дифференциальным уравнением неизвестного порядка. В этом случае при нулевых начальных условиях $x(t)$ [5] находится как

$$x(t) = \int_0^t h(t-\tau) u(\tau) d\tau, \quad (13)$$

где $h(t-\tau)$ весовая функция системы, является производной переходной функции $k(t)$, т. е. $h(t) = k'(t)$. Известно, что обратным оператором (13) является оператор [5]

$$u(t) = \int_0^t v(t-\tau) x(\tau) d\tau, \quad (14)$$

где $v(t-\tau)$ – весовая функция объекта в направлении «выход-вход» и $v(t) = \omega'(t)$, где $\omega(t)$ – переходная функция системы в том же направлении. В этом случае A представлен оператором (13), а A^{-1} – выражением (14). Следовательно, теперь проблема состоит в отыскании весовых функций $h(t)$, $v(t)$. Один из возможных путей решения этого вопроса состоит в снятии переходной характеристики на реальном объекте с последующей оценкой его весовой функции по результатам измерений $\{x_i = k_i, t_i, i = \overline{1, s}\}$.

Непараметрическая модель (13) будет иметь вид

$$x_s(t) = \int_0^t h_s(t-\tau, \vec{k}_s, \vec{t}_s) u(\tau) d\tau, \quad (15)$$

где $\vec{k}_s, \vec{t}_s$ – временные векторы: $\vec{k}_s = (k_1, \dots, k_s)$, $\vec{t}_s = (t_1, \dots, t_s)$; $h_s(\cdot)$ равна

$$h_s(t) = \frac{1}{Hc_s} \int_0^t k_i \Phi\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right), \quad (16)$$

где $H(\cdot)$ – колоколообразные (ядерные) функции [12], c_s – параметр размытости, удовлетворяющие некоторым условиям сходимости [13]. Предлагается переходную функцию $v(t)$ получить на модели в направлении «выход-вход», т. е. «вспять». Таким образом, из соотношения

$$x_s(t) = 1(t) = \int_0^t h_s(t-\tau, \vec{k}_s, \vec{t}_s) u(\tau) d\tau \quad (17)$$

можно получить выборки $\{u_i, t_i, i = \overline{1, s}\}$.

Пусть исследуемый объект является динамическим и описывается уравнением вида:

$$x(t) = 0,9 \cdot x(t-1) - 0,25 \cdot x(t-3) + 0,19u(t). \quad (18)$$

Переходная характеристика данного процесса представлена на рис. 15.

Пусть входное воздействие имеет вид $u(t) = \sin(0,5 \cdot t)$. Модель объекта получена при использовании уравнения (15) (рис. 16).

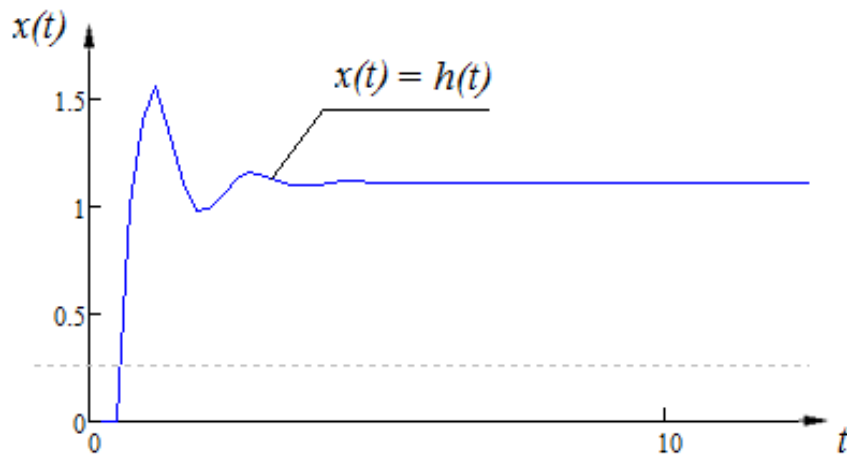


Рис. 9. Переходная характеристика процесса (12)

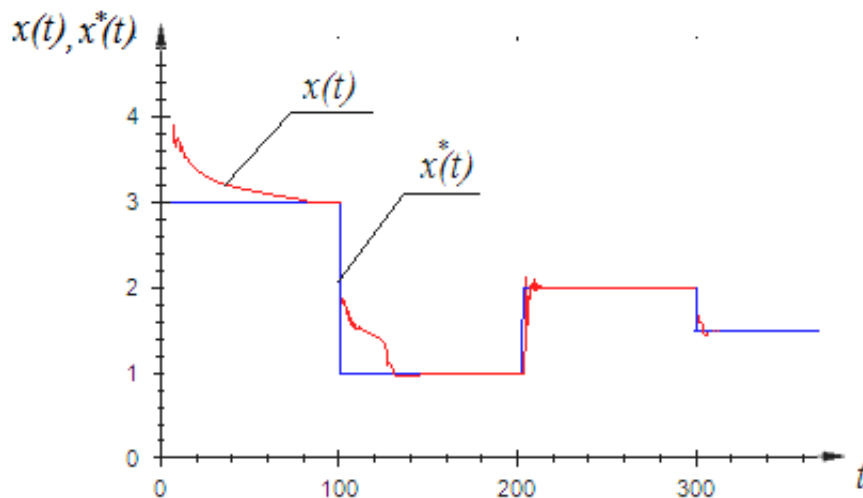


Рис. 10. Результат управления при частично известной параметрической структуре при входном воздействии, описанном уравнением (11)

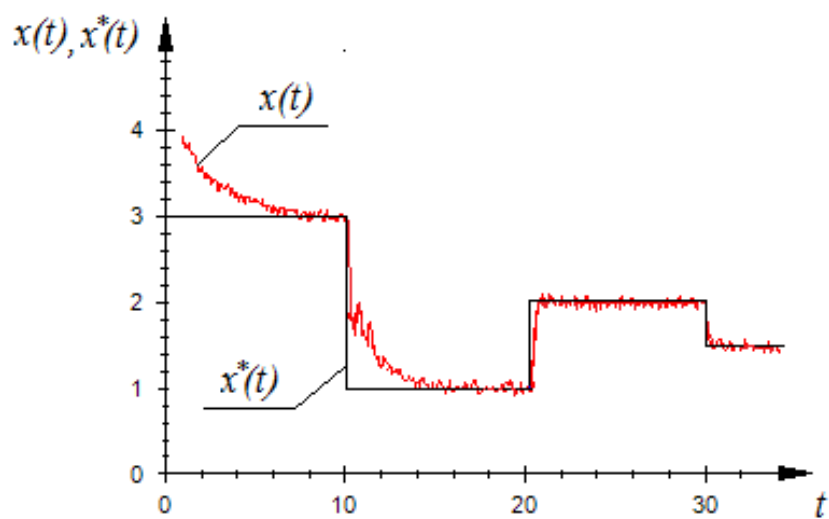


Рис. 11. Результат управления при частично известной параметрической структуре, при помехе 5 %

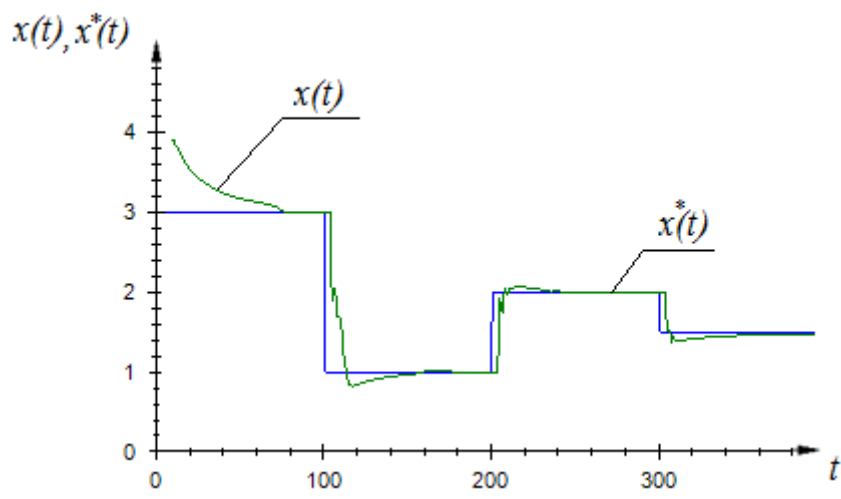


Рис. 12. Результат управления при неизвестной параметрической структуре

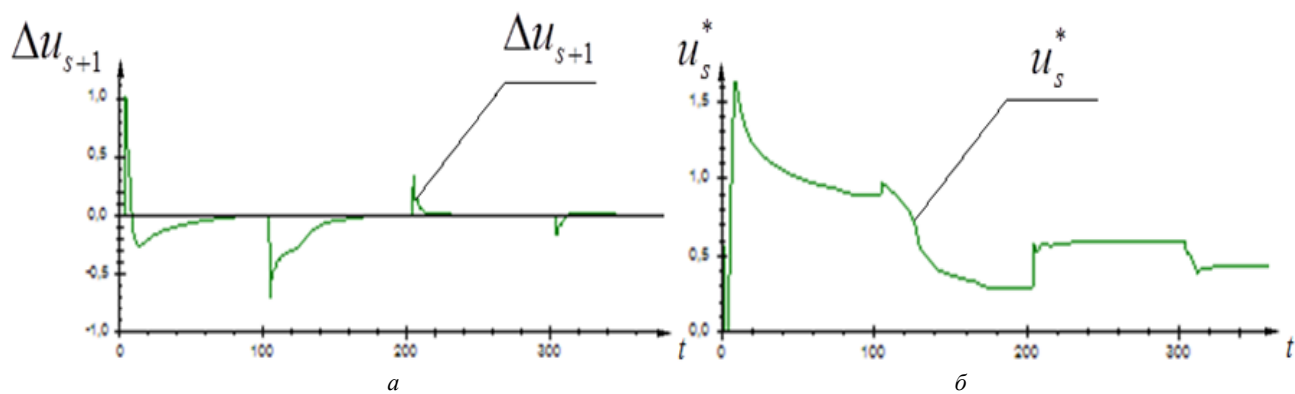


Рис. 13. Поведение составляющих управляющего воздействия

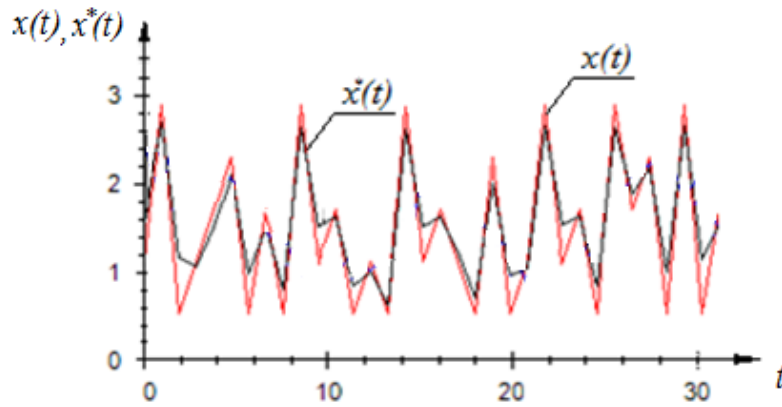


Рис. 14. Результаты управления при случайном задании

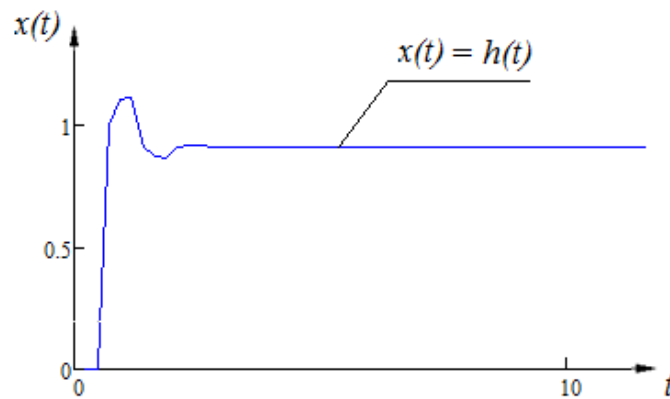


Рис. 15. Переходная характеристика процесса (18)

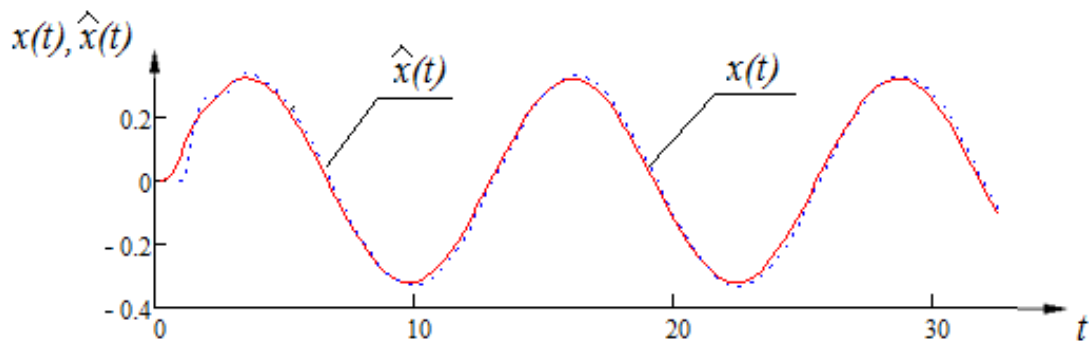


Рис. 16. Результаты моделирования объекта с памятью при использовании интеграла Дюамеля

Непараметрическое управление на основе интеграла Дюамеля. В условиях непараметрической неопределённости [15] уравнение процесса с точностью до вектора параметров неизвестно, но известны свойства объекта качественного характера, например, однозначность характеристик или неоднозначность для безынерционных процессов; линейность или тип нелинейности для динамических. Если вид уравнения, описывающего процесс, неизвестен, то известные параметрические методы теории управления не применимы для решения задач идентификации и управления.

Введем оператор объекта A , описывающий процесс, т. е.

$$x(t) = A < u(t) >, \quad (19)$$

где $u(t)$ – управляющие воздействие; $x(t)$ – выходная переменная объекта.

Если существует оператор, обратный A , т. е. A^{-1} , $A^{-1}A = 1$ – единичный оператор, то

$$A^{-1}x(t) = A^{-1}A < u(t) >, u(t) = A^{-1}x(t). \quad (20)$$

Таким образом, учитывая, что выход объекта может описываться оценкой (15), непараметрический алгоритм управления линейной динамической системой примет вид

$$u_s(t) = \omega_s(0)x^*(t) + \frac{1}{Sc_s} \int_0^t \sum_{i=0}^{t/\tau} \omega_i \Phi' \left(\frac{t - \tau_i - t_i}{c_s} \right) x^*(\tau) d\tau, \quad (21)$$

где $x^*(t)$ – задающее воздействие. Ясно, что объемы выборок при определении переходных характеристик на реальном объекте и на модели могут не совпадать. Фрагмент работы алгоритма (18) представлен ниже.

Пусть исследуемый объект является динамическим и описывается уравнением вида

$$x(t) = 0,9 \cdot x(t-1) - 0,25 \cdot x(t-3) + 0,19u(t), \quad (22)$$

где $x(t)$ – выходная переменная процесса; $u(t)$ – входная переменная процесса. Переходная характеристика данного процесса представлена на рис. 17.

Пусть входное воздействие имеет вид $u(t) = \sin(0,5 \cdot t)$, а задающее воздействие – ступенчатой функции (рис. 18).

Пусть задание имеет вид траектории $u(t) = \sin(0,5 \cdot t)$ (рис. 19).

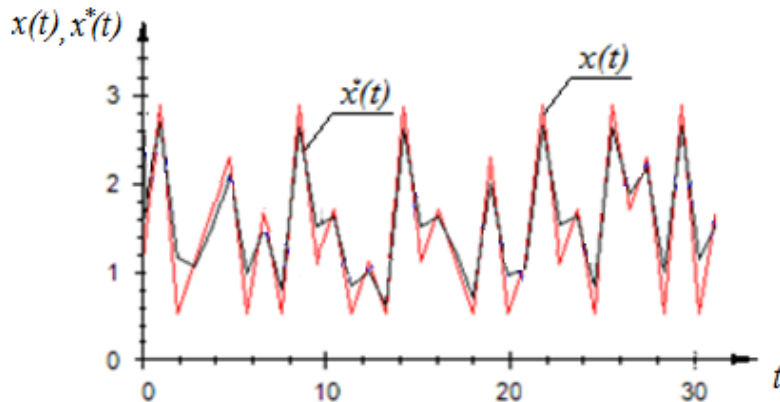


Рис. 17. Переходная характеристика процесса (22)

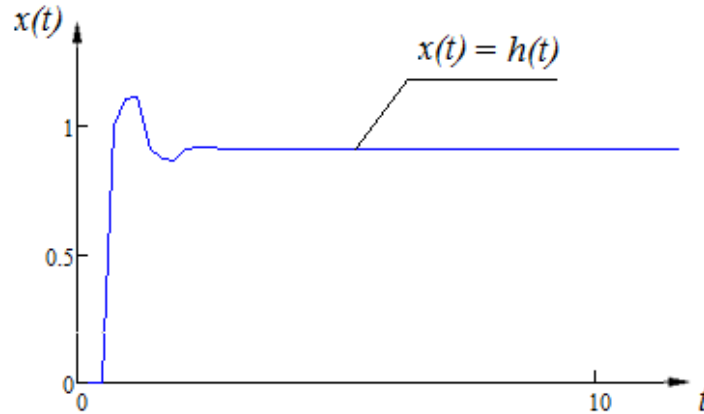


Рис. 18. Результат управления при применении алгоритма, основанного на интеграле Дюамеля

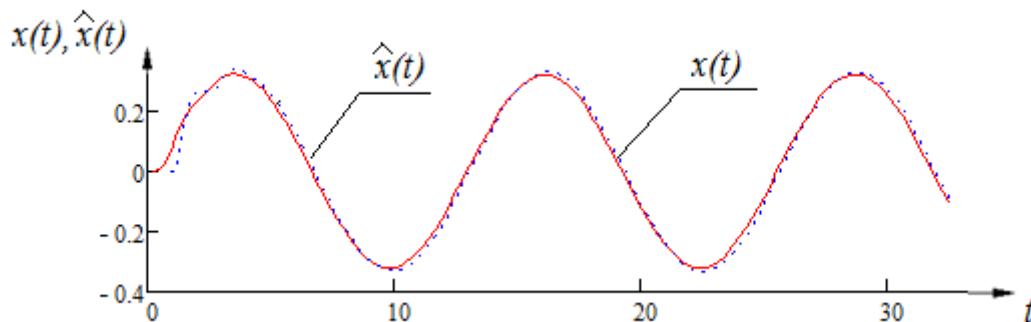


Рис. 19. Результаты управления

Закключение. Подводя итог настоящей статьи, следует заметить, что рассматривается очень важная с практической точки зрения задача идентификации в замкнутом контуре для дискретно-непрерывных процессов в условиях непараметрической неопределенности. Одним из основных преимуществ непараметрической теории идентификации и управления по сравнению с доминирующей на сегодняшний день параметрической теорией является тот факт, что первая более применима к задачам практики, так как способна работать в условиях малой информации об объекте. Данные условия характерны для задач моделирования и идентификации в разных отраслях промышленности, в том числе и аэрокосмической индустрии. Актуальность рассмотренной задачи обусловлена тем, уравнение, описывающее динамический процесс, не имеет вид разностного аналога дифференциального уравнения. В этом случае исследование процесса построения модели представляет специальный самостоятельный процесс. В статье приводятся непараметрические модели для многомерных дискретно-непрерывных процессов, достаточно подробно изложены результаты численного исследования.

Библиографические ссылки

1. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М. : Наука, 1968. 400 с.
2. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М. : Мир, 1975. 683 с.
3. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование // Вестник СибГАУ. 2010. № 4 (30). С. 4–9.
4. Медведев, А. В. Теория непараметрических систем. Общий подход // Вестник СибГАУ. 2008. № 3(20). С. 65–68.
5. Медведев А. В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск : Наука, 1983. 174 с.
6. Банникова А. В., Сергеева Н. А. О непараметрическом моделировании стохастических объектов с памятью // Вестник СибГАУ. № 2 (54). 2014. С. 6–10.
7. О непараметрическом управлении стохастическими объектами с памятью / А. В. Банникова [и др.] / Вестник СибГАУ. № 3 (55). 2014. С. 28–35.
8. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М. : Физматгиз, 1963. 552 с.
9. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Управление-I // Вестник СибГАУ. 2013. № 2 (48). С. 57–63.
10. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации. М. : Наука. Физматлит, 1995. 336 с.
11. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Активные процессы – I / Вестник СибГАУ. 2011. № 4 (37). С. 52–57.
12. Eddy W. F. Optimum kernel estimators of the mode // Ann. Math. Statist. 1980. Vol. 8. P. 870–882.
13. Надарая Э. А. Непараметрические оценки плотности вероятности и кривой регрессии. Тбилиси : Изд. Тбилис. ун-та, 1983. 194 с.
14. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Управление-II // Вестник СибГАУ. 2013. № 3 (49). С. 85–90.

15. Medvedev A. V. Optimization Techniques IFIP Technical Conference (july 1–7, 1974, Novosibirsk). Springer-Verlag. P. 48–55.

References

1. Tsyppkin Ja. Z. *Adaptatsiya i obuchenie v avtomaticheskikh sistemakh* [Adaptation and learning in automatic systems]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 400 p.
2. Jeikhoff P. *Osnovy identifikatsii sistem upravleniya* [Identity-based control systems]. Moscow, Mir Publ., 1975, 683 p.
3. Medvedev A. V. [The theory of nonparametric systems. Simulation]. *Vestnik SibGAU*. 2010, no. 4 (30), p. 4–9 (In Russ.).
4. Medvedev, A. V. [The theory of non-parametric systems. The general approach]. *Vestnik SibGAU*, 2008, no. 3(20), p. 65–68 (In Russ.).
5. Medvedev A. V. *Neparametricheskie sistemy adaptatsii* [Nonparametric system adaptation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, 174 p.
6. Bannikova A. V. [Nonparametric Stochastic modeling objects with memory]. *Vestnik SibGAU*. 2014, no. 2 (54), p. 6–10 (In Russ.).
7. Bannikova A. V. [On the non-parametric stochastic control objects with memory]. *Vestnik SibGAU*. 2014, no. 3 (55), p. 28–35 (In Russ.).
8. Fel'dbaum A. A. *Osnovy teorii optimal'nykh avtomaticheskikh sistem* [Fundamentals of the theory of optimal automatic systems]. Moscow. Fizmatgiz Publ., 1963, 552 p.
9. Medvedev A. V. [The theory of non-parametric systems. Control-I]. *Vestnik SibGAU*, 2013, no. 2 (48), p. 57–63 (In Russ.).
10. Tsyppkin, Ja. Z. *Informatsionnaya teoriya identifikatsii* [Information theory of identification] Moscow, Nauka Publ, 1995, 336 p.
11. Medvedev A. V. [The theory of non-parametric systems. Active processes I] *Vestnik SibGAU*. 2011, no. 4 (37), p. 52–57 (In Russ.).
12. Eddy W. F. Optimum kernel estimators of the mode. *Ann. Math. Statist.* 1980, no. 8, p. 870–882.
13. Nadaraya E. A. *Neparametricheskie otsenki plotnosti veroyatnosti i krivoy regressii* [Nonparametric estimation of probability density and the regression curve], Tbilisi., 1983, 194 p.
14. Medvedev A. V. [The theory of non-parametric systems. Control-II]. *Vestnik SibGAU*. 2013, no. 3 (49), p. 85–90 (In Russ.).
15. Medvedev A. V. [The theory of non-parametric systems. Processes]. *Vestnik SibGAU*, 2010, no. 3 (29), p. 4–9 (In Russ.).

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО ЛИЧНОЙ ПОДПИСИ
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА**

Р. П. Баранов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: zeatool@gmail.com

Рассматривается подход к решению задачи идентификации человека по подписи. Описаны способы идентификации подписи человека, зависящие от источника, с которого была получена подпись. Основное внимание уделяется распознаванию статической подписи, полученной с изображения. Данная задача востребована в сфере бизнеса, маркетинга, банковских операций, контроля безопасности и аутентификации документа. Особенно остро проблема идентификации личности стоит в электронном документообороте. Чаще всего на документах стоят электронные подписи, однако далеко не все документы имеют исключительно электронный вид, как правило, это внешние входящие и исходящие документы. Именно на таких документах чаще всего и необходимо определить личность человека, который оставил на нем свою подпись. Разобраны основные наборы глобальных, локальных и специальных признаков для различных видов подписи. Приведен метод предварительной обработки изображения подписи. Обработка изображения проходит в несколько этапов. Каждый этап постепенно приводит изображение к бинаризованному, что позволяет перевести изображение подписи в вектор и производить анализ вектора подписи. Показан пример работы метода на изображении подписи кассира, полученной с фотографии чека. Приведена реализация алгоритма Distance Transform с описанием различных метрик. Данный алгоритм позволяет получить скелет изображения подписи, который преобразуется в совокупность связанных векторов. Предложен подход для расчета графических характеристик изображения подписи, основанный на расчете матрицы расстояний. Описано преимущество предложенного алгоритма расчета характеристик перед классическим алгоритмом. Приведен алгоритм сравнения графических характеристик подписи с помощью метрики SSIM. Проведено тестирование алгоритма идентификации человека по подписи с использованием изображений разного качества и размера. Приведены результаты тестирования алгоритма. Разработана система идентификации человека по изображению подписи.

Ключевые слова: обработка изображений, скелетизация, идентификация пользователя, распознавание подписи, биокриптография.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 38–43**PERSON IDENTIFICATION BY SIGNATURE
IN THE ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM**

R. P. Baranov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: zeatool@gmail.com

This report deals with the approach to the problem of human identification by signature. It is described how to identify person's signature, depending on the source from which the signature was obtained. A method for pre-processing the image signature is considered. An example of the method signature of the cashier in the image obtained from a photograph of the check is shown. The on-line signature verification is demanded in business and marketing, bank transactions, security control, and document authentication. The off-line signature verification is the difficult process against the on-line verification. In this paper, the extension of feature set, including global, local, and special features for simple and cursive types of signatures, is proposed. The global features are required to create a decision tree, which limits a field of the search. In this report, an approach for a human identification by person signature is considered. The methods of signature identification dependently from a way, how this signature was received, are described. A pre-processing of an image improves the following identification results. The implementation of Distance Transform algorithm describing the various metrics is shown. An approach for calculating the graphical representation of the signature characteristics, based on the calculation of the distance matrix is given. The benefits of the proposed algorithm for calculating the characteristics over the classic algorithm are described. An algorithm of comparing signature graphic characteristics using the metric SSIM is shown. Testing algorithm for human identification signature using different

image quality and size is conducted. The results of testing the algorithm are shown. The software system for a person's identification by a signature is developed.

Keywords: image processing, skeletonization, person identification, biocryptograph.

Введение. Подпись – один из классических способов идентификации, который применяется в юридической практике, банковском деле и торговле. Как правило, подпись не повторяет обычное написание букв и имеет дополнительные элементы (росчерки, наложения букв и т. д.) [1]. Существуют два способа идентификации человека по подписи: идентификация по динамике подписи, вводимой в электронное устройство, и идентификация по изображению подписи на документе [2; 3]. В первом случае рассматривается одномерный сигнал, который формируется электронным пером. Во втором случае, как правило, нужно сравнить два изображения – эталонное и текущее. С этой задачей достаточно хорошо справляется человек, однако для автоматизации и оптимизации этого процесса необходимо использовать методы интеллектуальной обработки данных.

Первым этапом для идентификации человека по изображению подписи является определение графических особенностей этой подписи. Для этого изображение подвергается предварительной обработке, после чего находится сама подпись и переводится в представление набора простых примитивов. Далее, анализируя векторную форму подписи, требуется найти некоторые особенности, которые бы позволяли идентифицировать человека по подписи.

В целом предварительную обработку изображения можно разделить на несколько этапов:

- 1) получение исходного изображения;
- 2) фильтрация изображения и бинаризация;
- 3) скелетизация изображения [4; 5];
- 4) векторизация скелетного изображения.

Предварительная обработка. Этапы предварительной обработки подписи напрямую зависят от качества изображения подписи. В частном случае изображение можно обрабатывать без предварительной обработки, но чаще всего необходимо выполнять различные операции для улучшения качества изображения подписи [6]. Четкого и определенного порядка работы фильтров нет, пользователь может выбирать его сам, однако последней операцией должна быть бинаризация, так как для дальнейшей обработки подписи необходимо именно бинаризованное изображение (рис. 1).

Исходное изображение (рис. 1, а) получено с камеры низкого качества и поэтому нуждается в предварительной обработке фильтрами [7]. Для начала применяется нелинейная цветокоррекция (рис. 1, б) по следующей формуле:

$$I = c \cdot \lg(I + 1), \quad (1)$$

где I – значение яркости пикселя; c – коэффициент нелинейной коррекции (в данном примере коэффициент равен 2,2).

После применения цветокоррекции обрабатываемое изображение фильтром Гаусса [8] с маской размерно-

стью 3×3 и применим фильтр Лапласа и бинаризацию (рис. 1, в). Как видно, на изображении все еще остаются лишние объекты. Данные объекты можно отсеять уже непосредственно на этапе скелетизации, задав минимальную размерность скелета. После применения алгоритма остается только скелет подписи (рис. 1, г).

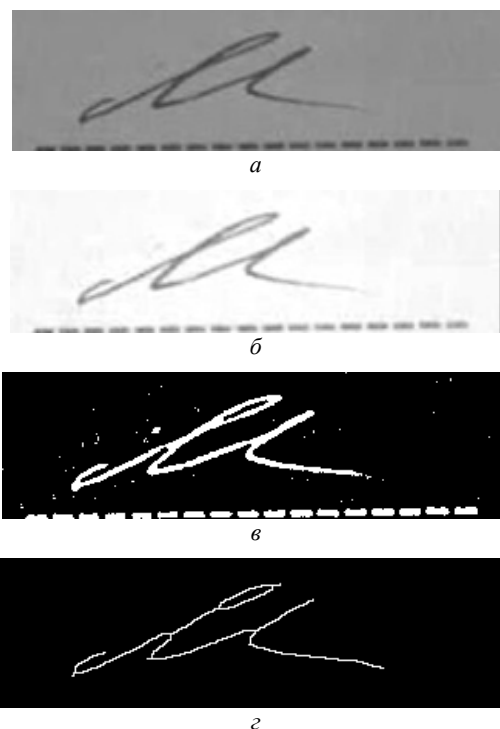


Рис. 1. Предварительная обработка изображения: а – исходное изображение; б – нелинейная цветокоррекция; в – бинаризованное изображение; г – изображение после удаления шумов

Distance transform. Для получения скелетного изображения объекта применяется алгоритм Distance Transform [9]. Данный алгоритм основан на расчете расстояния между внутренними точками объекта и точками, лежащими на контуре объекта. Расстояние можно подсчитать по одной из трех метрик, например, по евклидовой метрике расстояние рассчитывается по формуле

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \quad (2)$$

где x_1 и y_1 – координаты первой точки; x_2 и y_2 – координаты второй точки.

Также можно использовать метрику City Block (выражение (3)) или метрику «шахматной доски» (выражение (4)):

$$D = |x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|, \quad (3)$$

$$D = \max(|x_2 - x_1|, |y_2 - y_1|). \quad (4)$$

Исходя из выбранных метрик, рассчитываются «сильные» точки. Это точки с наибольшим значением метрики. После вычисления данных метрик необходимо рассчитать количество операций морфологического сужения, которое необходимо для того, чтобы данные точки остались. Однако перед этим нужно задать форму структурного элемента для операции сужения в зависимости от выбранной метрики [10]. Во всех трех метриках используется структурный элемент размерностью 3×3 . Если выбрана метрика «шахматной доски», тогда форма структурного элемента будет C_s , если используется метрика City Block, то в форма структурного элемента определяется как C_c , а если принимается евклидова метрика, то форма структурного элемента будет C_e (выражение (5)):

$$C_s = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad C_c = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad C_e = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

После того, как выбран структурный элемент и подсчитано количество необходимых морфологических операций, необходимо обработать ими изображение. В результате выполнения алгоритма на выходе получается скелетное изображение обрабатываемого объекта.

Графические характеристики подписи. После получения скелетного изображения можно приступить к расчету графических характеристик подписи. В данном подходе предлагается использовать матрицу расстояний как основную графическую характеристику [11]. На практике распознаваемый образ и образ-эталон, как правило, отличаются друг от друга масштабом, поворотом и сдвигом. Если последовательно выполнять все возможные геометрические преобразования (повороты, сдвиги и изменения масштаба) эталонного образа и при этом сравнивать результат преобразования с распознаваемым образом, то, в конце концов, можно зарегистрировать те параметры преобразований, при которых выступает наивысшее значение меры подобия. Ясно, что такой емкий подход, используемый, например, при распознавании отпечатков пальцев, относительно трудоемкий с вычислительной точки зрения. Данный метод строится не на сравнении самих образов или их базовых характеристик, а на сравнении инвариантов их геометрических преобразований. Сравнение нового об-

раза с эталоном происходит за одну итерацию сразу после вычисления его инварианта.

Как известно, расстояние между двумя точками на плоскости не изменяется при их синхронном сдвиге и повороте [12]. Это свойство можно использовать при построении инвариантов контурных образов на бинарных изображениях. Класс инвариантов вычисляется как расстояния между нормализованными координатами контурного образа. В качестве характеристики подписи формируется матрица расстояний, процесс вычисления которой можно представить следующим образом:

1) получение исходных координат вектора подписи (x_i, y_i) , где $i = 1, 2, \dots, n$, в форме вектора x , состоящего из n комплексных чисел:

$$x = (x_i + iy_i, \dots, x_n + iy_n); \quad (6)$$

2) центрирование исходных данных относительно среднего значения:

$$x_0 = (x - \tilde{x}), \quad (7)$$

где $\tilde{x}$ – среднее значение вектора x ;

3) вычисление нормированных координат по следующей формуле:

$$x^n = \frac{\text{Re}(x_0)}{\max(\text{Re}(x_0))} + i \frac{\text{Im}(x_0)}{\max(\text{Im}(x_0))}, \quad (8)$$

где $\max$ – максимальный элемент; x_0 – центрированное среднее значение, полученное по формуле (7);

4) вычисление матрицы расстояний для всей совокупности нормированных координат:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где r_{ij} – расстояние между i -й и j -й координатами.

На рис. 2 приведены векторные образы подписей, различающиеся масштабом, поворотом и сдвигом и вычисленные матрицы расстояний для этих подписей [2]. Для наглядности отображения значения матрицы расстояния были нормированы в диапазоне $0 \dots 255$ и выведены изображения, где элементам матриц присвоены значения яркости пикселей (рис. 2, а).

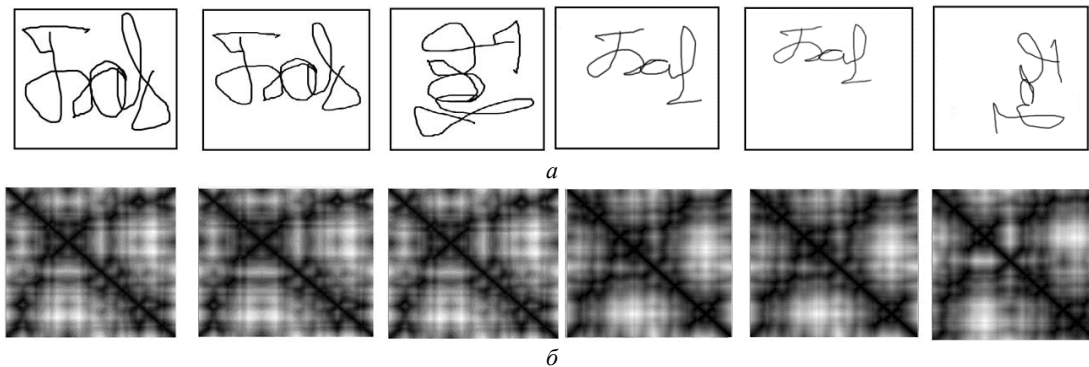


Рис. 2. Примеры подписей одного человека и их матриц расстояний:
а – образы подписей; б – матрицы расстояний подписей

Сравнивая между собой полученные матрицы расстояний, можно отметить, что все они практически одинаковые [13]. Взаимная корреляция между ними равна строго 1. При этом даже если пункт начала обхода каждого контура будет разным, значение взаимной корреляции не изменится, а пик ее сдвинется на то число строк и столбцов, которое будет соответствовать разнице в порядковых номерах пунктов начала обхода контуров.

Сравнение двух изображений подписи сводится к сравнению полученных характеристик подписи. Сравнение базовых характеристик происходит по следующей формуле:

$$|X_1 - X_2| < \varepsilon, \quad (10)$$

где X_1 – значение характеристики эталона; X_2 – значение характеристики сравниваемой подписи; ε – порог, заданный пользователем.

Данная формула подходит для всех базовых характеристик, кроме центра подписи. Сравнение центра подписи осуществляется по формуле

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} < \varepsilon, \quad (11)$$

где x_1 и y_1 – значения центра сравниваемой подписи; x_2 и y_2 – значения центра подписи эталона.

Сравнение матриц расстояний. При сравнении двух матриц расстояний вначале матрицы приводятся к одинаковой размерности. Матрица большей размерности уменьшается до размеров матрицы меньшей размерности, так как данное действие обеспечит наименьшие потери качества. В качестве алгоритма масштабирования предлагается метод ближайшего соседа. Данный алгоритм заключается в том, что значение элемента в масштабируемой матрице рассчитывается исходя из значений окружающих его элементов. Значение элемента в новой матрице рассчитывается по формуле

$$C_{\text{new}}[i][j] = C_{\text{new}}[k_1 \cdot i][k_2 \cdot j], \quad (12)$$

где i, j – координаты элемента матрицы; k_1 и k_2 – коэффициенты масштабирования, вычисляемые по формуле:

$$k_1 = \frac{H_{\text{old}}}{H_{\text{new}}}, k_2 = \frac{W_{\text{old}}}{W_{\text{new}}}, \quad (13)$$

где H_{old} и W_{old} – размеры исходной матрицы; H_{new} и W_{new} – размеры масштабируемой матрицы.

После того как две матрицы приведены к одной размерности, можно произвести их сравнение. Для этого предлагается использовать SSIM-метрику [14]. SSIM-метрика – это метод полного сопоставления, иными словами, он проводит измерение качества на основе исходного изображения (несжатого или без искажений). SSIM-метрика является развитием традиционных методов, таких как PSNR и метод среднеквадратичной ошибки MSE, которые оказались несовместимы с физиологией человеческого восприятия [15]. Отличительной особенностью метода является то, что метод учитывает «восприятие ошибки», благодаря учету структурного изменения информации. Идея заключается в том, что пиксели имеют сильную взаимосвязь, особенно когда они близки пространственно. Значение SSIM-метрики считается по следующей формуле:

$$\text{SSIM} = \frac{(2 \cdot \mu_x \cdot \mu_y + c_1)(2 \cdot \sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)}, \quad (14)$$

где μ_x – среднее по x ; μ_y – среднее по y ; μ_x^2 – дисперсия по x ; μ_y^2 – дисперсия по y ; σ_{xy} – ковариация по x и y .

Значение метрики дает процентное соотношение эталона и образца. В зависимости от качества исходного изображения и количества эталонов выставляется пороговое процентное соотношение, при достижении которого эталон и образец считаются идентичными.

Заключение. Для тестирования алгоритма был разработан программный продукт Signature Verification (рис. 3). Разработка велась с помощью Microsoft Visual Studio 2010, с использованием .NET Framework 3.5. и библиотеки OpenCV.

Продукт состоит из 4 основных модулей: предварительная обработка, скелетизация, обработка подписи, сбор статистики. Программа позволяет запоминать и сохранять эталоны пользователя, а также ведет статистику по верно и неверно определенным подписям, как за отдельную выборку, так и за все время работы программы.

Было проведено тестирование, в котором в качестве входных параметров выступали пары изображений (всего 10 пар), где первое изображение содержало эталон подписи (см. таблицу). По результатам тестирования было выявлено, что средняя погрешность алгоритма составляет 10 %.

Тестирование алгоритма

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Теоретическое совпадение, %	100	100	0	0	0	100	0	100	0	0
Результат работы алгоритма, %	99	94	12	10	5	87	5	74	19	3
Погрешность, %	1	6	12	10	5	13	5	26	19	3

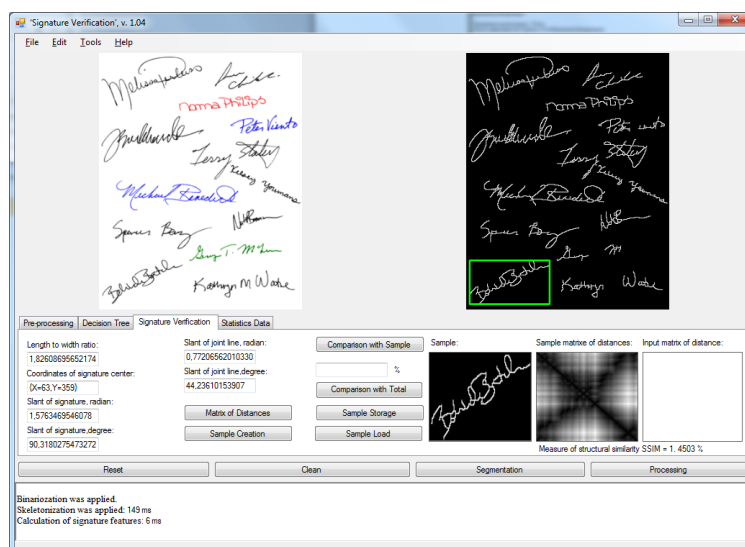


Рис. 3. Главная форма программы

Таким образом, по результатам тестирования системы видно, что погрешность правильного распознавания подписи является приемлемой и не превышает 10 %. Для улучшения показателя возможна комбинация из предложенного алгоритма и алгоритма, анализирующего биометрические особенности динамической подписи. В случае если эталон подписи может быть получен не с изображения, а с любого другого источника ввода, эффективность алгоритма может повыситься.

Библиографические ссылки

1. Вул С. М. Судебно-автороведческая экспертиза: современное состояние и перспективы. Вильнюс : Право, 1981. 544 с.
2. Баранов Р. П. Идентификация личной подписи человека // Решетневские чтения : материалы XV Международ. науч. конф. В 2 ч. Ч. 2. Красноярск, 2011. С. 603–604.
3. Kiani V., Pourreza R., Pourreza H. R. Offline Signature Verification Using Local Radon Transform and Support Vector Machines // International journal of Image Processing (IJIP). 2010. Vol. 3, Iss. 5.
4. Местецкий Л. М. Скелетизация многоугольной многосвязной фигурой на основе дерева смежности ее границы // Сибирский журнал вычислительной математики. 2006. Т. 9, № 3. С. 299–314.
5. Местецкий Л. М., Рейер И. А. Построение скелета области с кусочно-гладкой границей на основе полигональной аппроксимации // Математические методы распознавания образов (ММРО-10) : материалы X Всерос. конф. М., 2010.
6. Баранов Р. П., Белоконов А. В., Фаворская М. Н. Определение и приоритизация признаков объектов на изображении в системах распознавания // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи. В 2 т. Т. 1. Красноярск, 2012. С. 127.

7. Форсайт Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход. М. : Вильямс, 2004. 928 с.

8. Фаворская М. Н. Методы распознавания изображений и видеопоследовательностей : моногр. Красноярск, 2010. 176 с.

9. Фурман Я. А. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов. М. : Машиностроение, 2003. 648 с.

10. Siddiqi K., Pizer S. M. Medial representations: Mathematics, Algorithms and Applications. Springer, 2008.

11. Баранов Р. П., Болгов А. Н., Казмирук Е. С. Сравнение изображений подписи человека на основе матрицы расстояний // Решетневские чтения : материалы XVI междунар. науч. конф. В 2 ч. Ч. 2. Красноярск, 2012. С. 590–591.

12. Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М. : ФИЗМАЛИТ, 2009.

13. Баранов Р. П. Идентификация человека по его личной подписи // Молодёжь Сибири – науке России : материалы Междунар. практ. конф. В 2 ч. Ч. 1. Красноярск, 2012. С. 29.

14. Болгов А. Н., Баранов Р. П., Казмирук Е. С. Структурирование изображений на основе поиска ассоциативных правил // Решетневские чтения : материалы XVI Междунар. науч. конф. В 2 ч. Ч. 2. Красноярск, 2012. С. 594–595.

15. Daramola S. Person Identification System using Static and dynamic Signature Fusion // International Journal of Computer Science and Information Security. 2010. Vol (6)7. Pp. 88–92.

References

1. Vul S. M. *Sudebno-avtorovedcheskaja jekspertiza: sovremennoe sostojanie i perspektivy* [Forensic authorial examination: current status and prospects]. Vilnius, Pravo Publ., 1981, 544 p.

2. Baranov R. P. [Identification of human personal signature] *V materialakh XV mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Reshetnevskie chteniya"* [The materials of the XV International Scientific Conference "Reshetnev readings"]. Krasnoyarsk, 2011, p. 603–604 (In Russ.).
3. Offline Signature Verification Using Local Radon Transform and Support Vector Machines / V. Kiani, R. Pourreza, H. R. Pourreza. *International journal of Image Processing (IJIP)*. 2010, vol. (3), Iss. (5).
4. Mesteckij L. M. [Skeletonization multiply polygonal figure based on its boundary adjacent tree]. *Sibirskiy zhurnal vychislitel'noy matematiki*. 2006, no. 3, p. 299–314 (In Russ.).
5. Mestetskiy L. M., Reyer I. A. [IA Building skeletal domain with a piecewise smooth boundary based on polygonal approximation]. *Materialy X Vseros. konf. "Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov" (MMRO-10)* [Material X All-Russian Conference "Mathematical methods for pattern recognition" (MMRO-10)]. Moscow, 2010 (In Russ.).
6. Baranov R. P., Belokon' A. V., Favorskaya M. N. [Identifying and prioritizing the attributes of the objects in the image recognition systems]. *Vseros. nauch.-prakt. konf. tvorcheskoy molodezhi "Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики"* [All-Russian scientific-practical conference of creative youth "Actual problems of aviation and space exploration"]. Krasnoyarsk, 2012, vol. 1, p. 127.
7. Forsayt D. A. *Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyy podkhod*. [Computer vision. Modern approach]. Moscow, Vil'yams Publ., 2004, 928 p.
8. Favorskaya M. N. *Metody raspoznavaniya izobrazheniy i videoposledovatel'nostey* [Methods of image recognition and video sequences]. Krasnoyarsk, 2010, 176 p.
9. Furman Ya. A. *Vvedenie v konturnyy analiz i ego prilozheniya k obrabotke izobrazheniy i signalov*. [Introduction to contour analysis and its applications to image and signal processing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003, 648 p.
10. Siddiqi K., Pizer S. M., 2008. *Medial representations: Mathematics, Algorithms and Applications*. Springer, 2008.
11. Baranov R. P., Bolgov A. N., Kazmiruk E. S. [Comparison of images of human signatures based on distance matrix]. *V materialakh XVI mezhdunarodnoy nauchnoy konf. "Reshetnevskie chteniya"* [The materials of the XVI International scientific conference "Reshetnev readings"]. Krasnoyarsk, 2012, p. 590–591 (In Russ.).
12. Mestetskiy L. M. *Nepreryvnaya morfologiya binarnykh izobrazheniy: figury, skelety, tsirkulyary*. [Continuous morphology of binary images: figures, skeletons, circulars]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009, 288 p.
13. Baranov R. P. [Identification of a man by his personal signature]. *V materialakh mezhdunarodnoy prakticheskoy konf. "Molodezh' Sibiri – nauke Rossii"* [The materials of the international conference "Youth of Siberia – Russian science"]. Krasnoyarsk, 2012, p. 29 (In Russ.).
14. Bolgov A. N., Baranov R. P., Kazmiruk E. S. [Structuring images based on mining association rules]. *V materialakh XVI mezhdunarodnoy nauchnoy konf. "Reshetnevskie chteniya"* [The materials of the XVI International scientific conference "Reshetnev readings"]. Krasnoyarsk, 2012, p. 594–595 (In Russ.).
15. Daramola S. Person Identification System using Static and dynamic Signature Fusion // *International Journal of Computer Science and Information Security*. 2010. Vol (6)7, p. 88–92.

**МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД В РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕКСТУРЫ
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

А. Н. Болгов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: anbolgov@gmail.com

Рассматривается процесс разработки и применения мультиагентной системы для реконструкции текстуры фонового пространства изображения при удалении объектов. Рассматривается общая проблематика процедуры фото- и видеорекострукции, а также области ее применения. Проводится анализ существующих методов восстановления пропусков в больших массивах данных. Предлагается решение на основе одного из распространенных методов кластерного анализа – особой самоорганизующейся нейронной сети. Приводится поэтапный алгоритм обучения карт Кохонена: инициализация карты, выбор механизма отбора узлов, смещение смежных узлов в зависимости от функции соседства, определение меры обучения и переобучения сети, шаги грубой и тонкой подстройки. Разработан адаптированный алгоритм обучения и восстановления данных изображения на основе карт Кохонена. Введены механизм инициализации карты, структура обучающих векторов, методика выбора нейрона-победителя, функции соседства. Рассматривается принцип мультикартирования и применение кооперативного решения задачи на основе мультиагентного подхода. Расширен алгоритм мультиагентного решения на основе предварительной сегментации для определения смежных областей. Разработана архитектура мультиагентной системы, определено поведение отдельных агентов, спроектированы коммуникационные каналы для взаимодействия агентов. Реализована мультиагентная система восстановления текстуры на изображениях. Представлены результаты экспериментов. Эксперименты были проведены на базе эталонных изображений для поиска объектов интереса (CBIR database). Приведены оценки эффективности выбранных параметров мультикартирования. Оценка оптимального количества карт при мультикартировании проведена на основе процента покрытия палитры исходного изображения. Представлены показатели точности и быстродействия агентного механизма для подсистем обучения и реконструкции, на основании которых можно сделать выводы об эффективности предлагаемой методики. Оценка точности проведена при помощи метрик SSIM, MSE, PSNR, а также при помощи методики попиксельного сравнения. Оценка быстродействия проведена для различных конфигураций мультиагентной системы с целью определения самой эффективной из них.

Ключевые слова: реконструкция изображений, реконструкция текстур, карты Кохонена, мультиагентные системы.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 44–50

IMAGE TEXTURE RECONSTRUCTION BASED ON MULTIAGENT APPROACH

A. N. Bolgov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochiy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: anbolgov@gmail.com

Development and implementation of a multiagent system that designed for texture restoration of image background when deleting objects are examined in the thesis. General problems of photo and video reconstruction and its application are reviewed. The analysis of existing methods for restore gaps in big data arrays is held. Solution by using one of popular method of clustering analysis: special self-organizing neural network is offered. Algorithm of learning Kohonen map is covered step by step: preparation initial map data, best matching unit choice, shifting adjacent nodes by neighborhood function, determination of training measures, ordering and fine tuning. Adaptation and modification of the Kohonen map algorithm for image restoring is proposed. Algorithms of initialization of map, choice of content of training vectors, best matching unit algorithm, neighborhood functions are highlighted in this paper. Kohonen multi-map principle and cooperative solution by using multiagent paradigm is considered. Multiagent algorithm is expanded by presegmentation step for defining of adjacent areas. Architecture of a multiagent system is developed, behavior of individual agents and communication ways are determined. Multiagent system that allows restoring background pixels

of is implemented. Results of series of experiments are presented. Experiments were carried out on the database of images to search for objects of interest (CBIR database). Assessments of efficiency parameters of multimapping are presented. Evaluation of the optimal number of maps for by multimapping is based on a percentage of the original image palette coverage. The accuracy and performance of agent-based mechanism for the subsystems of training and reconstruction are represented. Assessments of accuracy metrics using SSIM, MSE, PSNR and method by pixel-per-pixel comparison are conducted. Performance estimation for various configurations of the multi-system is conducted in order to determine the most effective ones.

Keywords: image restoration, texture restoration, Kohonen maps, multiagent systems.

Введение. На сегодняшний день существует множество систем, в которых реализованы различные алгоритмы обработки изображений. Предварительная обработка изображений для решения прикладных задач является неотъемлемым этапом работы таких систем. Одной из важных задач предварительной обработки является удаление объектов и восстановление фонового пространства, располагающегося за ними. Выполнение данного этапа позволяет исключить из последующего анализа объекты, лежащие вне области интереса. При удалении некоторого объекта из изображения важно сохранить общую однородность фонового пространства, чтобы исключить возможные ложные срабатывания последующих алгоритмов обработки данных изображения. Подобная техника широко применяется при фотосъемке в процессе ретуши и общей корректировки композиции, а также в различных системах наблюдения и учета для более детальной фокусировки на определенной группе объектов интереса [1–3].

Для решения задачи восстановления фона существует множество подходов, многие из которых базируются на принципах статистического и кластерного анализа. Изображение в контексте подобных подходов рассматривается как огромный набор статистически упорядоченных данных. Группы пикселей связаны между собой, и на основе существующих алгоритмов возможно восстановление пикселя фоновой подложки путем статистического и кластерного анализа всего изображения в целом либо окружающих пикселей данной группы [4]. Высокую эффективность для восстановления данных имеют методы, построенные на основе кластерного подхода, например, карты Кохонена.

Карты Кохонена. Карты Кохонена, или самообучающиеся карты (Self-organizing Map – SOM) Кохонена, – это нейросетевая архитектура для автоматической кластеризации (классификации без учителя), в которой учитывается информация о взаимном расположении нейронов, которые образуют решетку [5–7]. Сигнал в такую нейросеть поступает сразу на все нейроны, а веса соответствующих синапсов интерпретируются как координаты положения узла, и выходной сигнал формируется по принципу «победитель забирает все», т. е. ненулевой выходной сигнал имеет нейрон, ближайший (в смысле весов синапсов) к подаваемому на вход объекту. В процессе обучения веса синапсов настраиваются таким образом, чтобы узлы решетки «располагались» в местах локальных сгущений данных, т. е. описывали кластерную структуру облака данных, с другой стороны, связи между нейронами соответствуют отношениям соседства между

соответствующими кластерами в пространстве признаков.

Изначально SOM представляет собой сетку из узлов, соединенных между собой связями. Кохонен рассматривал два варианта соединения узлов – прямоугольная и гексагональная сетки. Отличие состоит в том, что в прямоугольной сетке каждый узел соединен с четырьмя соседними узлами, а в гексагональной – с шестью ближайшими узлами. Таким образом, для двух таких сеток процесс построения SOM отличается лишь тем, где перебираются ближайшие к данному узлу соседи [8; 9].

Начальное положение сетки выбирается произвольным образом. Основными вариантами являются вариант случайного начального расположения узлов в пространстве и вариант расположения узлов в плоскости. После инициализации расположения узлов они начинают перемещаться в пространстве согласно следующему алгоритму:

1. Случайным образом выбирается точка данных x .
2. Определяется ближайший к x узел карты m_{ij} (Best Matching Unit – BMU). Данный шаг определяется формулой (1):

$$M(t) = \min_{i=0}^W (\min_{j=0}^H (d(x(t), m_{ij}(t)))) , \quad (1)$$

где t – итерация обучения; W – ширина карты; H – высота карты; $x(t)$ – обучающий вектор; $m_{ij}(t)$ – нейрон карты в позиции (i, j) ; d – функция сравнения двух векторов.

3. Этот узел перемещается на заданный шаг по направлению к x . Однако он перемещается не один, а увлекает за собой определенное количество ближайших узлов из некоторой окрестности на карте. Например, если радиус окрестности равен 1, то вместе с ближайшим узлом m_{ij} по направлению к x двигаются 4 его соседа по карте в случае прямоугольной сетки и 6 соседей в случае гексагональной сетки. Изменение веса узла происходит по следующей рекуррентной формуле:

$$m_i(t) = m_i(t-1) + h_{ci}(t) \cdot (x(t) - m_i(t-1)) , \quad (2)$$

где t – итерация обучения; $m_i(t)$ – значение функции соседства; $x(t)$ – обучающий вектор; h_{ci} – нейрон карты.

4. Алгоритм повторяется определенное число итераций. На первом этапе число итераций выбирается порядка тысячи, на втором – десятки тысяч (число шагов может сильно изменяться в зависимости от задачи).

Итогом работы алгоритма обучения является обученная карта, т. е. будут определены веса всех нейронов. Также возможен вариант обучения сразу нескольких

карт и выбор лучшей карты по определенным критериям.

Мультиагентный подход. Для эффективного решения задачи требуется механизм, позволяющий, с одной стороны, обеспечивать распределенное решение задачи восстановления текстуры, с другой стороны, получать оптимальные результаты точности в сравнении с базовым алгоритмом. Мультиагентный подход позволяет решить выше обозначенные проблемы. Агентом является все, что может рассматриваться как воспринимающее свою среду с помощью датчиков и воздействующее на эту среду с помощью исполнительных механизмов [10]. Решение задачи одним агентом на основе инженерии знаний представляет собой точку зрения классического искусственного интеллекта, согласно которой агент (например, интеллектуальная система), обладая глобальным видением проблемы, имеет все необходимые способности, знания и ресурсы для ее решения. Напротив, при создании многоагентных или мультиагентных систем (МАС) предполагается, что отдельный агент может иметь лишь частичное представление о задаче и способен решить лишь некоторую ее подзадачу. Поэтому для решения сколько-нибудь сложной проблемы, как правило, требуется взаимодействие агентов, которое неотделимо от формирования МАС. В МАС задачи распределены между агентами, каждый из которых рассматривается как член группы или организации. Распределение задач предполагает назначение ролей каждому из агентов, определение меры его ответственности и требований к опыту [11–13].

Предлагаемый механизм решения задачи реконструкции фона изображения. Предлагаемый алгоритм реконструкции фона на изображении на основе карт Кохонена состоит из двух основных этапов: обучение карты и восстановление пропусков в векторах данных. Для успешного выполнения данных этапов необходимо определить следующие аспекты и компоненты процесса:

1. Механизм преобразования изображения в массив векторов данных. Одним из наиболее эффективных вариантов является механизм разбиения изображения на блоки определенной аналитиком размерности и формирования на основе пикселей блока его векторного представления. При этом поврежденные пиксели не должны учитываться при формировании вектора данных [14–16]. Вектор признаков строится по формулам

$$\omega_i(x, y) = P[l + i \oplus S, t + i \div S], \quad (3)$$

$$l = x - \lfloor S/2 \rfloor, \quad (4)$$

$$t = y - \lfloor S/2 \rfloor, \quad (5)$$

где S – размер блока пикселей; $P[i, j]$ – пиксель, расположенный в i -м столбце и j -й строке на изображении; x, y – координаты, для которых строится вектор.

При использовании представленного выше метода построения векторов необходимо учитывать следующие ограничения, заданные формулами

$$\lfloor S/2 \rfloor \leq x \leq W - \lfloor S/2 \rfloor, \quad (6)$$

$$\lfloor S/2 \rfloor \leq y \leq H - \lfloor S/2 \rfloor, \quad (7)$$

где S – размер блока пикселей; W – ширина изображения; H – высота изображения.

Данные условия вводятся в силу того, что размер рассматриваемого блока больше одного пикселя и, соответственно, количество таких блоков будет меньше, чем количество пикселей в изображении. Дополнительно накладывается условие, что S должно быть четным для более точного описания окружности пикселя, а именно, для симметричности окружности пикселя.

2. Механизм инициализации карты. Двумя наиболее распространенными вариантами являются инициализация случайными значениями и инициализация стартовыми блоками.

3. Одним из этапов обучения карты Кохонена является этап грубой настройки, для него требуется выполнить выбор наиболее информативных векторов данных. Обычно для этого выбираются максимально не похожие друг на друга векторы данных.

4. Мера расстояния между входным обучающим вектором (или вектором данных при восстановлении) и узлом карты, необходимая для выбора нейрона-победителя. Обычно определяется как расстояние между векторами и рассчитывается по формуле (8):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^S (x_k - w_{ijk})^2}, \quad (8)$$

где x_k – k -е значение вектора входных данных; w_{ijk} – k -е значение вектора весов нейрона из i -й и j -й позиции карты; S – размерность вектора весов.

5. Для эффективного обучения карты необходимо определить используемую функцию соседства. Самыми распространенными являются следующие функции: Гаусса (Gaus, формула расчета (9)), «французская шляпа» (FrenchHat, формула расчета (10)) и дискретная (Discrete, формула расчета (11)):

$$h(p, t) = e^{\frac{p^2}{2\sigma^2(t)}}, \quad (9)$$

$$h(p) = \begin{cases} 1, & |p| \leq a, \\ -\frac{1}{3}, & a < |p| \leq 3a, \\ 0, & |p| > 3a. \end{cases} \quad (10)$$

$$h(p) = \begin{cases} 1, & |p| \leq 1, \\ \frac{1}{2}, & 1 < |p| \leq 2, \\ \frac{1}{4}, & 2 < |p| \leq 3, \\ \frac{1}{8}, & 3 < |p| \leq 4, \end{cases} \quad (11)$$

где p – расстояние между узлами карты; t – номер итерации; a – заранее определенная константа (обычно $a = 2$).

6. Критерии останова обучения или параметры скорости обучения нейронной сети. Основными критериями выступают максимальное количество итераций, при котором система считается обученной,

и минимальная точность, рассчитываемая как сумма средних изменений весов в итерации обучения.

Определение данных компонентов, аспектов и настроек позволяет адаптировать технологию восстановления пропусков в данных для решения прикладной задачи реконструкции поврежденного изображения. Решение задачи восстановления фона изображения за удаляемым объектом состоит из двух основных этапов: обучение карты Кохонена и восстановление фона по обученной карте. Эффективность реконструкции «пропусков» на стыке нескольких текстур увеличивается при восстановлении каждой смежной текстуры по отдельно обученной карте. Для этого требуется еще один дополнительный шаг сегментации исходного изображения. Система состоит из двух основных блоков: блок обучения и блок восстановления. Данное разделение на блоки позволяет определить основные классы подзадач для решения общей задачи системы.

При анализе функциональных требований и проектировании будущей системы был сделан выбор в виде следующей модификации классического варианта решения задачи восстановления фона изображения по карте Кохонена: для увеличения точности получаемых результатов предлагается использование мультикартирования, т. е. построение сразу нескольких карт; затем на этапе восстановления параллельно восстанавливать изображение по нескольким картам с выбором оптимального значения для каждого пикселя.

С точки зрения мультиагентного подхода архитектура системы изображена на рис. 1.

Заключение. Экспериментальный программный продукт позволил провести исследование предложенной архитектуры в части точности и быстродействия решения задачи. Результаты реконструкции текстуры фона изображения представлены на рис. 2.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны 100 изображений различной сложности и размерности из базы эталонных изображений CBIR database (<http://www.cs.washington.edu/>). Данные файлы были объединены в группы по 10 изображений для удобства проведения тестов и интерпретации результатов.

На первом этапе исследования осуществлялся поиск оптимального количества карт (рис. 3).

По результатам проведенных исследований можно сделать следующий вывод: одна обученная карта Кохонена в большинстве случаев не покрывает 50 % палитры исходного изображения, поэтому мультикартирование является оптимальным механизмом для восстановления. Четыре карты являются оптимальным количеством карт, так как позволяют достигать более 92 % покрытия палитры без существенной потери производительности системы как в случае 8 карт. Результаты точности реконструкции приведены на рис. 4.

По результатам исследования точности восстановления можно сделать вывод, что многоагентная конфигурация алгоритма восстановления позволяет добиться лучших результатов. На менее сложных изображениях результаты многоагентной и одноагентной конфигурации близки, однако с увеличением размерности и структурной сложности изображений прирост точности становится заметен. Результаты исследования быстродействия алгоритмов представлены на рис. 5.

По результатам исследования быстродействия алгоритмов системы видно, что мультиагентный подход позволяет добиться увеличения быстродействия алгоритмов. Оптимальным числом агентов для системы является четыре, так как позволяет добиться почти 100 %-ого ускорения алгоритмов в сравнении с одноагентным подходом. Однако дальнейшее увеличение числа агентов отрицательно сказывается на системе, так как увеличиваются затраты на коммуникацию агентов.

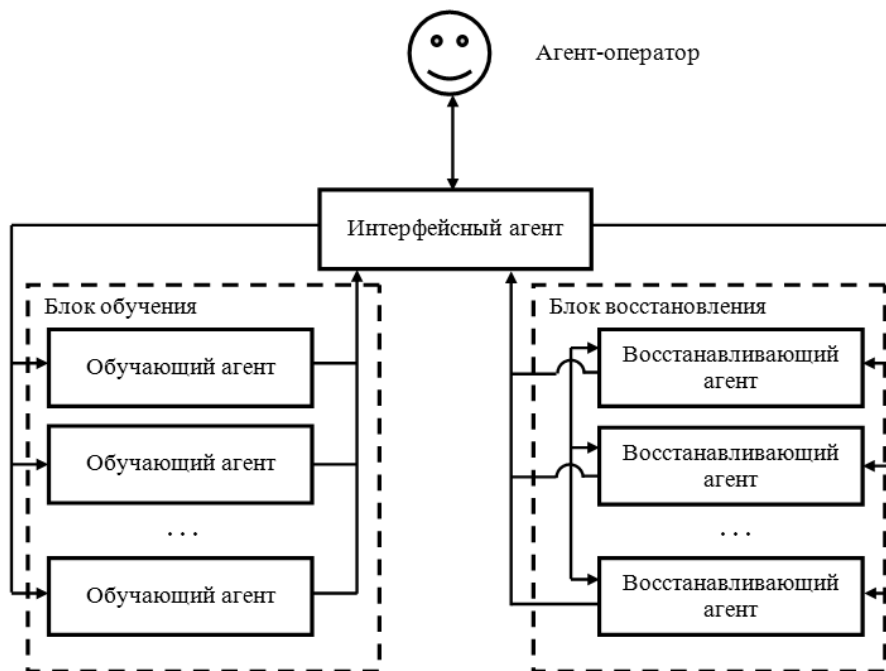


Рис. 1. Архитектура мультиагентной системы по восстановлению текстуры



Рис. 2. Результаты реконструкции текстуры фона изображения: *а* – исходное изображение; *б* – сегментированное изображение; *в* – восстановленное изображение; *г* – восстановленное изображение с предварительной сегментацией

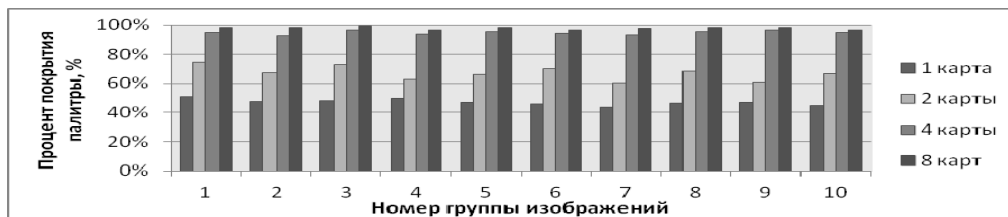


Рис. 3. Результаты поиска оптимального количества карт

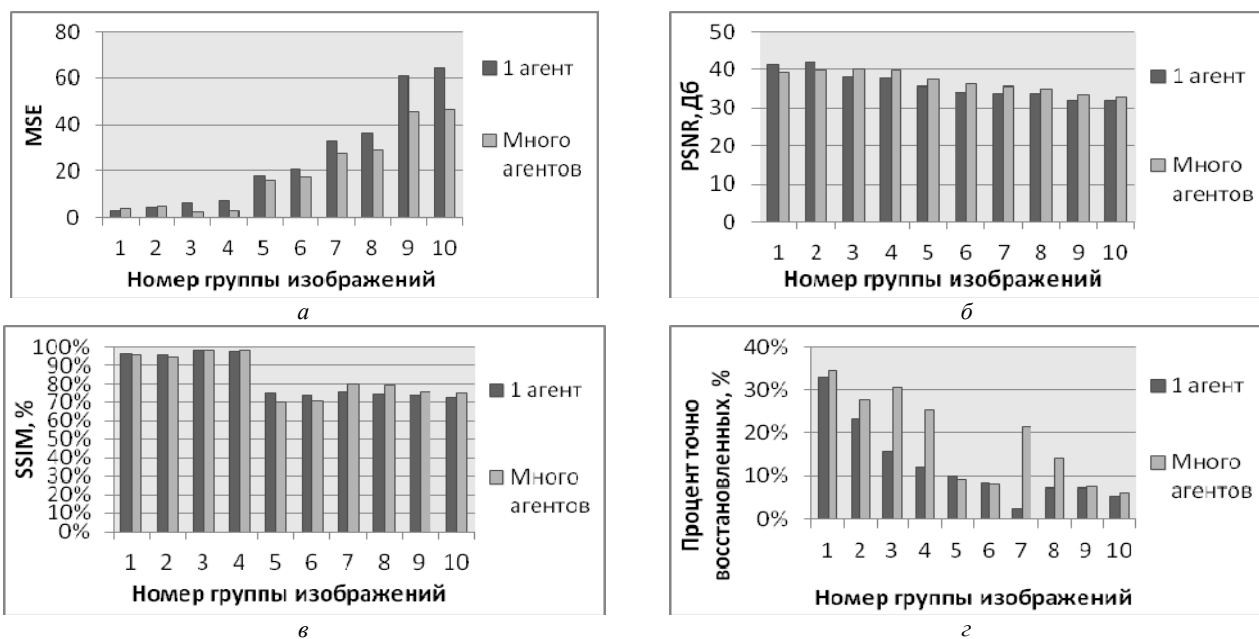


Рис. 4. Результаты оценки точности алгоритма восстановления: *а* – по метрике MSE; *б* – по метрике PSNR; *в* – по метрике SSIM; *г* – по проценту точно восстановленных пикселей

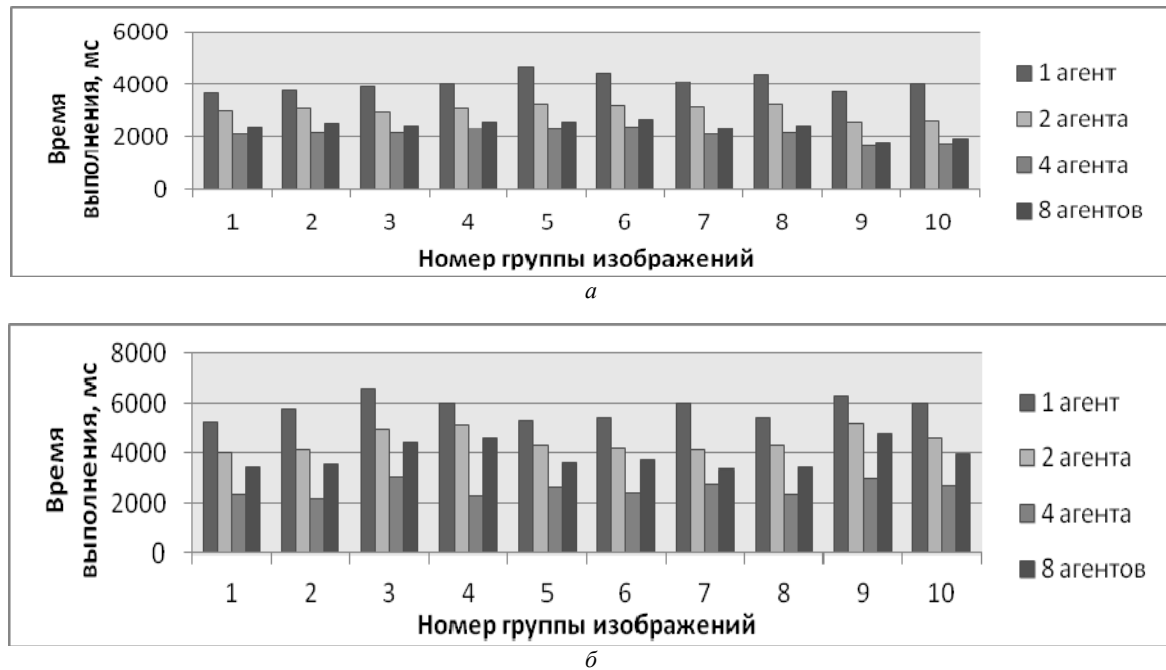


Рис. 5. Результаты исследования быстродействия алгоритмов системы:
а – алгоритм обучения; б – алгоритм восстановления

Таким образом, проведенные исследования показали, что комбинирование методов кластерного анализа, классических приемов обработки изображений, а также мультиагентного подхода позволяет решить задачу реконструкции фона изображения. Выявлено, что мультиагентный подход не только не уменьшил точность работы системы, но и позволил добиться незначительного увеличения данного показателя. Кроме этого, механизм распределенного решения задачи позволил достичь 90–110 % увеличения быстродействия системы в сравнении с одноагентной системой.

Библиографические ссылки

1. Форсайт Д. А., Понс Дж. Компьютерное зрение. Современный подход М. : Вильямс, 2004. 928 с.
2. Фаворская М. Н., Петухов Н. Ю. Распознавание природных объектов на аэрофотоснимках с применением нейронных сетей // Автотметрия, 2011. Т. 47, № 3. С. 34–40.
3. Kohonen T. Self-Organizing Maps. New York : Springer Series in Information Sciences, 2001. 501 p.
4. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход : пер. с англ. М. : Вильямс, 2006. 1408 с.
5. Andreas L., Pericles A. Agent intelligence through data mining Munchen : Technische Universität München, 2008. 215 p.
6. Болгов А. Н. Использование карт Кохонена для восстановления фоновой текстуры на изображении // Техническое зрение в системах управления – 2014 : материалы науч.-техн. конф. М., 2014. С. 437.
7. Литтл Р. Дж. А., Рубин Д. Б. Статистический анализ данных с пропусками М. : Финансы и статистика, 1991. 430 с.

8. Smigiel E. Self-Organizing Maps and Ancient Documents // Proceeding 6th International Workshop on Document Analysis Systems VI – DAS. 2004. Pp. 125–134.
9. Abonyi J., Feil B. Cluster Analysis for Data Mining and System Identification. Oxford : Blackwell, 2007. 320 p.
10. Serra J. Image analysis and mathematical morphology London : Academic Press Inc., 1982. 610 p.
11. Nisbet R., Elder J., Miner G. Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications London : Academic Press Inc., 2009. 864 p.
12. Image Quality Statistics and Their Use in Steganalysis and Compression / I. Avcibas [et al.]. Istanbul : Boğaziçi University, 2001. P. 211–218.
13. Szeliski R. Computer Vision Algorithms and Applications. Berlin : Springer, 2011. 812 p.
14. Datta R., Joshi D., Wang J. Z. Image retrieval: Ideas, influences, and trends of the new age // ACM Computing Surveys. 2008. Vol. 40. P. 1–60.
15. Horton N. J., Lipsitz S. R. Multiple Imputation in Practice: Comparison of Software Packages for Regression Models with Missing Variables // The American Statistician, 2001. Vol. 55. P. 244–254.
16. Shamir A., Avidan S. Seam carving for content-aware image resizing // Proceeding SIGGRAPH '07 ACM SIGGRAPH 2007 papers. New York : ACM, 2007. P. 341–350.

References

1. Forsayt D. A. *Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyy podkhod* [Computer Vision. Modern view]. Moscow, Williams Publ., 2004, 928 p.
2. Favorskaya M. N., Petukhov N. Yu. [Recognition of nature objects on airphotos with using neural networks]. *Avtometriya*. 2011, vol. 47, no. 3, p. 34–40 (In Russ.).

3. Kohonen T. Self-Organizing Maps. *Springer Series in Information Sciences*. 2001, 501 p.
4. Rassel S. *Iskusstvennyy intellekt: sovremennyy podkhod* [Artificial Intelligence: Modern view]. Moscow, Williams, 2006, 1408 p.
5. Andreas L. Agent intelligence through data mining. Munchen, Technische Universität München, 2008, 215 p.
6. Bolgov A. N. [Using of Kohonen maps to restore background on images]. *V materialakh nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Tekhnicheskoe zrenie v sistemakh upravleniya – 2014"* [Proceeding of "Technical Vision in Control Systems – 2014"]. Moscow, 2014, p. 437 (In Russ.).
7. Littl R. Dzh. A., Rubin D. B. *Statisticheskoy analiz dannykh s propuskami* [Statistical analysis of data with gaps]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1991, 430 p.
8. Smigiel E. Self-Organizing Maps and Ancient Documents. *Proceeding 6th International Workshop on Document Analysis Systems VI*. Berlin, 2004, p. 125–134.
9. Abonyi J., Feil B. Cluster Analysis for Data Mining and System Identification. Oxford, Blackwell, 2007, 320 p.
10. Serra J. Image analysis and mathematical morphology. London, Academic Press Inc., 1982, 610 p.
11. Nisbet R., Elder J., Miner G. Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications. London, Academic Press Inc., 2009, 864 p.
12. Avcibas I., Sankur B., Akarun L., Anarim E. Image Quality Statistics and Their Use in Steganalysis and Compression. Istanbul, Boğaziçi University, 2001, p. 211–218.
13. Szeliski R. Computer Vision Algorithms and Applications. Berlin, Springer, 2011, 812 p.
14. Datta R., Joshi D., Wang J. Z. Image retrieval: Ideas, influences, and trends of the new age. *ACM Computing Surveys*. 2008, vol. 40, p. 1–60.
15. Horton N. J., Lipsitz S. R. Multiple Imputation in Practice: Comparison of Software Packages for Regression Models with Missing Variables. *The American Statistician*. 2001, vol. 55, p. 244–254.
16. Shamir A., Avidan S. Seam carving for content-aware image resizing. *Proceeding SIGGRAPH '07 ACM SIGGRAPH 2007 papers*, 2007, P. 341–350.

**ЭФФЕКТИВНАЯ ПРОЦЕДУРА АУТЕНТИФИКАЦИИ СТУДЕНТА ПО РЕЧИ
В ДИСТАНЦИОННОМ ОБРАЗОВАНИИ**К. Ю. Брестер¹, С. Р. Вишневская¹, О. Э. Семенкина¹, М. Ю. Сидоров²¹ Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: christina.bre@yandex.ru, vishni@ngs.ru, semenkina.olga@mail.ru² Ульмский университет
Германия, 89081, г. Ульм, аллея им. Альберта Эйнштейна, 43
E-mail: maxim.sidorov@uni-ulm.de

В настоящее время на базе практически каждого университета студентам предоставляется возможность получения заочного образования, кроме того, ведутся курсы дистанционного обучения. Из-за широкого спектра преимуществ в последние годы дистанционное образование привлекает все больше и больше людей, что вызывает необходимость создания официального стандарта, включающего ряд требований, которым должна соответствовать дистанционная форма обучения. Так, например, необходимость верификации личности студентов включена во многие зарубежные образовательные стандарты в качестве обязательной процедуры. В случае если преподаватели лишены визуального контакта со своими учениками, появляется необходимость в разработке эффективной технологии для проверки личности студента в дистанционном режиме. Предложена процедура аутентификации студента по речи, основанная на использовании акустических характеристик, извлеченных из речевых сигналов. В настоящее время пока остается открытым вопрос выбора надежной и эффективной классификационной модели, поскольку невозможно в онлайн-режиме исследовать различные классификаторы для определения наиболее эффективного, сохраняя при этом высокую производительность системы при взаимодействии с пользователем. Поэтому, чтобы повысить надежность предлагаемого подхода, были разработаны алгоритмические схемы, основанные на коллективном принятии решений с целью учета предсказаний различных классификаторов. Для исследования эффективности данной процедуры использовались базы данных, содержащие звукозаписи на немецком, английском и японском языках. Согласно полученным результатам применение описанного подхода позволяет получить высокую точность распознавания личности говорящего по речи (до 100 % для некоторых баз данных). Разработанные алгоритмические схемы обеспечивают гарантированный уровень эффективности и являются надежной альтернативой произвольному выбору классификационной модели.

Ключевые слова: дистанционное обучение, аутентификация студентов по речи, классификатор, коллективное принятие решений.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 51–56**EFFECTIVE SPEECH-BASED STUDENT AUTHENTICATION PROCEDURE
IN DISTANCE LEARNING**C. Y. Brester¹, S. R. Vishnevskaya¹, O. E. Semenkina¹, M. Y. Sidorov²¹ Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: christina.bre@yandex.ru, vishni@ngs.ru, semenkina.olga@mail.ru² Ulm University
43, Albert-Einstein-Allee, Ulm, 89081, Germany
E-mail: maxim.sidorov@uni-ulm.de

Nowadays it is almost impossible to find a university that does not provide its students with online courses or correspondence education. Due to various advantages, distance learning has attracted more and more people in recent years. As a result, some of the requirements that this educational format has to satisfy have been included in legislation systems. The necessity to authenticate students remotely is presented as a compulsory procedure in many official documents. When teachers are deprived of face-to-face contact with their students, there is a need to find an appropriate way to verify their personality distantly. In this paper we propose the speech-based student authentication procedure which operates with some acoustic characteristics extracted from voice signals. However, there is one crucial question related to the classification model providing high performance. It is almost impossible for the online systems to vary

classifiers and determine the most effective one while interacting with a user. Therefore, to increase the reliability of our proposal we elaborated some classification schemes based on collective decision making to take into account predictions of different classifiers. To prove the effectiveness of this approach, we used a number of multi-lingual corpora (German, English, Japanese). According to the results obtained, a high level of speaker recognition was achieved (up to 100 % of F-score values). The developed algorithmic schemes provide a guaranteed level of effectiveness and might be used as a reliable alternative to the occasional choice of a classification model.

Keywords: distance learning, speech-based student authentication, classifier, collective decision making.

Введение. Все больше и больше людей осознают преимущества дистанционного обучения и заочного образования. Во-первых, многие университеты по всему миру предлагают онлайн-курсы, которые доступны для всех студентов. Это прекрасная возможность одновременного изучения нескольких дисциплин. Во-вторых, нет никакой необходимости каждый день добираться до и от места обучения, что означает экономию транспортных расходов. Кроме того, по сравнению с традиционной системой образования, дистанционное обучение является гораздо более гибким, так как студенты имеют возможность составлять собственное расписание и осваивать материал в индивидуальном темпе. Одним из главных достоинств этого учебного процесса является его низкая стоимость.

Постоянно растущая популярность дистанционного образования приводит к необходимости разработки стандартов, содержащих требования, которым должен соответствовать данный формат обучения. Можно привести широкий спектр различных требований [1], однако в данной статье рассматривается лишь один из ключевых моментов, а именно, вопрос аутентификации личности дистанционного студента.

Самыми распространенными предложениями для дистанционной верификации личности обучающегося являются:

- использование биометрических данных;
- запрос персональных данных (ответ на контрольные вопросы);
- проверка с помощью клавиатурного почерка.

Однако первый подход требует высокотехнологичных устройств (например, для сканирования отпечатков пальцев), что увеличивает стоимость дистанционного обучения в значительной степени, в то время как низкая стоимость является его существенным преимуществом. Кроме того, ни одна из этих процедур не может гарантировать полное отсутствие людей, находящихся поблизости, которые могут дать подсказки во время дистанционного экзамена.

Принимая во внимание все эти детали, был разработан альтернативный подход для аутентификации дистанционных студентов в автоматическом режиме. В ходе учебного процесса студенты участвуют в диалоге «ученик–учитель» или «студент–система», что определяет возможность накопления устных ответов учащихся (в формате звукозаписей). В свою очередь, акустические характеристики голоса являются отличительными признаками одного человека от другого. Следовательно, на промежуточном или финальном экзамене система может сравнить текущий речевой сигнал с накопленными ранее голосовыми записями. Данный подход эффективен прежде всего в случае, когда учащиеся должны ответить на вопрос быстро в режиме реального времени: у них есть только

несколько секунд, чтобы обдумать свой ответ, и нет времени на то, чтобы понять объяснения других людей.

Очевидным преимуществом аутентификации студентов по речи является то, что обучающимся не требуются дополнительные устройства (за исключением микрофонов, которые обычно и так встроены в компьютер).

Разрабатываемый подход. Разрабатываемый подход состоит из нескольких этапов. Во-первых, необходимо извлечь акустические характеристики из набора имеющихся звукозаписей. В рамках конференции «*INTERSPEECH 2009*» учеными был предложен набор акустических характеристик, используемых для описания любого речевого сигнала. Данная совокупность признаков включает максимальное, минимальное, среднее значения или среднеквадратическое отклонение числовых характеристик, описывающих речевой сигнал, его высоту, вибрации, интенсивность и т. п. Суммарное количество признаков – 384. Для извлечения из голосовой записи описанного набора признаков используются программные системы *OpenSMILE* [2] и *Praat* [3].

Все извлеченные атрибуты или наиболее информативные из них [4; 5] должны быть привлечены в процесс обучения классификационных моделей, вид которых и способ построения может существенно различаться [6–8].

На заключительном этапе речевой сигнал, подлежащий анализу, конвертируется в вектор признаков (также с использованием *OpenSMILE*, *Praat*), который затем подается в качестве входных данных на уже обученный классификатор.

На втором этапе необходимо выбрать классификационную модель. Однако невозможно знать заранее, какая из них окажется наиболее эффективной в конкретном случае. Поэтому для повышения надежности процедуры распознавания были разработаны технологии принятия решений коллективом классификаторов. В данной работе мы исследуем эффективность трех алгоритмических схем, которые позволяют учитывать предсказания различных моделей для принятия окончательного решения [9].

Схема 1. Для каждого тестового примера необходимо определить k ближайших соседей из набора данных для обучения. Предсказание модели, которая правильно классифицирует эти примеры (k ближайших соседей), используется в качестве окончательного решения. Если несколько моделей демонстрируют равную эффективность, необходимо выбрать одну из них случайным образом.

Схема 2. Для каждого тестового примера модели голосуют за разные классы в соответствии с их собственными прогнозами. Окончательное решение

определяется как коллективный выбор, основанный на правиле большинства.

Схема 3. Объединяем схемы 1 и 2 следующим образом:

- выполняем процедуру голосования, как это описано в схеме 2;
- если несколько классов имеют максимальное количество голосов, применяем схему 1.

Важно, что во всех этих схемах нет ограничений на количество классификаторов. Но, безусловно, целесообразно включать в коллектив модели, демонстрирующие высокую эффективность. Поэтому перед применением описанных схем был исследован набор стандартных классификаторов с целью выявления наиболее эффективных моделей.

Результаты исследования разработанного подхода. На практике для оценки результатов работы классификатора нередко используется матрица неточностей (*англ.* confusion matrix) [10], столбцы которой соответствуют экспертным решениям (истинное значение класса), а строки – предсказаниям классификатора (см. рисунок). Размерность матрицы $N \times N$, где N – число различных классов в выборке.

Матрица неточностей демонстрирует работу алгоритма и позволяет оценить его эффективность для каждого класса, содержащегося в выборке. Для этого вводятся специальные метрики *полнота* и *точность*, определяемые следующим образом. Пусть построена матрица неточностей $A = (a_{ij})$, тогда полнотой в пределах класса l (*англ.* recall) назовем величину, равную доле экземпляров данного класса, найденных классификатором, относительно всех примеров данного класса в тестовой выборке:

$$\text{recall}_l = \frac{a_{ll}}{\sum_i a_{il}}. \quad (1)$$

Точностью в пределах класса l (*англ.* precision) назовем величину, равную доле примеров в тестовой выборке, действительно принадлежащих классу l , относительно всех экземпляров, которые были отнесены к данному классу:

$$\text{precision}_l = \frac{a_{ll}}{\sum_j a_{lj}}. \quad (2)$$

Чем выше точность и полнота, тем качество работы классификатора лучше. Однако при решении практических задач редко удастся добиться максимальных значений обеих метрик одновременно. Поэтому часто используют такой показатель, как F-score, объединяющий в себе информацию и о точности, и о полноте классификатора:

$$\text{F-score} = 2 \cdot \frac{\text{Recall} \cdot \text{Precision}}{\text{Recall} + \text{Precision}}, \quad (3)$$

где $\text{Recall} = \sum_l \text{recall}$, $\text{Precision} = \sum_l \text{precision}$.

Исследование эффективности предложенного подхода проводилось с использованием баз данных Berlin [11], SAVEE [12], VAM [13] и UUDB [14], содержащих характеристики голосовых записей на немецком, английском, немецком и японском языках соответственно (табл. 1).

В первом эксперименте разрабатываемый подход был исследован с привлечением следующих классификаторов [15]:

- полносвязный перцептрон (MLP) с одним скрытым слоем; для обучения использовался алгоритм обратного распространения ошибки;
- машины опорных векторов (SVM), для обучения которых применялся метод последовательной минимальной оптимизации Дж. Платта;
- логистическая регрессия (Logit);
- наивный байесовский классификатор (Naive Bayes);
- деревья решений, для построения которых использовался алгоритм J48 (модификация метода C4.5);
- ансамбль деревьев решений (Random Forest);
- бэггинг (Bagging);
- аддитивная логистическая регрессия (LogitBoost);
- алгоритм генерирования правил 1R (One Rule).

Для сравнения эффективности работы классификаторов была использована процедура кроссвалидации: каждая выборка случайным образом делилась на 6 стратифицированных частей. По полученным матрицам неточностей для всех баз данных были вычислены метрики F-score (значения представлены в табл. 2).

		Действительные значения			
		Класс ₁	Класс ₂	...	Класс _N
Предсказанные значения	Класс ₁	a_{11}	a_{12}	...	a_{1N}
	Класс ₂	a_{21}	a_{22}	...	a_{2N}
	...	...	...	...	...
	Класс _N	a_{N1}	a_{N2}	...	a_{NN}

Общий вид матрицы неточностей

Таблица 1

Описание используемых баз данных

Название базы данных	Язык	Объем базы данных	Число говорящих
Berlin	Немецкий	535	10
SAVEE (Surrey Audio-Visual Expressed Emotion)	Английский	480	4
VAM (Vera am Mittag)	Немецкий	947	14
UADB	Японский	4836	47

Таблица 2

Значения метрики F-score для стандартных классификаторов и алгоритмических схем, основанных на коллективном принятии решений, %

	Berlin	SAVEE	UADB	VAM
MLP	90,01	100,00	49,89	76,71
SVM	90,04	99,90	66,47	75,17
Logit	87,84	99,17	83,26	75,05
Naive Bayes	61,28	97,95	41,07	44,45
J48	51,17	95,02	53,93	29,81
Random Forest	50,00	98,75	61,38	32,17
Bagging	61,36	95,26	68,93	48,01
LogitBoost	67,41	98,35	67,24	50,69
OneR	19,49	72,66	15,61	5,22
Схема 1	88,60	99,79	82,40	68,18
Схема 2	90,64	100,00	82,64	71,80
Схема 3	90,70	100,00	83,16	71,49

В целом для всех баз данных удалось достичь высокой точности распознавания. Так, например, все тестовые звукозаписи из набора SAVEE были классифицированы безошибочно полносвязным перцептроном. А для базы данных Berlin наибольшие значения метрики F-score, полученные с помощью машин опорных векторов и нейронной сети, превысили 90 %.

Однако можно заметить, что не существует модели, демонстрирующей наибольшую эффективность для всех представленных наборов звукозаписей. Значения метрики F-score существенно меняются при выборе нового классификатора. Модель, позволяющая получить наилучшие результаты на одной базе данных, может быть худшим классификатором на другом наборе голосовых записей. К примеру, полносвязный перцептрон демонстрирует наибольшую эффективность на базе данных SAVEE (100 %), в то время как для UADB значения метрики F-score, полученные с помощью данной модели, существенно ниже, чем результаты других классификаторов (49,89 %).

Анализ полученных результатов показал, что для представленных баз данных перцептрон (MLP), машины опорных векторов (SVM) и логистическая регрессия (Logit) являются наиболее эффективными моделями, поэтому было решено включить именно их в коллектив классификаторов для исследования предложенных алгоритмических схем.

В ходе тестирования описанных подходов было выявлено, что схема 2 и схема 3 демонстрируют наибольшую эффективность на задаче распознавания говорящего по сравнению со схемой 1 и почти всегда

большую, чем отдельные классификаторы (за исключением одного случая с базой VAM, заслуживающего отдельного рассмотрения).

Для базы данных Berlin значения метрики F-score, полученные в рамках схем 2 и 3 выше, чем наилучшее значение той же метрики, найденное с помощью стандартной модели (машины опорных векторов). Применение схем 2 и 3 к набору звукозаписей SAVEE также позволяет получить наивысшую точность распознавания. Для баз данных UADB и VAM алгоритмические схемы, основанные на коллективном принятии решений, демонстрируют результаты, сравнимые с наилучшими значениями F-score стандартных классификаторов (значительно превышают средний уровень F-score).

Таким образом, для задачи распознавания личности говорящего предложенные схемы коллективного принятия решений (в частности, схема 2 и схема 3) являются надежной альтернативой случайному выбору классификатора.

Заключение. В статье описана процедура аутентификации дистанционного студента по устной речи. Вопрос верификации личности обучающегося является одним из ключевых аспектов повышения качества дистанционного образования, поэтому отражен в зарубежных стандартах в качестве обязательного требования.

Для исследования эффективности предложенного подхода были использованы наборы голосовых звукозаписей на разных языках. Анализ полученных результатов показал, что акустические характеристики

голоса являются довольно индивидуальными, поскольку применение классификаторов, обученных на признаках, извлеченных из рассматриваемых звукозаписей, позволяет распознать говорящего с высокой точностью (до 100 % для некоторых баз данных).

В ходе исследования было показано, что не существует модели, демонстрирующей одинаковую эффективность для всех рассматриваемых баз данных, поэтому были предложены алгоритмические схемы, основанные на принятии решений коллективом классификаторов. В свою очередь, применение данных подходов позволяет избежать выбора определенной модели и обеспечить при этом достаточно высокую точность распознавания.

Библиографические ссылки

1. Higher Education Opportunity Act (Public Law 110-315). USA. Aug. 14. 2008.
2. Eyben F., Wöllmer M., Schuller B. Opensmile: the munich versatile and fast opensource audio feature extractor // *Proceedings of the International Conference on Multimedia*. 2010. ACM. P. 1459–1462.
3. Boersma P. Praat, a system for doing phonetics by computer // *Glott international*. 2002. 5(9/10). P. 341–345.
4. Self-adaptive multi-objective genetic algorithms for feature selection // *Proceedings of International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization (OPT-i'14)* / C. Brester [et al.]. 2014. P. 1838–1846.
5. Brester Ch., Sidorov M., Semenkin E. Acoustic Emotion Recognition: Two Ways of Features Selection Based on Self-Adaptive Multi-Objective Genetic Algorithm // *Proceedings of the International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*. 2014. P. 851–855.
6. Хритonenko Д. И., Семенкин Е. С. Distributed self-configuring evolutionary algorithms for artificial neural networks design // *Вестник СибГАУ*. 2013. № 4 (50). С. 112–116.
7. Становов В. В., Семенкин Е. С. Самонастраивающийся эволюционный алгоритм проектирования баз нечетких правил для задачи классификации // *Системы управления и информационные технологии*. 2014. № 3 (57). С. 30–35.
8. Akhmedova Sh., Semenkin E. Co-Operation of Biology Related Algorithms Meta-Heuristic in ANN-Based Classifiers Design // *Proceedings of the World Congress on Computational Intelligence (WCCI'14)*. 2014.
9. Попов Е. А., Семенкина М. Е., Липинский Л. В. Принятие решений коллективом интеллектуальных информационных технологий // *Вестник СибГАУ*. 2012. № 5 (45). С. 95–99.
10. Goutte C., Gaussier E. A probabilistic interpretation of precision, recall and F-score, with implication for evaluation // *ECIR'05 Proceedings of the 27th European conference on Advances in Information Retrieval Research*. 2005. P. 345–359.
11. A database of german emotional speech / F. Burkhardt [et al.] // *In Interspeech*. 2005. P. 1517–1520.

12. Haq S., Jackson P. Machine Audition: Principles, Algorithms and Systems, chapter Multimodal Emotion Recognition // IGI Global, Hershey PA. 2010. P. 398–423.

13. Grimm M., Kroschel K., Narayanan S. The vera am mittag german audio-visual emotional speech database // *In Multimedia and Expo : IEEE International Conference on*, IEEE. 2008. P. 865–868.

14. Constructing a spoken dialogue corpus for studying paralinguistic information in expressive conversation and analyzing its statistical/acoustic characteristics / H. Mori [et al.] // *Speech Communication*. 2011. 53.

15. The WEKA Data Mining Software: An Update, SIGKDD Explorations / M. Hall [et al.]. 2009. Vol. 11, Iss. 1.

References

1. Higher Education Opportunity Act (Public Law 110-315), Aug. 14, 2008, USA.
2. Eyben F., Wöllmer M., and Schuller B. Opensmile: the munich versatile and fast opensource audio feature extractor. *Proceedings of the international conference on Multimedia*, 2010. ACM, P. 1459–1462.
3. Boersma P. Praat, a system for doing phonetics by computer. *Glott international*, 2002, no. 5(9/10), p. 341–345.
4. Brester C., Semenkin E., Sidorov M., Minker W. Self-adaptive multi-objective genetic algorithms for feature selection. *Proceedings of International Conference on Engineering and Applied Sciences Optimization (OPT-i'14)*, 2014, p. 1838–1846.
5. Sidorov M., Brester Ch., Minker W., Semenkin E. Speech-Based Emotion Recognition: Feature Selection by Self-Adaptive Multi-Criteria Genetic Algorithm. *LREC, 2014*, p. 3481–3485.
6. Khritonenko D. I., Semenkin E. S. Distributed self-configuring evolutionary algorithms for artificial neural networks design. *Vestnik SibGAU*. 2013, no. 4 (50), p. 112–116.
7. Stanovov V. V., Semenkin E. S. [Self-adjusted evolutionary algorithm for fuzzy rules design in classification problems]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2014, no. 3 (57), p. 30–35 (In Russ).
8. Akhmedova Sh., Semenkin E. Co-Operation of Biology Related Algorithms Meta-Heuristic in ANN-Based Classifiers Design. *Proceedings of the World Congress on Computational Intelligence (WCCI'14)*, 2014.
9. Popov E. A., Semenkina M. E., Lipinskiy L. V. [Decision making with intelligent information technology ensemble]. *Vestnik SibGAU*. 2012, no. 5 (45), p. 95–99 (In Russ).
10. Goutte C., Gaussier E. A probabilistic interpretation of precision, recall and F-score, with implication for evaluation. *ECIR'05 Proceedings of the 27th European conference on Advances in Information Retrieval Research*, 2005, p. 345–359.
11. Burkhardt F., Paeschke A., Rolfes M., Sendlmeier W. F., and Weiss B. A database of german emotional speech. *In Interspeech*, 2005, p. 1517–1520.

12. Haq S., Jackson P. Machine Audition: Principles, Algorithms and Systems, chapter Multimodal Emotion Recognition. *IGI Global, Hershey PA*. Aug. 2010, p. 398–423.

13. Grimm M., Kroschel K., and Narayanan S. The vera am mittag german audio-visual emotional speech database. In *Multimedia and Expo, IEEE International Conference on*, IEEE, 2008, p. 865–868.

14. Mori H., Satake T., Nakamura M., and Kasuya H. Constructing a spoken dialogue corpus for studying paralinguistic information in expressive conversation and

analyzing its statistical/acoustic characteristics. *Speech Communication*, 53, 2011.

15. Hall M., Frank E., Holmes G., Pfahringer B., Reutemann P., Witten I. H. The WEKA Data Mining Software: An Update, *SIGKDD Explorations*, 2009, Vol. 11, Iss. 1.

© Брестер К. Ю., Вишневская С. Р.,
Семенкина О. Э., Сидоров М. Ю., 2014

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОМОЩИ АВТОРЕГРЕССИИ

А. А. Городов, Л. В. Городова, А. А. Кузнецов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: Glexx84@mail.ru

Сделан обзор по использованию числовых рядов для оценки параметров в моделях авторегрессии. Описан метод и основная процедура определения порядка модели авторегрессии и выбора числового ряда. Цель настоящей работы – обобщение полученных результатов, выявление новых характеристик авторегрессии при моделировании сложных процессов и упрощение процедуры подбора параметров, основанного на использовании числовых рядов. Основные теоретические и прикладные результаты работы получены на основе методологии системного анализа, теории случайных процессов, а также информационных технологий и методов фундаментальной и прикладной математики. Проведено сопоставление метода числовых рядов с известными способами оценки параметров в моделях авторегрессии. Приведена взаимосвязь между моделями авторегрессии и такими классическими математическими понятиями, как золотое сечение, треугольник Паскаля, а также числами Фибоначчи и трибоначчи. Помимо этого даны оценки для моделей авторегрессии при долгосрочном прогнозировании. Показана взаимосвязь между авторегрессией четвертого порядка с рядом чисел квадробоначчи. Обобщены известные рекомендации по применению метода числовых рядов. Данные рекомендации позволяют упростить процедуру подбора числового ряда и повысить качество модели. При краткосрочном и среднесрочном прогнозировании процессов с постоянным средним рекомендуется использовать коэффициенты, которые вычисляются при помощи рядов Фибоначчи и трибоначчи. Полученные результаты работы будут полезны при моделировании сложных процессов с временной составляющей.

Ключевые слова: авторегрессия, метод наименьших квадратов, метод числовых рядов, оценка параметров авторегрессии, свойства прогнозов.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 57–61**MODELING OF COMPLEX PROCESSES USING AUTOREGRESSIVE METHODS**

A. A. Gorodov, L. V. Gorodova, A. A. Kuznetsov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: Glexx84@mail.ru

We reviewed the use of numerical series to estimate the parameters in the autoregressive model in this paper. A method and the basic procedure for determining the order of autoregressive model and the choice of a numerical series are described. The purpose of this work is the generalization of the obtained results, identifying characteristics of the autoregressive when modeling complex processes and simplified procedures for the selection of parameters is based on the use of numerical series. The basic theoretical and practical results are obtained on the basis of methodology of system analysis, the theory of random processes, information technologies and methods of fundamental and applied mathematics. We compared the method of numerical series with known methods of parameter estimation in autoregressive models. It is shown the relationship between the autoregressive models and classical mathematical concepts such as the 'golden section', 'Pascal's triangle', the Fibonacci numbers and the Tribonacci numbers. Also we gave estimates for autoregressive models for long-term forecasting. It is shown the relationship between the fourth-order autoregressive with the series of the Kvaadrobonacci numbers. We summarized the known recommendations on the application of numerical series. These recommendations help to simplify the procedure for selection of numerical series and improve the quality of the model. For short and medium-term forecasts with a constant average it is recommended to use coefficients which are calculated using the Fibonacci and the Tribonacci series. The obtained results will be useful in modeling of complex processes with a time component.

Keywords: the autoregressive, method of numerical series, parameter estimation of autoregressive, golden section, Fibonacci numbers.

Введение. С давних пор человек пытается предсказать поведение исследуемых объектов в будущем, используя прогноз как инструмент управления и регулирования. Поэтому в теории системного анализа и прикладной математике выделились целые разделы, подчас выступающие как отдельные направления науки. К сожалению, существующий математический аппарат не может дать точного ответа о возможном поведении объекта, поскольку всегда присутствует вероятностная составляющая данного прогноза. В большинстве случаев проблема прогнозирования решается при помощи моделирования случайных процессов.

Большинство работ, посвященных проблеме моделирования, основываются на принципах саморегулирования и самоподобия. В практических задачах прогнозирования процессов часто применяется модель авторегрессии p -го порядка. Данному вопросу посвящены труды С. А. Айвазяна, С. Алмон, Т. Андерсон, Дж. Бокса, Р. Г. Брауна, Вольда, Г. М. Дженкинса, Л. М. Койка, Я. Р. Магнуса, А. И. Орлова, П. Р. Уинтерса, С. Хольта и многих других [1–10].

В $AR(p)$ -моделях одними из самых актуальных вопросов являются определение p -длины предьстории процесса, а также выбор метода подбора параметров авторегрессии. В статье [11] был предложен метод подбора параметров в моделях авторегрессии на основе числовых рядов. В работах [12–15] доказана взаимосвязь прогнозов по авторегрессии с золотым сечением, треугольником Паскаля и числами Фибоначчи. Помимо этого, указанные работы определили отдельное направление исследований в области моделирования сложных процессов авторегрессионными методами, основанными на числовых рядах. В данных исследованиях остались неразрешенными вопросы о свойствах прогнозов в моделях авторегрессии высоких порядков, а также возможности расширения области применения авторегрессионных моделей с методом подбора параметров на основе числовых рядов.

Вышесказанное определило цель работы – обобщение полученных результатов, выявление новых характеристик авторегрессии при моделировании сложных процессов и упрощение процедуры подбора параметров, основанного на использовании числовых рядов.

Основные теоретические и прикладные результаты получены на основе методологии системного анализа, теории случайных процессов, а также информационных технологий и методов фундаментальной и прикладной математики.

Метод числовых рядов (МЧР). В работе [11] был предложен метод подбора параметров в $AR(p)$ -моделях, основанный на использовании нормированных числовых рядов (сумма которых равна 1). Сделан сравнительный анализ результатов моделирования временных рядов на основе МЧР с другими известными методами. В дальнейшем были рассмотрены не только нормированные, но и другие сходящиеся числовые ряды [14; 16].

Прогнозное значение y_{t+1} вычисляется следующим образом:

$$y_{t+1}^{(m;p)} = \sum_{i=0}^{p-1} b_i^{(m;p)} x_{t-i+1}, \quad (1)$$

где m – номер сходящегося числового ряда из некоторой базы рядов; p – порядок модели, верхний индекс $(m;p)$ – указывает на номер ряда и на порядок модели.

Для определения оптимального порядка модели p , а также вида $\sum_{i=0}^{\infty} b_i$ будем использовать функцию

$$\Theta(m\{b_0, b_1, \dots, b_{p-1}\}, p) = \min_{1 \leq m \leq M} \left\{ \min_{1 \leq p \leq p_0} \left\{ \Delta^{(m;p)} \right\} \right\}, \quad (2)$$

где p_0 – граница порядка модели; $\Delta^{(m;p)} = \frac{1}{t-1} \sum \left(\frac{x_t - y_{t+1}^{(m;p)}}{x_t} \right)^2 100\%$ – среднеквадратическая относительная погрешность модели.

Если $x_t = 0$ для некоторых i , то необходимо использовать новую систему координат $x'_i = x_i + x_0$, в которой все $x'_i \neq 0$, где $x_0 = \text{const}$.

Последующие теоретические исследования позволили выявить ряд замечаний.

Замечание 1. Формула (1) представляет собой авторегрессию, аналогичную разложению по полной предьстории, с коэффициентами, подобранными по модифицированному методу Койка [10].

Замечание 2. Использование нормированных числовых рядов удовлетворяет условию стационарности процесса, поэтому полученные оценки авторегрессии состоятельные, эффективные и несмещенные. Но для моделирования нестационарных процессов необязательно использовать условие нормированности ряда.

Замечание 3. Если $p = T$, то формула (1) представляет собой модель прогнозирования по полной предьстории (разложение Вольда [1; 2; 16]) с условием, что прогнозное значение $y_{t+1}^{(m;p)}$ будет представлять собой сумму предьстории процесса с весовыми коэффициентами, являющимися элементами числового ряда (аналогично методам Альмон [9] и Койка [10]).

Замечание 4. Функция (2) аналогична оптимизирующей функции МНК и позволяет не только подбирать оптимальные коэффициенты, но и определить порядок авторегрессии.

Свойства прогнозов в моделях авторегрессии. В большинстве задач прогнозирования необходимо делать прогноз на k значений вперед из x_t . Как указано выше, прогноз на одно значение вперед согласно методу числовых рядов будет рассчитываться по формуле (1).

В МЧР используются в качестве коэффициентов числовые ряды, и это позволило выделить ряд свойств прогнозов в моделях авторегрессии, характерных не только для МЧР, но и в целом для авторегрессионных моделей.

Предложение 1. Допустим $\sum_{i=0}^{\infty} b_i = 1$ – нормированный знакоположительный степенной ряд, где $0 \leq b_i < 1$ и $b_n = b_0^{n+1}$, т. е. $\sum_{i=0}^{\infty} b_i = b_0 + b_0^2 + b_0^3 + b_0^4 + b_0^5 + \dots$

Согласно введенному предложению были сформулированы и доказаны следующие теоремы [12–15].

Теорема 1. Пусть $y_{t+k} = \alpha_1(k)x_t + \alpha_2(k)x_{t-1}$ – прогнозная модель AR(2) по МЧР. Тогда справедливы следующие утверждения:

$$1. \alpha_1(k) = F_2(k+1)b_0^k,$$

где $F_2(k)$ – ряд Фибоначчи с начальными условиями $F_2(1) = F_2(2) = 1$.

$$2. \alpha_2(k) = F_2(k)b_0^{k+1}.$$

$$3. \alpha_2(k) = b_1^2 \alpha_1(k-1).$$

$$4. \lim_{k \rightarrow \infty} y_{t+k} = 0 \text{ при } b_0 < \frac{2}{1+\sqrt{5}}.$$

$$5. \lim_{k \rightarrow \infty} y_{t+k} = \frac{1}{\sqrt{5}} \frac{1+\sqrt{5}}{2} x_t + \frac{1}{\sqrt{5}} \frac{2}{1+\sqrt{5}} x_{t-1}$$

при $b_0 = \frac{2}{1+\sqrt{5}}$.

$$6. \lim_{k \rightarrow \infty} y_{t+k} = \infty \text{ при } b_0 > \frac{2}{1+\sqrt{5}}.$$

Данная теорема позволяет сделать вывод о том, что любой прогноз в модели AR(2) – это распределение предыстории в будущем через золотое сечение.

Теорема 2. Пусть $y_{t+k} = \alpha_1(k)x_t + \alpha_2(k)x_{t-1} + \alpha_3(k)x_{t-2}$ – прогнозная модель AR(3) по МЧР. Тогда справедливы следующие утверждения:

$$1. \alpha_1(k) = F_3(k+1)b_0^k,$$

где $F_3(k) = \frac{3\beta \left(\frac{1}{3}(\lambda_1 + \lambda_2 + 1) \right)^k}{\beta^2 - 2\beta + 4}$ – ряд чисел трибоначчи, $\beta = \sqrt[3]{586 + 102\sqrt{33}}$, $\lambda_1 = \sqrt[3]{19 + 3\sqrt{33}}$, $\lambda_2 = \sqrt[3]{19 - 3\sqrt{33}}$.

$$2. \alpha_2(k) = F_3'(k+1)b_0^{k+1}.$$

$$3. \alpha_3(k) = F_3(k)b_0^{k+2}.$$

$$4. \alpha_3(k) = b_0^3 \alpha_1(k-1).$$

$$5. \lim_{k \rightarrow \infty} y_{t+k} = 0 \text{ при } b_0 < \frac{3}{(\lambda_1 + \lambda_2 + 1)}.$$

$$6. \lim_{k \rightarrow \infty} y_{t+k} = \frac{\beta[\lambda_1 + \lambda_2 + 1]}{\beta^2 - 2\beta + 4} x_t + \frac{3\beta}{\beta^2 - 2\beta + 4} x_{t-1} + \frac{27\beta}{(\beta^2 - 2\beta + 4)(\lambda_1 + \lambda_2 + 1)^2} x_{t-2} \text{ при } b_0 = \frac{3}{(\lambda_1 + \lambda_2 + 1)}.$$

$$7. \lim_{k \rightarrow \infty} y_{t+k} = \infty \text{ при } b_0 > \frac{3}{(\lambda_1 + \lambda_2 + 1)}.$$

Полученная теорема дает возможность делать прогноз в условиях стационарности рассматриваемых процессов без построения самой модели. Доказанные утверждения свидетельствуют о том, что прогноз авторегрессионных моделей при определенных условиях имеет распределение золотого сечения.

Для авторегрессионного процесса четвертого порядка удалось выявить ряд свойств, характерных для AR(2) и AR(3) [17].

Так, в общем AR(4) можно представить как

$$y_{t+k} = \alpha_1(k)x_t + \alpha_2(k)x_{t-1} + \alpha_3(k)x_{t-2} + \alpha_4(k)x_{t-3}.$$

Доказано следующее:

Лемма. Пусть $\sum_{i=0}^{\infty} b_0^i$ – нормированный знакоположительный степенной ряд, где $0 \leq b_i < 1$. Тогда,

$$\alpha_1(k) = F_4(k+1)b_0^k,$$

где $F_4(k+1)$ – ряд чисел квадробоначчи, $F_4(k+1) = F_4(k) + F_4(k-1) + F_4(k-2) + F_4(k-3)$, с условием $F_4(0) = 0$, $F_4(1) = 1$, $F_4(2) = 1$, $F_4(3) = 2$, $F_4(4) = 4$;

$$\alpha_2(k) = F_4'(k+1)b_0^{k+1},$$

где $F_4'(k+1)$ – первый модифицированный ряд чисел квадробоначчи, причем $F_4'(k+1) = F_4(k) - F_4(k-4)$;

$$\alpha_3(k) = F_4''(k+1)b_0^{k+2},$$

где $F_4''(k+1)$ – второй модифицированный ряд чисел квадробоначчи, причем $F_4''(k+1) = F_4'(k) - F_4(k-3) = F_4(k) - F_4(k-4) - F_4(k-3)$;

$$\alpha_4(k) = F_4(k)b_0^{k+3}.$$

Лемма доказана и вводит взаимосвязь AR(4) с рядом чисел квадробоначчи.

Рекомендации по применению МЧР. На основе доказанных теорем и практических расчетов можно предложить рекомендации по применению числовых рядов при подборе параметров в авторегрессии малых порядков:

1. Для моделирования стационарных динамических процессов необходимо использовать нормированные числовые ряды.

2. Для процессов, имеющих убывающую тенденцию, необходимо использовать нормированные числовые ряды, сумма первых элементов которых меньше 1.

3. Если динамический процесс содержит возрастающий тренд, то эффективнее использовать при моделировании ненормированные сходящиеся числовые ряды.

4. При моделировании периодических процессов лучшими являются знакопеременные и тригонометрические ряды.

5. При краткосрочном и среднесрочном прогнозировании процессов с постоянным средним рекомендуется использовать для AR(2) в качестве весовых

коэффициентов $\frac{1}{\sqrt{5}} \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ и $\frac{1}{\sqrt{5}} \frac{2}{1+\sqrt{5}}$, для AR(3) – $\frac{\beta[\lambda_1 + \lambda_2 + 1]}{\beta^2 - 2\beta + 4}$, $\frac{3\beta}{\beta^2 - 2\beta + 4}$ и $\frac{27\beta}{(\beta^2 - 2\beta + 4)(\lambda_1 + \lambda_2 + 1)^2}$.

Заключение. Теория применения авторегрессионных моделей при анализе сложных процессов довольно обширна и многогранна, но в то же время имеет большое количество ограничений (например, при использовании МНК, ММП и др.). Помимо этого не до конца изучен весь спектр направлений использования данных методов. В свою очередь, рассмотренный метод подбора параметров в моделях авторегрессии на основе числовых рядов органично дополняет классические, что позволяет расширить область их применения. Также МЧР дал возможность получить зависимости между моделями авторегрессии и такими классическими математическими понятиями, как золотое сечение и треугольник Паскаля. Кроме того, были обобщены рекомендации по применению МЧР, что позволяет сократить время обработки данных, а также повысить качество модели.

Библиографические ссылки

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М. : Юнити-Дана. 1998. 1022 с.
2. Эконометрия / А. А. Цыплаков [и др.]. Новосибирск : Изд-во СО РАН. 2005. 744 с.
3. Brown R. G. Smoothing forecasting and prediction of discrete time series. N. Y., 1963.
4. Green W. H. Econometric analysis. Macmillan Publishing Company, N. Y., 1993.
5. Holt C. C. Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted moving averages // O. N. R. Memorandum, Carnegie Inst. of Technology. 1957. № 2.
6. Winters P. R. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Mgmt. Sci. No. 6. P. 324.
7. Yule G. U. A mathematical theory of evolution based on the conclusions of Dr. J. C. Willis // Phil. Trans. Royal Soc. London B, 1925. P. 21–87.
8. Канторович Г. Г. Анализ временных рядов // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2002. Том. 6. № 1–3.

9. Almon S. The Distributed Lag between Capital Appropriations and Expenditures. Econometrica, 1965.

10. Koyck L. M. Distributed Lags and Investment Analysis. Amsterdam : North- Holland, 1954.

11. Городов А. А. Моделирование временных рядов на основе нормированных числовых рядов // Системы управления и информационные технологии. 2010. Т. 39, № 1. С. 4–7.

12. Городов А. А., Кузнецов А. А. Свойства прогнозов в моделях авторегрессии по методу нормированных числовых рядов / Системы управления и информационные технологии. 2011. Т. 45, № 3. С. 12–16.

13. Городов А. А. Метод подбора параметров в моделях авторегрессии на основе числовых рядов : дис. ... канд. физ.-мат. наук / СибГАУ. Красноярск. 2011. 114 с.

14. Городов А. А., Кузнецов А. А., Демьяненко О. В. Золотое сечение и прогнозирование по авторегрессии // Вестник КрасГАУ. 2012. № 2 (42). С. 47–64.

15. Городов А. А. Метод подбора параметров в моделях авторегрессии на основе числовых рядов : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / СибГАУ. Красноярск. 2011. 19 с.

16. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1–2. М. : Мир, 1974. 604 с.

17. Городов А. А., Демьяненко О. В. Свойства прогнозов в моделях авторегрессии четвертого порядка // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8. С. 28–33.

References

1. Ayvazian S. A., Mkhitaryan C. C. *Prikladnaya statistika i osnovi ekonometriki* [Applied statistics and econometrics]. Moscow, UNITY-DANA Publ., 1998, 1022 p.
2. Tsyplakov A. A., V. I. Suslov, N. M. Ibragimov, L. P. Malysheva, A. A. Tsyplakov. *Ekonometriya* [Econometrics] Novosibirsk, SO RAN Publ., 2005, 744 p.
3. Brown R. G. Smoothing forecasting and prediction of discrete time series. N. Y., 1963.
4. Green W. H. *Econometric analysis*. Macmillan Publishing Company, New York, 1993.
5. Holt C. C. Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted moving averages. O. N. R. Memorandum, Carnegie Inst. of Technology, 1957, no. 2.
6. Winters P. R. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. Mgmt. Sci., no. 6, p. 324.
7. Yule G. U. A mathematical theory of evolution based on the conclusions of Dr. J. C. Willis. Phil. Trans. Royal Soc. London B, 1925. P. 21–87.
8. Kantorovich, G. G. [Time series analysis]. *Ekonomicheskii zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki*, 2002, vol. 6, no. 1–3 (In Russ.).
9. Almon S. The Distributed Lag between Capital Appropriations and Expenditures. Econometrica, 1965.
10. Koyck L. M. Distributed Lags and Investment Analysis. Amsterdam : North- Holland, 1954.
11. Gorodov A. A. [Modeling time series based on the normalized number series]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2010, vol. 39, no. 1, p. 4–7 (In Russ.).

12. Gorodov A. A., Kuznetsov A. A. [Property predictions in models of autoregressive method normalized numerical series]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*, 2011, vol. 45, no. 3, p. 12–16 (In Russ.).
13. Gorodov A. A. *Metod podbora parametrov v modeliakh avtoregressii na osnove chislovykh ryadov. Dis. kand. fiz.-mat. nauk.* [Method of selection of parameters in autoregressive models based on the numerical series. Candidate physical-mat. sci. diss.]. Krasnoyarsk, SibGAU Publ., 2011, 114 p.
14. Gorodov A. A., Kuznetsov A. A., Demyanenko O. V. [The Golden section and the prediction of autoregressive]. *Vestnik KrasGAU*. 2012, no. 2 (42), p. 47–64 (In Russ.).
15. Gorodov A. A. *Metod podbora parametrov v modeliakh avtoregressii na osnove chislovykh ryadov. Avtoref. dis. kand. fiz.-mat. nauk.* [Method of selection of parameters in autoregressive models based on the numerical series. Candidate physical-mat. sci. author. diss.]. Krasnoyarsk, SibGAU Publ., 2011, 19 p.
16. Box J., Jenkins G., *Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravleniya.* [Time series analysis. Prognosis and management] Moscow, Mir Publ., Vol. 1–2, 1974. 604 p.
17. Gorodov A. A., Demyanenko O. V. [Property predictions in models of fourth order autoregressive]. *Vestnik KrasGAU*. 2014, no. 8, p. 28–33 (In Russ.).

© Городов А. А., Городова Л. В., Кузнецов А. А., 2014

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИБИРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
АЭРОКОСМИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ АКАДЕМИКА М. Ф. РЕШЕТНЕВА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ**

Н. В. Ивлева, Е. В. Фибих

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: natalie_ivleva@mail.ru, fibichev@mail.ru

Электронное обучение является одним из ведущих направлений развития образования во всем мире. С целью поддержания конкурентоспособности среди учреждений, предлагающих огромное количество образовательных услуг, каждое из них стремится внедрять информационно-коммуникационные технологии в образовательный процесс, тем самым развивая электронное обучение в целом. Целью исследования является выявление проблем, препятствующих полноценной реализации электронного обучения в СибГАУ, а также предлагаются пути решения данных проблем путем оптимизации процесса внедрения электронного обучения в вузе через участие студентов и профессорско-преподавательского состава в массовых открытых онлайн-курсах и формирования собственных платформ с целью организации подобных курсов на базе учреждения. Рассматривается уровень внедрения и развития электронного обучения в России и в СибГАУ в частности. Обосновывается необходимость ускоренного внедрения электронного обучения в аэрокосмическом университете как базы для подготовки высококвалифицированных специалистов в области авиации, машиностроения, физики, инфокоммуникационных технологий, а также в других областях научных знаний, в рамках которых ведется подготовка специалистов в вузе. Представлены преимущества использования электронного обучения в образовательном процессе через участие студентов и профессорско-преподавательского состава в массовых открытых онлайн-курсах, а также знакомство с другими актуальными и передовыми образовательными платформами и их применением в процессе обучения в СибГАУ. Большое внимание уделяется трудностям полноценного внедрения электронного обучения в СибГАУ. В связи с этим предлагаются пути оптимизации процесса внедрения электронного обучения в рамках деятельности вуза с учетом специфики вуза и его территориального расположения, а также узнаваемости на местном, федеральном и международном уровнях среди работодателей, абитуриентов и их родителей.

Ключевые слова: электронное обучение, дистанционное обучение, онлайн-обучение, массовый открытый онлайн-курс.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 62–66

**E-LEARNING USAGE AT SIBERIAN STATE AEROSPACE UNIVERSITY
THROUGH INTERNATIONAL EDUCATIONAL PLATFORMS**

N. V. Ivleva, E. V. Fibikh

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: natalie_ivleva@mail.ru, fibichev@mail.ru

E-learning is considered to be one of the leading directions in education development all over the world. To support competitiveness among institutions offering a wide variety of educational services which of them does its best to introduce information and communication technologies into the educational process to develop e-learning on the whole. The aim of the research is to reveal problems which prevent from full implementation of e-learning at SibSAU and to suggest ways on solving those problems through optimization of e-learning introduction process at the university by motivating students and teaching staff to participate in massive open online courses and formation of tailored platforms with the view to arrange similar courses at the premises of the university. The paper considers the introduction and development level of e-learning in Russia and at SibSAU particularly. It substantiates the necessity to accelerate e-learning introduction process at an aerospace university as a base for training of highly-qualified specialists in the area of aviation, machine building, physics, info-communication technologies and also in other scientific areas within which university training is carried out. The paper covers advantages of e-learning usage in the

educational process through students and teaching staff participation in massive open online courses and mastering other up-to-date and trendy educational platforms and their usage in the educational process at SibSAU. Much attention in the paper is paid to difficulties of full e-learning introduction at SibSAU. Due to this fact it is suggested that it is necessary to optimize the e-learning introduction process in the frame of university activity taking specialization of the university, its location and recognition at the local, federal and international levels among employers, applicants and their parents into account.

Keywords: e-learning, distance learning, online learning, massive open online course.

Введение. За последние 2–3 года в России широкое распространение получил термин «электронное обучение», означающий процесс обучения в электронной форме посредством сети Интернет. Процесс перехода от традиционного обучения к обучению на базе компьютерных технологий постепенно развивался в течение последних десятилетий. С момента появления огромных архивов, представленных на машиночитаемых носителях, а также роста объема информации и знаний, все чаще и чаще возникала мысль использовать этот материал в целях обучения, где единственной формой, способной поспеть за генерированием интеллектуального контента, могут выступать электронные ресурсы. В возникшей ситуации электронное обучение выступает в качестве новой технологической среды доставки знаний из открытых источников. В глобальном плане электронное обучение стало возможным с развитием сети Интернет, которая давала возможность пересылать необходимое количество данных из одного конца мира в другой, свободно общаться с другими пользователями сети в онлайн-режиме и размещать информацию на интернет-сайтах, делая их доступными для всех желающих. Наконец, возникновение обучения, осуществляемого посредством информационных технологий, обусловлено действием рыночных механизмов. Растущий спрос на высшее образование привел к появлению рынка образовательных услуг, на котором вузы стали конкурирующими субъектами в области дистанционной поставки образовательного контента.

Если рассматривать этапы развития электронного обучения с применением компьютерных технологий, то это можно представить следующим образом:

- курсы на съемных носителях;
- образовательные веб-сайты;
- электронные онлайн-платформы.

Внедрение электронного обучения в СибГАУ.

В настоящий момент в СибГАУ активно используется и совершенствуется применение дистанционного обучения на платформе Moodle [1]. Данное обучение применяется для студентов заочной формы обучения и слушателей дополнительных образовательных программ. В основу данного образовательного процесса заложена целенаправленная и контролируемая интенсивная самостоятельная работа обучаемого, который может учиться в удобном для себя месте, по индивидуальному расписанию, имея при себе комплект специальных средств обучения и согласованную возможность контакта с преподавателем в процессе обучения. Если рассматривать достоинства дистанционного обучения, то это, прежде всего, положительные стороны для студентов, такие как гибкость графика обучения, возможность учиться по индивидуальному плану согласно собственным потребностям и возмож-

ностям, объективная и независимая от преподавателя методика оценки знаний, возможность консультироваться с преподавателем в ходе обучения. Для преподавателей такая форма обучения означает появление дополнительной возможности подачи материала студентам, т. е. фактически появляется возможность при той же нагрузке обучать большее число студентов.

За последнее время степень вовлеченности Интернета в образование, количество онлайн-курсов, их тематика, различные способы реализации и общая направленность в целом привели к возникновению более емкого термина «электронное обучение». Европейская комиссия определяет электронное обучение как «использование новых технологий мультимедиа и Интернета для повышения качества обучения за счет улучшения доступа к ресурсам и сервисам, а также удаленного обмена знаниями и совместной работы». Электронное обучение сегодня – это учебный процесс, в котором используются интерактивные электронные средства доставки информации: съемные носители, корпоративные сети, глобальная сеть.

Помимо решения своей первоочередной задачи обучения на расстоянии посредством Интернета, электронное обучение также является отличным дополнением очной формы обучения и может служить хорошим подспорьем для повышения качества и эффективности традиционного обучения. Очевидными достоинствами электронного обучения являются: большая свобода доступа – учащийся имеет доступа к электронным курсам через Интернет из любого места, где есть выход в глобальную информационную сеть; компетентное, качественное образование – курсы создаются при участии целой команды специалистов, что делает электронное обучение зрелым и качественным обучением; возможность разделения содержания электронного курса на модули, небольшие блоки информации, которые позволяют сделать изучение предмета более гибким и упрощают поиск нужных материалов; гибкость обучения – продолжительность и последовательность изучения материалов слушатель выбирает сам, полностью адаптируя весь процесс обучения под свои возможности и потребности; возможность обучения на рабочем месте – учащиеся имеют возможность получать образование без отрыва от работы (при наличии таковой), а также дома, в пути с использованием мобильного Интернета; возможность развиваться в ногу со временем – пользователи электронных курсов (и преподаватели, и студенты) развивают свои навыки и знания в соответствии с новейшими современными технологиями и стандартами, электронные курсы также позволяют своевременно и оперативно обновлять учебные материалы; возможность определять критерии оценки знаний –

в электронном обучении имеется возможность выставлять четкие критерии, по которым оцениваются знания, полученные студентом в процессе обучения. Несомненно, преимущества электронного обучения очевидны: гибкость, экономия времени, простота возвращения к пройденному учебному материалу [2].

Данная форма обучения также широко используется в СибГАУ для обучения студентов очной формы обучения, например, на занятиях по иностранному языку.

Массовые открытые онлайн-курсы как способ развития электронного обучения. Одним из элементов электронного обучения, применяемых на практике, являются массовые открытые онлайн-курсы (МО-ОК) (*англ.* Massive Open Online Course – MOOC). Массовый открытый онлайн-курс есть вид дистанционного интернет-обучения, отличающийся следующими характеристиками:

- большое, по сравнению с обычными университетскими курсами, количество участников курса;
- курс, несмотря на коммерческую природу бизнеса МООС, в базовых элементах имеет открытый характер по структуре, контенту и задачам обучения; однако он может иметь дополнительную коммерческую составляющую, например, в виде выдачи платных сертификатов по окончании курса;
- курс полностью проводится в онлайн-режиме, используя как асинхронные, так и синхронные методы обучения.

В процессе разработки и реализации МООК используется широкий спектр информационных и педагогических технологий. Базовыми технологиями считаются встроенные видеолекции со встроенными презентациями, графикой, интерактивными заданиями и текстовой информацией. Данные элементы позволяют повысить уровень интерактивности заданий, что дает возможность ускорить процесс обучения и выявить проблемные блоки в процессе обучения, заостряя на них большее внимание в дальнейшем. Более того, важно отметить повышение мотивации со стороны участников курса, которые могут увидеть и осознать сущность и важность процессов, преподаваемых в рамках курса, а также увидеть результат сразу после выполнения того или иного задания, проанализировать ошибки и построить свою образовательную траекторию на дальнейшее обучение в рамках курса. Второй немаловажной технологией МООК является оценивание друг друга. Данная технология дает возможность оценить уровень компетентности других участников курса, людей, которых так или иначе объединяет тематика курса. Благодаря данной технологии происходит интерактивное взаимодействие не только студентов с преподавателями, но и студентов между собой через форумы, сообщества и другие встроенные программные продукты. Предоставленная возможность повышает конкурентоспособность участников и выводит их на более профессиональный уровень знаний. Другие технологии, такие как вики-проекты, исследовательский и командный характер работы, также играют неотъемлемую роль в МООК.

Внедряя подобные технологии, большее внимание обращается на преимущества, нежели на недос-

татки, так как они весьма незначительны. Одним из преимуществ является тот факт, что имеется возможность организовать МООК в любом окружении, у которого есть возможность соединения, на любом языке, используя различные онлайн-инструменты, которые относятся к целевой области. Обучение происходит в более неофициальной форме, что снимает психологический барьер (боязнь сделать ошибку или изъясниться неверно, страх получить неодобрение со стороны других участников проекта или преподавателей и др.) и позволяет свободно получать знания. Участникам нет необходимости предоставлять документы об образовании или другие документы, подтверждающие уровень образования или личность. Необходимо только мотивация получать знания. Имея мотивацию, участники улучшают навыки, необходимые в учебе. Участие в МООК вынуждает думать о собственном обучении и приобретении знаний.

Проводя мониторинг существующих международных интернет-платформ, на базе которых реализуются МООК, стоит отметить следующие: Coursera (www.coursera.org) [3], Futurelearn (www.futurelearn.com) [4], Cambridge English Teacher (www.cambridgeenglishteacher.org) [5], EdX (www.edx.org) [6], Udacity (www.udacity.com) [7], Khan Academy (www.khanacademy.org) [8].

Преподаватели СибГАУ имеют опыт использования и работы на таких МООК-платформах, как Coursera, Futurelearn и Cambridge English Teacher. Стоит отметить, что первые две платформы используются как преподавателями, так и студентами очной формы обучения. Платформа Cambridge English Teacher используется исключительно преподавателями кафедр делового иностранного языка и технического иностранного языка.

Coursera – это проект в сфере массового онлайн-образования, основанный профессорами информатики Стэнфордского университета Эндрю Ыном и Дафной Коллер. В его рамках существует проект по публикации образовательных материалов в Интернете в виде набора бесплатных онлайн-курсов. Проект сотрудничает с университетами, которые публикуют и ведут в системе курсы по различным отраслям знаний. Слушатели проходят курсы, общаются с сокурсниками, сдают тесты и экзамены непосредственно на сайте Coursera, также распространяется официальное мобильное приложение для iPhone и Android. На ноябрь 2014 года в Coursera зарегистрировано 10 млн пользователей и 844 курса от 108 образовательных учреждений.

Futurelearn – это проект, предлагающий широкий спектр онлайн-курсов, читаемых ведущими университетами и учреждениями культуры по всему миру. Данные курсы доступны не только с персональных компьютеров, но также и с мобильных устройств через мобильные приложения. Таким образом, у участников курсов есть возможность заниматься в любом месте, в любое время, если имеется выход в Интернет. Учредителем проекта является Открытый университет Великобритании, имеющий 40-летний опыт в развитии онлайн-обучения. Проект поддерживают 40 партнёров из Великобритании, Европы, Африки,

Азии и Ближнего Востока. Первый курс был запущен в сентябре 2013 года. Через год к проекту подключилось около 500 000 участников курсов.

Cambridge English Teacher – проект, запущенный специально для преподавателей английского языка на всех уровнях образования (начальное, среднее, высшее) Кембриджским университетом. Целью данного проекта является развитие профессиональных компетенций в области методики преподавания английского языка для разных целей. Как и другие платформы для MOOK, Cambridge English Teacher предлагает участие в онлайн-курсах, направленных на повышение как языкового уровня, так и профессиональных навыков. Однако ресурс позволяет не только участие в онлайн-курсах, но и посещение вебинаров, участие в форумах, а также получение доступа к печатным материалам в электронной форме, что является неотъемлемой помощью преподавателям английского языка в разработке и проведении занятий с учетом новых тенденций в международном сообществе.

Университет, как высшее учебное заведение, обязан идти в ногу со временем, отслеживая все новые тенденции в обучении, применяя их с целью подготовки высококвалифицированных специалистов для организаций и предприятий. MOOK помогают продвигать бренд университета на рынке международных образовательных услуг, привлекая талантливую молодежь. Подобное продвижение является одним из этапов выполнения задач, поставленных государством перед вузами, а именно, усилить экспорт российских образовательных услуг. Участвуя в проектах по реализации MOOK, университет получает дополнительное финансирование за счет соучредительства. Данное преимущество дает вузу возможность получать дополнительный доход помимо бюджетных средств.

В связи с тем, что СибГАУ является региональным университетом, территориально расположенным далеко от ведущих вузов страны, участие в проектах MOOK дает возможность совместного сетевого использования ресурсов с крупными университетами, а также восполняет нехватку преподавателей по направлениям, которые недостаточно развиты. Учитывая данный факт, появляется возможность сотрудничества не только с преподавателями, но и со специалистами и экспертами в областях, требующих тесной связи с работодателем, бизнес-структурами и внешним профессиональным миром. Сотрудничество такого характера повысит репутацию вуза, даст возможность развития международного сотрудничества, также приглашенные специалисты смогут внести вклад в развитие вузовских проектов с выводом их на уровень международной значимости.

Хотя технологии MOOK только начинают внедряться в российских университетах, уже прослеживается успешная тенденция развития данного направления в России. Работа ведется в направлении формирования общеуниверситетских онлайн-кафедр, виртуальных научных лабораторий в российских университетах; создания межуниверситетских и межинститутских научно-образовательных программ; интеграции науки и образования. Глобальная цель, которая преследуется на государственном уровне, – создание фе-

дерального электронного исследовательского университета.

Согласно результатам исследования, проведенного Центром образовательных разработок Московской школы управления Сколково, в России онлайн-образование развивается давно, но пока что отсутствуют широко известные проекты, в отличие от стран Европы и США. Как предполагают исследователи, это может быть связано с тем, что почти все существующие российские онлайн-платформы изначально были ориентированы на платное предоставление образовательных услуг и, следовательно, не претендуют на охват большой аудитории [9]. Учитывая тот факт, что государство заинтересовано в реализации MOOK-технологий на территории России, так как они могут являться вариантом сетевого обучения, которое является первоочередной задачей в развитии образования в стране, то нельзя исключать возможность мотивирования ведущих вузов страны к предоставлению бесплатного доступа к своим ресурсам [10].

Из российских вузов, вступивших в сотрудничество с проектами в области онлайн-образования, можно выделить следующие наиболее активные, которые для государства стоят на первом месте по развитию MOOK и привлечению к ним широких масс:

- Московский государственный университет;
- Высшая школа экономики;
- Санкт-Петербургский государственный университет;
- Московский физико-технологический институт;
- Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации.

Некоторые из вышеупомянутых вузов уже сотрудничают с международным проектом, таким как Coursera, однако есть необходимость в развитии российских проектов. На данный момент существуют MOOK, которые организуются непосредственно за счет ресурсов российских вузов и организаций в области образования и культуры, а именно:

- Универсариум (www.universarium.org) [11];
- Eduson (www.eduson.tv) [12];
- Uniweb (www.uniweb.ru) [13];
- Univer.tv [14];
- Intuit.ru (Национальный открытый университет ИНТУИТ) [15] и др.

Заключение. Подводя итог, следует отметить, что процесс внедрения электронного обучения в российскую систему высшего образования проходит медленно, сталкиваясь с определенными сложностями: проблема качества электронных курсов (кто и как может их оценить), правовые проблемы, связанные с защитой интеллектуальной собственности, финансовые, касающиеся затрат на подготовку электронных курсов и их обновление, кадровые проблемы, связанные с подготовкой преподавателей, способных и желающих разрабатывать и постоянно обновлять такие курсы. К факторам, сдерживающим развитие онлайн-образования, следует также отнести низкий уровень доверия к дистанционному формату образования в академической среде. Исторически сложившееся

мнение, что традиционная форма обучения является наиболее эффективной, до сих пор присутствует у российских граждан. Процесс массового осознания всех преимуществ подобного обучения займет немало времени. К другим причинам отставания российских вузов в процессе внедрения нового формата обучения можно также отнести отсутствие необходимой нормативной базы в области дистанционного обучения; отсутствие специалистов в области разработки электронных курсов; недостаток финансовых средств, необходимых для разработки электронного образовательного контента; отсутствие готовности преподавателей к использованию в работе дистанционных технологий; проблемы авторского права и связанное с этим нежелание преподавателей выставлять свои ресурсы в открытый доступ.

Однако очевидным остается то, что электронное обучение – это не временное увлечение, и необходимо уже сегодня заботиться о комплексном решении перечисленных проблем, подготавливать преподавателей и студентов к использованию возможности глобальной сети Интернет и электронного обучения в целом.

Библиографические ссылки

1. Сервер дистанционного обучения СибГАУ [Электронный ресурс]. URL: <http://dl.sibsau.ru> (дата обращения: 01.12.2014).
2. Сатунина А. Е. Электронное обучение: плюсы и минусы // *Современные проблемы науки и образования*. 2006. № 1. С. 89–90.
3. Coursera [Электронный ресурс]. URL: <http://www.coursera.org> (дата обращения: 01.12.2014).
4. Futurelearn [Электронный ресурс]. URL: <http://www.futurelearn.com> (дата обращения: 01.12.2014).
5. Cambridge English Teacher [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cambridgeenglishteacher.org> (дата обращения: 01.12.2014).
6. EdX [Электронный ресурс]. URL: <http://www.edx.org> (дата обращения: 01.12.2014).
7. Udacity [Электронный ресурс]. URL: <http://www.udacity.com> (дата обращения: 01.12.2014).
8. Khan Academy [Электронный ресурс]. URL: <http://www.khanacademy.org> (дата обращения: 01.12.2014).
9. Московская школа управления Сколково [Электронный ресурс]. URL: <http://www.skolkovo.ru> (дата обращения: 01.12.2014).

10. Российское образование для иностранных граждан [Электронный ресурс]. URL: <http://www.russia.edu.ru> (дата обращения: 01.12.2014).
11. Универсариум [Электронный ресурс]. URL: <http://www.universarium.org> (дата обращения: 01.12.2014).
12. Eduson [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eduson.tv> (дата обращения: 01.12.2014).
13. Uniweb [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uniweb.ru> (дата обращения: 01.12.2014).
14. Univer.tv [Электронный ресурс]. URL: <http://www.univer.tv> (дата обращения: 01.12.2014).
15. Intuit.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.intuit.ru> (дата обращения: 01.12.2014).

References

1. *Server distantsionnogo obucheniya SibGAU* [SibSAU Distance Learning Server]. Available at: <http://dl.sibsau.ru> (accessed 01.12.2014).
2. Satunina A. E. [E-learning: advantages and disadvantages]. *Sovremennye problem nauki i obrazovaniya*. 2006, no. 1, p. 89–90 (In Russ.).
3. Coursera. Available at: <http://www.coursera.org> (accessed 01.12.2014).
4. Futurelearn. Available at: <http://www.futurelearn.com> (accessed 01.12.2014).
5. Cambridge English Teacher. Available at: <http://www.cambridgeenglishteacher.org> (accessed 01.12.2014).
6. EdX. Available at: <http://www.edx.org> (accessed 01.12.2014).
7. Udacity. Available at: <http://www.udacity.com> (accessed 01.12.2014).
8. Khan Academy. Available at: <http://www.khanacademy.org> (accessed 01.12.2014).
9. *Moskovskaya shkola upravleniya Skolkovo* [Moscow School of Management SKOLKOVO]. Available at: <http://www.skolkovo.ru> (accessed 01.12.2014).
10. *Rossiyskoe obrazovanie dlya inostrannykh grazhdan* [Education in Russia for Foreigners]. Available at: <http://www.russia.edu.ru> (accessed 01.12.2014).
11. *Universarium* [Universarium]. Available at: <http://www.universarium.org> (accessed 01.12.2014).
12. Eduson. Available at: <http://www.eduson.tv> (accessed 01.12.2014).
13. Uniweb. Available at: <http://www.uniweb.ru> (accessed 01.12.2014).
14. Univer.tv. Available at: <http://www.univer.tv> (accessed 01.12.2014).
15. Intuit.ru. Available at: <http://www.intuit.ru> (accessed 01.12.2014).

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ КЛАССА ВИНЕРА

Н. В. Коплярова

Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: koplyarovav@mail.ru

Рассмотрена задача идентификации нелинейных динамических систем класса Винера в условиях неполной информации. В настоящее время широко известны параметрические методы идентификации подобных систем, которые часто имеют дискретно-непрерывный характер. Обычно при параметрической постановке задачи идентификации класс уравнений, описывающий динамический процесс, известен с точностью до вектора параметров. Следующий этап – это оценка параметров по наблюдениям входных-выходных переменных процесса. При этом важно отметить, что выбор параметрической структуры модели исследуемого объекта оказывается чрезвычайно важным. Неточности модели, возникающие при некоторых погрешностях на стадии ее параметрического выбора или определения, не удастся устранить при оценке параметров. А значит, модель будет в том или ином смысле, достаточно грубой. В настоящей статье линейный элемент модели Винера не известен с точностью до параметров, что соответствует уровню непараметрической неопределенности. В качестве нелинейного элемента модели принимается та или иная параметрическая структура. Конкретно рассматривается случай, когда параметрический блок представлен в виде квадратора и звена с насыщением. Таким образом, задача идентификации стохастических объектов класса Винера рассматривается в условиях частичной непараметрической неопределенности. На первом этапе строится модель линейного динамического блока. Для построения непараметрической модели последнего необходимо на вход объекта подать функцию Хевисайда, в этом случае выход объекта с точностью до коэффициента является его переходной функцией. Восстановление весовой функции осуществляется по наблюдениям переходной функцией непараметрической статистики. Для оценки параметров нелинейного звена необходимо проведение соответствующих экспериментов. Следует обратить особое внимание на то, что при идентификации нелинейной динамической системы класса Винера контролю подлежат только входные и выходные переменные. Подобная ситуация типична при изготовлении не только космических аппаратов, но и многих их блоков и элементов. Кроме того, рассматриваемые модели оказываются полезными при создании компьютерных систем технической диагностики при виброиспытании космических аппаратов (КА) по каналу: «вибросигнал – сигнал датчика, установленный на КА». Проведено численное исследование предложенных алгоритмов, рассматривались модели систем класса Винера в различных условиях (при различном уровне помех в каналах измерения, различном объеме выборки и видах входных воздействий). Результаты компьютерных исследований показывают работоспособность предложенных алгоритмов.

Ключевые слова: идентификация, модель Винера, непараметрическая статистика, нелинейная динамическая система, априорная информация.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 67–77

ALGORITHMS OF WIENER SYSTEM IDENTIFICATION

N. V. Koplyarova

Siberian Federal University
79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
E-mail: koplyarovav@mail.ru

This article is devoted to the problem of identification of nonlinear dynamic systems Wiener class under conditions of incomplete information. It is now widely known parametric identification methods such systems, which often have a discrete-continuous. Normally, when a parametric formulation of the problem identification class of equations describing the dynamic process is known up to a vector of parameters. The next stage is the estimation of parameters from observations of "input-output" process variables. It is important to note that the choice of the parametric model structure of the object is extremely important. Model inaccuracies arising from some errors at the stage of its parametric selection or definition, can not be rectified in the evaluation parameters. This means that the model is in one sense or another, quite rough. In this paper, the linear element model Wiener is not known with an accuracy of parameters, which corresponds to the non-parametric uncertainty. As a non-linear element model is adopted one or other parametric

structure. Specifically, we consider the case when the parameter block is represented as a quad and a saturation level. Thus, the problem of identification of objects of a class of stochastic Wiener is seen in partial non-parametric uncertainty. At the first stage model of linear dynamic block is built. To construct a non-parametric model of the last input object must submit the Heaviside function, in this case, the output of the object to within a factor is its transition function. Reconstruction of the weight function is carried out by the observations of transitional methods of nonparametric statistics. To estimate the parameters of non-linear element is necessary to conduct appropriate experiments. We should pay particular attention to the fact that in the identification of nonlinear dynamic system Wiener class, subject only to the control input and output variables. This situation is typical not only in the manufacture of spacecraft, but many of their units and components. Furthermore, these models are useful in creating computer systems of technical diagnostics with vibration testing of spacecraft (SC) on the channel: Vibrate - sensor mounted on the spacecraft. A numerical study of the proposed algorithms, consider the model of the class of Wiener in different conditions (at different levels of noise in the measurement channels, a different sample size and types of input actions). The results of computer studies show efficiency of the proposed algorithms.

Keywords: identification, Wiener model, nonparametric statistics, nonlinear dynamical system, a priori information.

Введение. Современные производственные системы являются сложными техническими объектами, часто имеющими нелинейную динамическую структуру. Для их исследования необходимо создание математических моделей и алгоритмов, ориентированных на применение современных средств вычислительной техники [1–4]. В связи с этим актуальными являются вопросы, связанные с разработкой методов идентификации нелинейных динамических объектов. При этом необходимо рассмотрение всей имеющейся априорной информации при построении моделей процесса, что достигается за счет применения современных методов параметрической и непараметрической идентификации.

Наиболее важным с точки зрения приложений классом динамических процессов являются системы типа «вход-выход», представимые в виде «черного ящика», допускающие активный эксперимент при отсутствии полной априорной информации о моделируемом объекте. Настоящая работа посвящена рассмотрению задачи идентификации динамических систем в широком смысле, т. е. в условиях, когда параметризация невозможна или удается частично параметризовать модель исследуемого процесса на основании имеющейся априорной информации.

Рассматривается задача идентификации нелинейных динамических систем, представленных в виде последовательно соединения линейного динамическо-

го и нелинейного статического блоков (модель Винера), линейная динамическая часть которых находится в условиях непараметрической неопределенности. Целью работы является повышение эффективности моделирования нелинейных динамических объектов в условиях малой априорной информации. Таким образом, исследуется задача моделирования нелинейных динамических процессов, находящихся в условиях частичной параметризации. Следует отметить, что системы рассматриваемого класса распространены при создании компьютерных систем технической диагностики при виброиспытании космических аппаратов (КА) по каналу «вибросигнал – сигнал датчика, установленный на КА».

Постановка задачи. Задача идентификации нелинейной динамической системы поясняется на рис. 1 [5], где Объект – система, состоящая из линейной динамической (ЛЭ) и нелинейной статической (НЭ) частей, ИУ – измерительное устройство, $u(t)$ – входная переменная объекта, $x(t)$ – выходная переменная, u_t^ξ, x_t^ξ или $\{u_b, x_b, t = 1, s\}$ – наблюдения переменных процесса в дискретный момент времени, $\xi(t)$ – ненаблюдаемое случайное воздействие, $\varepsilon^u(t), \varepsilon^x(t)$ – случайные факторы, действующие в каналах измерения переменных в дискретные моменты времени t , $\hat{x}(t)$ – выход модели объекта.

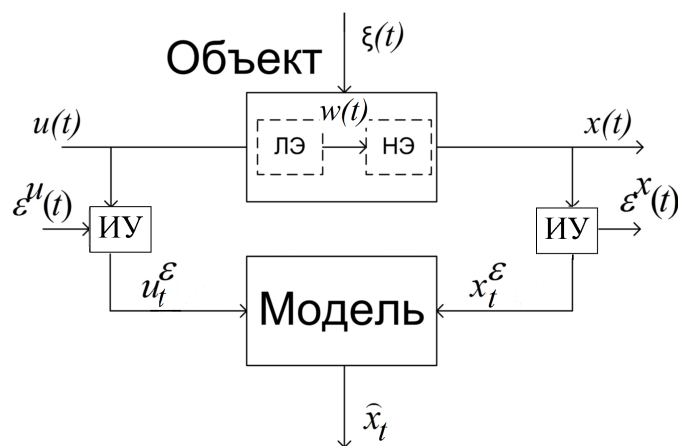


Рис. 1. Общая схема идентификации системы класса Винера

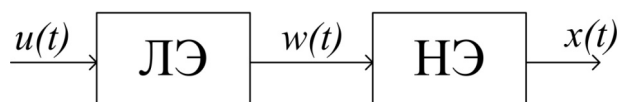


Рис. 2. Модель Винера: ЛЭ и НЭ – линейная динамическая и нелинейная части системы соответственно; $u(t)$ – входное воздействие; $w(t)$ – выход промежуточного звена объекта (неизмеряемый); $x(t)$ – выход объекта

Исходные данные о состоянии исследуемого объекта представляют собой выборку измерений реакции объекта на входное воздействие $u(t)$: $\{u_i, x_i, i = \overline{1, s}\}$ [6]. Параметры и порядок дифференциального уравнения, которым может быть описана линейная динамическая часть системы, неизвестны. Пусть нелинейность в объекте описывается функцией, вид которой предполагается известным с точностью до набора параметров. Рассмотрим системы, в которых нелинейный элемент представляет собой квадратор: $f(w) = aw^2$, или звено насыщения (с порогом насыщения b_1):

$$f(w) = \begin{cases} w, & |w| \leq b_1 \\ a \cdot \text{sign}(w), & |w| > b_1 \end{cases}$$

Требуется на основании имеющейся информации построить модель данной системы, адекватно описывающую ее поведение при подаче на ее вход воздействий различного вида.

Непараметрическая модель системы типа Винера. Объектом исследования являются системы, которые могут быть представлены в виде последовательного соединения линейного динамического и безынерционного нелинейного блоков, называемые моделью Винера [6; 7]. Таким образом, общая схема объекта рассматриваемого типа имеет вид, изображенный на рис. 2, где ЛЭ – линейный элемент (динамический), НЭ – нелинейная функция (статический элемент), $u(t)$ – входная переменная объекта, $w(t)$ – выход линейной части объекта (не измеряемый), $x(t)$ – выходная переменная объекта.

Пусть порядок и параметры линейной динамической части модели Винера неизвестны, а структура нелинейного элемента задана с точностью до набора параметров α . Основная идея алгоритма, предлагаемого для построения моделей таких систем, заключается в использовании непараметрических оценок для описания связей системы, информация о которых по каким-то причинам неизвестна (в данном случае измерению недоступна линейная динамическая часть системы), а также в применении непараметрического подхода к оцениванию функций.

Как видно из рис. 2, значение выхода исследуемого объекта вычисляется как некоторая функция от значения $w(t)$:

$$x(t) = f\{w(t), \alpha\}, \quad (1)$$

где $x(t)$ – выходной сигнал системы; $w(t)$ – выход линейной части системы (неизмеряемый); $u(t)$ – входной сигнал системы; $f\{w(t), \alpha\}$ – нелинейный оператор.

Предположим, что выход $w(t)$ может быть измерен, тогда модель линейного динамического звена системы при входном воздействии $u(t)$ может быть оценена как интеграл Дюамеля, т. е.:

$$w(t) = \int_0^t h'(t - \tau) u(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где $h(t)$ – переходная характеристика системы; τ – переменная интегрирования.

Тогда в соответствии с (1) модель исследуемого объекта находится как

$$\hat{x}(t) = \hat{f} \left(\int_0^t h'(t - \tau) u(\tau) d\tau, \hat{\alpha} \right). \quad (3)$$

Математическая модель нелинейного объекта может быть представлена в виде уравнения (3), где вместо переходной функции $h(t)$ и параметров α используются их статистические оценки.

Значение переходной функции $h(t)$ представляет собой реакцию линейного динамического элемента системы на подачу на ее вход воздействия $u(t) = 1$, т. е. $h(t) = w(t)/u(t) = 1$. При этом значение $w(t)$ недоступно для измерения. После подачи на вход единичного воздействия возможно измерить только выход нелинейного объекта $x(t)$, который будет иметь значение, равное $x(t) = f(h(t))$.

Тогда значения переходной функции линейного элемента системы в дискретные моменты времени могут быть оценены следующим образом:

$$h_i = f^{-1}(x_{1i}, \alpha), \quad (4)$$

где h_i – рассчитанное значение переходной характеристики линейного элемента системы; $f^{-1}(x)$ – функция, обратная к описанию нелинейного элемента; x_{1i} – экспериментально полученные значения выхода исследуемого объекта при подаче на вход единичного ступенчатого воздействия $u(t) = 1(t)$; α – параметр нелинейности. Алгоритмы оценивания неизвестной функции $f^{-1}(x)$ и ее параметров α зависят от типа нелинейности в объекте и будут приведены далее.

Далее на основании выборки дискретных значений можно оценить переходную функцию системы в виде стохастической аппроксимации регрессии непараметрического типа следующим образом [8]:

$$\hat{h}(t) = \frac{1}{sc_s} \cdot \sum_{i=1}^s h_i H \left(\frac{t - t_i}{c_s} \right), \quad (5)$$

При этом колоколообразная функция $H(\cdot)$ и параметр размытости c_s должны удовлетворять условиям сходимости [9]:

$$c_s > 0; \lim_{s \rightarrow \infty} c_s = 0; \lim_{s \rightarrow \infty} s c_s = \infty, \quad (6)$$

$$\int_{\Omega(u)} H'(u) du = 0, \quad c_s \int_{\Omega(u)} H'(u) u du = -1, \quad (7)$$

$$\lim_{s \rightarrow \infty} c_s^{-1} H\left(\frac{\tau-t}{c_s}\right) = \delta(\tau-t), u = \frac{\tau-t}{c_s}.$$

В этом случае непараметрическая оценка весовой функции, которая является производной по времени от переходной, примет следующий вид [10; 11]:

$$k_s(t) = h'_s(t) = \frac{1}{s c_s} \cdot \sum_{i=1}^s h_i H'\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right). \quad (8)$$

Подставив оценку весовой функции в интеграл Дюамеля в соответствии с (2), получим непараметрическую модель, оценивающую выход линейного элемента [3]:

$$w_s(t) = \frac{1}{s c_s} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta\tau} h_i H'\left(\frac{t-\tau_j-t_i}{c_s}\right) u(\tau_j) \Delta\tau, \quad (9)$$

где τ – переменная интегрирования; $\Delta\tau$ – шаг дискретизации.

Тогда непараметрическая модель нелинейного объекта примет вид [12]:

$$\begin{aligned} \hat{x}(t) &= \hat{f}\left(\int_0^t h'(t-\tau) u(\tau) d\tau, \hat{\alpha}\right) = \\ &= \hat{f}\left(\frac{1}{s c_s} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta\tau} h_i H'\left(\frac{t-\tau_j-t_i}{c_s}\right) u(\tau_j) \Delta\tau, \hat{\alpha}\right), \end{aligned} \quad (10)$$

где $\hat{f}(w(t), \alpha)$ – оценка нелинейной функции; $\hat{h}(t)$ – оценка переходной функции линейного элемента системы; $x(t)$ – выходной сигнал системы; $u(t)$ – входной сигнал системы; $\hat{\alpha}$ – оценки параметров нелинейного элемента системы.

Идентификация нелинейной системы с квадрататором. Пусть имеем систему, представленную в виде модели Винера (рис. 2). Причем нелинейная часть системы представляет собой квадрататор, описываемый функцией вида $f(w) = aw^2$, где $a = \text{const}$. Выход объекта вычисляется следующим образом: $x(t) = f(w, a) = aw^2$. При единичном входном воздействии $u(t) = 1(t)$, выход нелинейной системы равен $x1(t) = x(t)/u(t) = 1) = aw(t)^2$. То есть оценку значений переходной характеристики линейного элемента $\hat{h}(t) = w(t)$ можно рассчитать через выход исследуемого процесса следующим образом: $\hat{h}_i = \sqrt{x1_i/a}$, где $x1_i$ – выход исследуемой системы при единичном входном воздействии в момент времени t [13].

Далее оцениваем переходную характеристику системы с применением непараметрического метода следующим образом:

$$h_s(t) = \frac{1}{s c_s} \cdot \sum_{i=1}^s \hat{h}_i H\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right) = \frac{1}{s c_s} \cdot \sum_{i=1}^s \frac{\sqrt{x1_i}}{a} H\left(\frac{t-t_i}{c_s}\right). \quad (11)$$

При произвольном входном воздействии и нулевых начальных условиях выход линейной части системы описывается интегралом Дюамеля (2). С учетом рассчитанного значения переходной функции (11) выход линейного элемента равен:

$$w_s(t) = \frac{1}{s c_s} \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta\tau} \sqrt{\frac{x1_i}{a}} H'\left(\frac{t-\tau_j-t_i}{c_s}\right) u(\tau_j) \Delta\tau, \quad (12)$$

где a – неизвестная константа (параметр нелинейного элемента системы).

Таким образом, модель нелинейного динамического объекта типа Винера имеет вид:

$$\begin{aligned} x_s(t) &= f(w(t), a) = aw^2(t) = \\ &= a \left[\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta\tau} \sqrt{\frac{x1_i}{a}} H'\left(\frac{t-\tau_j-t_i}{c_s}\right) u(\tau_j) \Delta\tau \right]^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Расчетная формула для оценки выхода нелинейной системы при произвольном входном воздействии примет следующий вид:

$$x_s(t) = \left[\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^{t/\Delta\tau} \sqrt{x1_i} H'\left(\frac{t-\tau_j-t_i}{c_s}\right) u(\tau_j) \Delta\tau \right]^2, \quad (14)$$

где $x1_i$ – реакция нелинейной системы на единичное входное воздействие; $u(t)$ – входное воздействие. Таким образом, получается методика, для реализации которой не требуется точное численное значение параметра квадрататора.

Пример 1. Рассмотрим нелинейную динамическую систему, состоящую из квадрататора (параметр $a = 2$) и разностного аналога дифференциального уравнения (имитирующего объект): $3 \cdot x''(t) + 1 \cdot 3 \cdot x'(t) + 1 \cdot x(t) = u(t)$. Предполагаем, что вид и параметры реального уравнения, описывающего процесс, неизвестны. Результат моделирования такого процесса представлен на рис. 3.

Анализируя результаты моделирования, можно сказать, что предлагаемые алгоритмы позволяют достаточно точно оценивать значения выхода исследуемой системы при различных значениях параметров нелинейной части объекта, в условиях зашумленности каналов связи, при различных входных воздействиях.

Идентификация нелинейной системы с насыщением. Рассмотрим нелинейную динамическую систему, нелинейность в которой представлена звеном насыщения, т. е. описывается функцией вида

$$f(w) = \begin{cases} w, & |w| \leq b, \\ a \cdot \text{sign}(w), & |w| > b, \end{cases} \quad (15)$$

где a, b – некоторые неизвестные параметры нелинейной функции (15).

В данном случае при $w(t) < b$ выход объекта совпадает с выходом его линейной динамической части. В остальных случаях, выход объекта представляет собой некоторую константу a , которую возможно определить опытным путем в результате нескольких экспериментов над исследуемой системой [14].

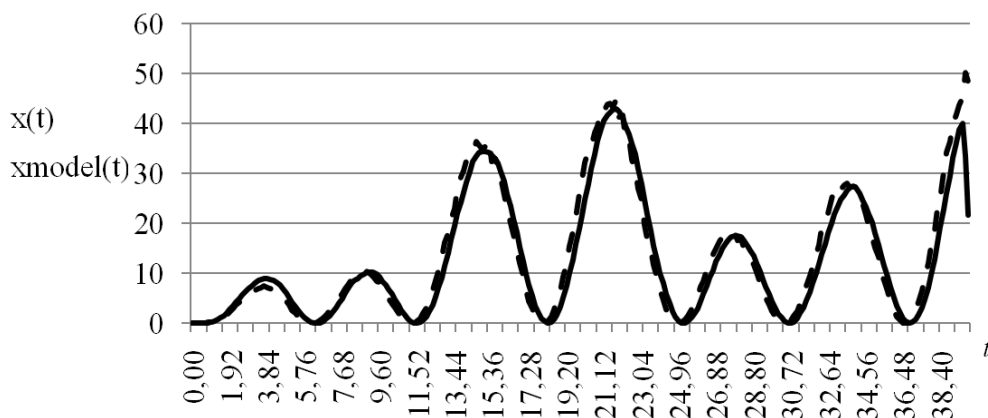


Рис. 3. Результат оценки выхода $x(t)$: $xmodel(t)$ – модель нелинейной системы; x – выход системы; объем выборки $s = 250$; $h = 0,16$; помеха 5 %; входное воздействие $u(t) = 3\cos(0,5t) + \sin(0,2t)$; относительная ошибка моделирования 3,7 %

Для построения модели предлагается алгоритм, включающий следующую последовательность действий.

Проводится ряд статических экспериментов, т. е. на вход системы последовательно подаются некоторые постоянные воздействия, в результате чего может быть сделан вывод о значениях параметров функции, описывающей нелинейную часть системы.

Параметры нелинейной функции оцениваются согласно следующему алгоритму:

1. Проводится серия экспериментов над исследуемой системой, в ходе которых на ее вход подаются воздействия различной амплитуды $u_{i,j} = e_j$, $e_j = \text{const}$ в результате получим выборку, состоящую из значений входного воздействия и установившегося значения выхода: $\{u_j, x_j^{\text{уст}}\}, j = 1, \bar{m}$.

2. В результате по данной выборке может быть получена оценка нелинейного элемента системы, параметры которого определяются следующим образом:

– находится расстояние между двумя соседними измерениями следующим образом: $d_j = |x_j - x_{j-1}| / \Delta t$, где Δt – шаг дискретизации выборки;

– оценка порога нелинейности $\hat{b} = x_j$, если $d_j < \varepsilon, \varepsilon > 0$;

– $\hat{a} = M\{b_j\}$, где $x_j = \hat{b}$, и $x_j = x_j^{\text{уст}}$, $x_j^{\text{уст}} = x_{j-1}^{\text{уст}}$, $x_j^{\text{уст}} = x_{j-1}^{\text{уст}}$ – установившееся значение выхода нелинейной системы;

– оценка нелинейного элемента системы может быть получена в виде

$$f(w) = \begin{cases} w, & |w| \leq \hat{b} \\ \hat{a} \cdot \text{sign}(w), & |w| > \hat{b} \end{cases} \quad (16)$$

3. На вход объекта подается ступенчатая функция, амплитуда которой не превышает значение порога b . В результате получается переходная характеристика и строится модель линейной части объекта в виде интеграла Дюамеля.

4. Строится модель объекта, выход которой вычисляется как значение функции, описывающей нелинейное звено, аргументом которой является выход модели линейной части объекта [15].

$$\begin{cases} \hat{x}(t) = \hat{f}(w(t)), \\ \hat{w}(t) = \int_0^t h(t-\tau)u(\tau)d\tau, \end{cases} \quad (17)$$

где $\hat{x}(t)$ – оценка выхода исследуемой системы; $\hat{f}(\cdot)$ – оценка функции (15), описывающей нелинейность системы; $\hat{w}(t)$ – оценка выхода линейного элемента системы; $h(t)$ – переходная функция системы.

Пример 2. Рассмотрим нелинейную динамическую систему, состоящую из звена насыщения вида (15) (параметры $b = 0,75$, $b_1 = 1$) и разностного аналога дифференциального уравнения (имитирующего объект): $3 \cdot x''(t) + 0,57 \cdot x'(t) + 1 \cdot x(t) = u(t)$.

Помехи в каналах измерения имитировались следующим образом:

$$x_{i,sh} = x_i + c \cdot \xi_i,$$

где x_i – выход объекта (без учета влияния помехи); ξ – нормально распределенная аддитивная помеха с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Константа c определяет интенсивность помехи, она рассчитывается по заданной величине ρ , определяющей отношение сигнала к шуму (при $\rho = 10$, шум 10 %, при $\rho = 1$, шум 100 %):

$$\rho = \sqrt{\frac{1}{s} \cdot \sum_{i=1}^s x_i^2} / c.$$

Качество полученных моделей оценивается с помощью относительной средней ошибки моделирования:

$$W = \frac{1}{s} \cdot \sum_{i=1}^s \frac{|x_i - \hat{x}_i|}{|x_{\min} - x_{\max}|} \cdot 100 \%,$$

где x_i – значение выхода исследуемого объекта, $\hat{x}_i$ – значение выхода модели. Результат моделирования такого процесса представлен на рис. 4.

Делая анализ работы модели нелинейного динамического объекта с видом нелинейности типа звена насыщения и квадратора, можно сделать выводы о том, что непараметрическая модель достаточно точно описывает нелинейные динамические системы класса Винера.

Результаты численных исследований. Далее приведем результаты нескольких численных экспериментов, включающих построение непараметрических моделей систем класса Винера, находящихся в различных условиях. То есть рассматривались случаи, когда исходная выборка измерений входных-выходных переменных системы имела различный объем (s), система находилась в условиях зашумления каналов связи, а также на вход подавались различные воздействия.

Пример 3. Рассмотрим некоторый нелинейный динамический объект, поведение которого имитируется следующим образом: линейная часть описывается дифференциальным уравнением второго порядка:

$$2,9 \cdot y''(t) + 1,27 \cdot y'(t) + 1 \cdot y(t) = u(t). \quad (18)$$

Таким образом, выход нелинейного процесса равен $x(t) = f(y(t))$, где $f(\cdot)$ – функция, описывающая не-

линейный элемент системы. Нелинейный элемент представляет собой звено насыщения с параметрами $b = 5, b_1 = 2$.

Результат моделирования данного объекта представлен на рис. 5.

Пусть в каналах измерения переменных рассматриваемой системы действует помеха в размере 5 % от исходного значения выходного сигнала. Тогда непараметрическая модель такой системы примет вид, представленный на рис. 6.

Пример 4. Далее рассмотрим систему, линейная динамическая часть которой описана формулой (18), но нелинейный элемент представляет собой квадратор с параметрами $a = 1, b = 1,6, c = -2$, т. е. $f(z) = z^2 + 1,6z - 2$.

Оценка данных параметров: $a1 = 1,001, b1 = 1,601, c1 = -2$. Таким образом, нелинейный элемент системы описывается выражением: $\hat{f}(z) = 1,001z^2 + 1,601z - 2$. Результат моделирования такого процесса представлен на рис. 7.

Результат моделирования исследуемого процесса в случае, если в каналах измерения действует помеха 5 %, представлен на рис. 8.

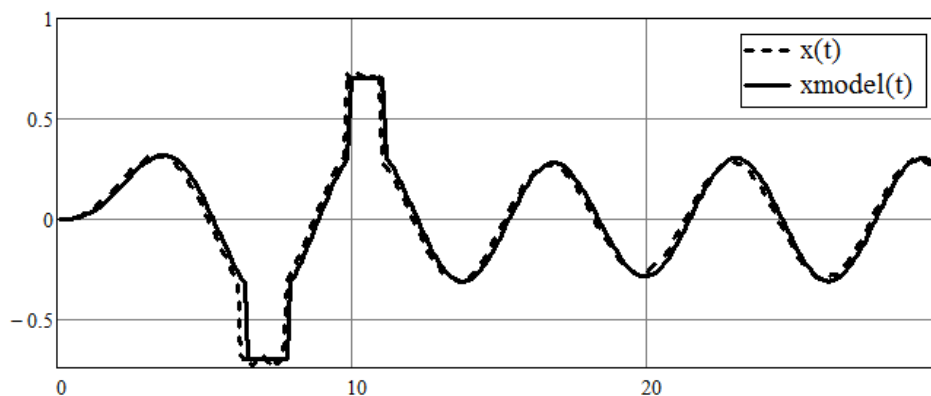


Рис. 4. Результаты оценки выхода $x(t)$: $xmodel(t)$ – модель нелинейной системы; $x(t)$ – выход системы; объем выборки $s = 200$; шаг дискретизации $h = 0,15$; помеха 5 %; входное воздействие $u(t) = 0,35\sin(t)$; средняя ошибка моделирования 2 %

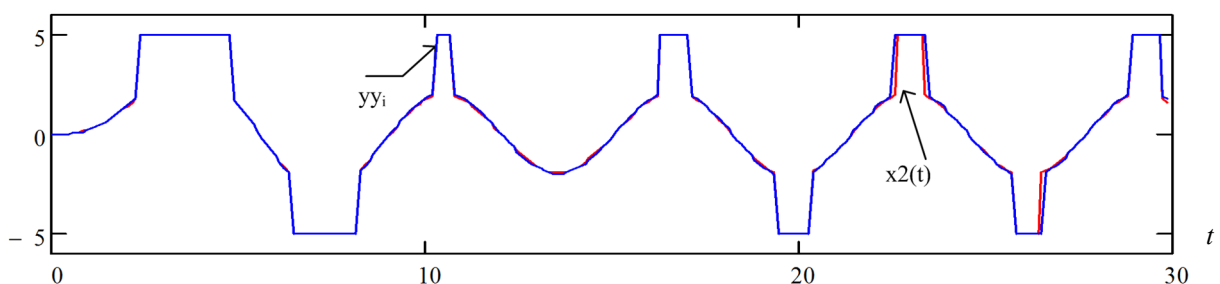


Рис. 5. Результат оценки выхода системы: $x2(t)$ – модель нелинейной системы; yu_i – выход системы; тип нелинейности – звено насыщения, объем выборки $s = 250$, шаг дискретизации $h = 0,12$; помеха 0 %; относительная средняя ошибка моделирования 2,3 %; входное воздействие $u(t) = 5\sin(t)$

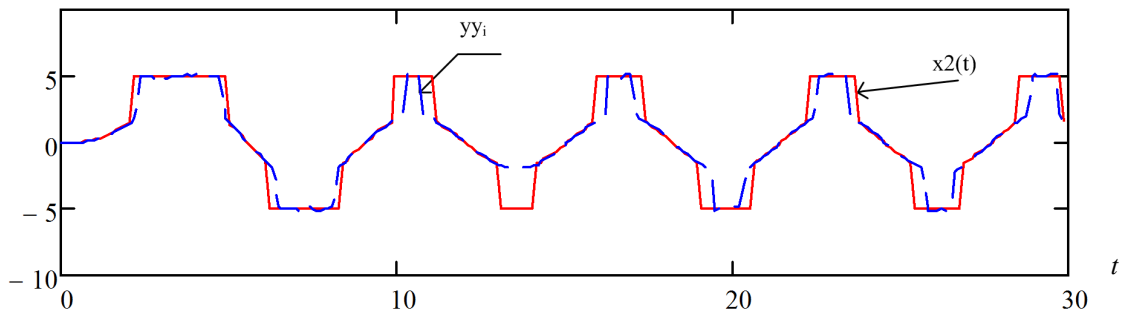


Рис. 6. Результат оценки выхода системы: $x_2(t)$ – модель нелинейной системы; y_{u_i} – выход системы; тип нелинейности – звено насыщения; объем выборки $s = 250$; шаг дискретизации $h = 0,12$; помеха 5 %; относительная средняя ошибка моделирования 5,8 %; $u(t) = 5\sin(t)$

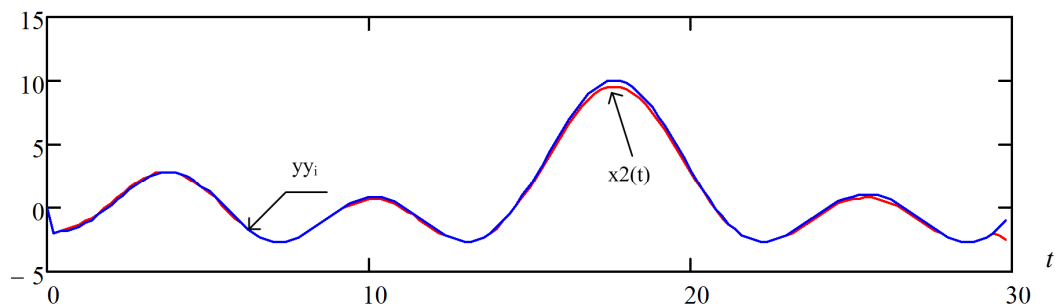


Рис. 7. Результат оценки выхода системы: $x_2(t)$ – модель нелинейной системы; y_{u_i} – выход системы; тип нелинейности – квадрат; объем выборки $s = 150$; шаг дискретизации $h = 0,2$; помеха 0 %; относительная средняя ошибка моделирования 1,1 %; $u(t) = 2\cos(0,4t)$

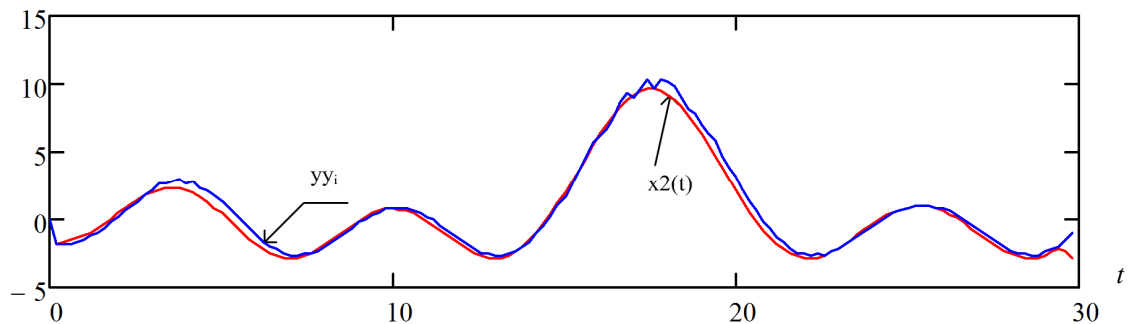


Рис. 8. Результат оценки выхода системы: $x_2(t)$ – модель нелинейной системы; y_{u_i} – выход системы; тип нелинейности – квадрат; объем выборки $s = 150$; шаг дискретизации $h = 0,2$; помеха 5 %; относительная средняя ошибка моделирования 2,5 %; $u(t) = 2\cos(0,4t)$

Пример 5. Рассмотрим нелинейный динамический объект, поведение которого имитируется следующим образом: $1,5 \cdot y''(t) + 0,7 \cdot y'(t) + 2 \cdot y(t) = u(t)$.

Нелинейный элемент $f(z) = z^2 - 2,6z + 3$ ($a = 1$, $b = -2,6$, $c = 3$).

Оценка параметров нелинейного элемента: $a_1 = 0,25$, $b_1 = -1,3$, $c_1 = 3$, при этом нелинейная часть системы

описывается как $\hat{f}(z) = 0,25z^2 - 1,3z + 3$. Результат моделирования такого процесса представлен на рис. 9.

Пусть в каналах измерения переменных системы действует помеха в размере 5 %. Тогда непараметрическая модель такой системы примет вид, представленный на рис. 10.

Проанализировав результаты работы модели нелинейного динамического объекта с известным видом

нелинейности (звено насыщения, квадрат), можно сделать следующие выводы: непараметрическая модель достаточно точно описывает данную систему при различных значениях параметров нелинейной части объекта, в условиях зашумленности каналов связи в пределах 1–6 %, при различном объеме выборки и различных входных воздействиях.

Далее приведены обобщенные результаты численных исследований, представленные в виде графической зависимости величины ошибки моделирования систем класса Винера, рассматриваемых в различных условиях.

1. Зависимость ошибки идентификации от различных объемов выборок измерений переменных процесса. На рис. 11 представлена расчетная зависимость ошибки моделирования от объема выборки. По оси абсцисс отложен объем выборки, а по оси ординат – ошибка идентификации моделей.

Из приведенных результатов видно, что алгоритмы обеспечивают качество моделирования, улучшающееся с увеличением объема выборки.

2. Зависимость ошибки идентификации алгоритма от различных значений интервала дискретизации.

На рис. 12 представлена расчетная зависимость ошибки моделирования от величины интервала дискретизации. По оси абсцисс отложена величина интервала дискретизации (Δt), а по оси ординат – ошибка идентификации алгоритма.

Из приведенных графических зависимостей видно, что ошибка идентификации растет с увеличением интервала дискретизации.

3. На рис. 13 показана зависимость ошибки идентификации алгоритма от различных уровней помехи. По оси абсцисс отложен уровень помех в процентах, а по оси ординат – ошибка идентификации алгоритма.

Проанализировав результаты численных исследований, можно сделать выводы, что непараметрические алгоритмы построения нелинейных динамических систем являются помехоустойчивыми при уровне помех в пределах 5 % от абсолютного значения выхода объекта. Для всех серий экспериментов характерна следующая зависимость: с увеличением объема выборки качество моделирования увеличивается, а с уменьшением объема выборки уменьшается, а также с увеличением уровня помех качество прогноза значительно ухудшается.

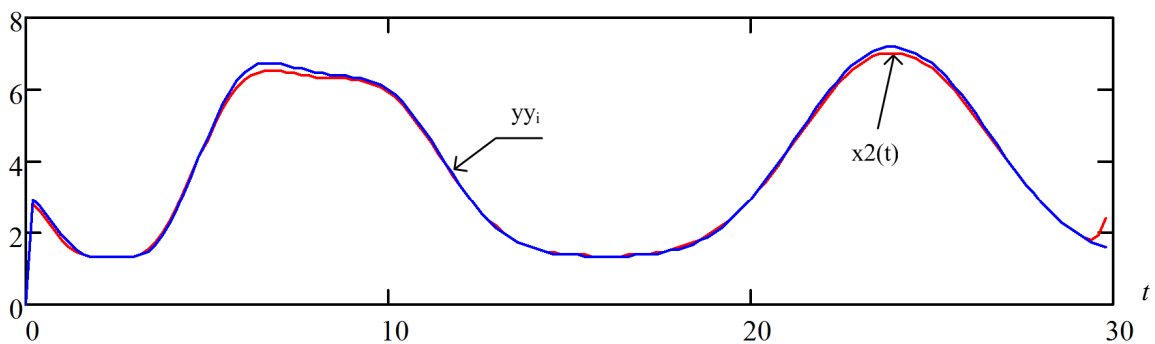


Рис. 9. Результат оценки выхода системы: $x_2(t)$ – модель нелинейной системы; yy_i – выход системы; тип нелинейности – квадрат; объем выборки $s = 150$; шаг дискретизации $h = 0,2$; помеха 0 %; относительная средняя ошибка моделирования 1 %; входное воздействие $u(t) = 2\cos(0,4t)$

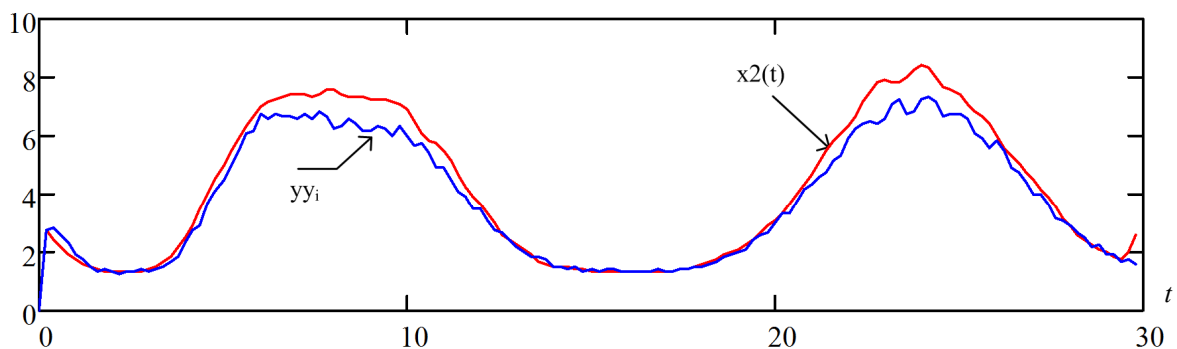


Рис. 10. Результат оценки выхода системы: $x_2(t)$ – модель нелинейной системы; yy_i – выход системы; тип нелинейности – квадрат; объем выборки $s = 150$; шаг дискретизации $h = 0,2$; помеха 5 %; относительная средняя ошибка моделирования 5,3 %; входное воздействие $u(t) = 2\cos(0,4t)$

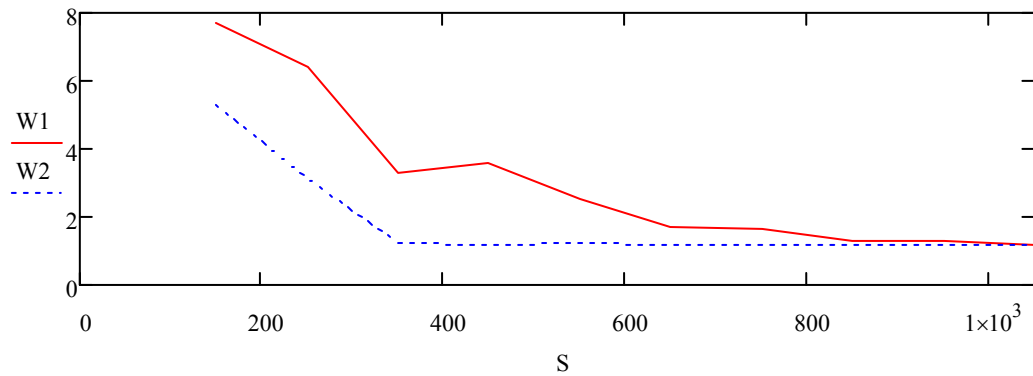


Рис. 11. Расчетная зависимость ошибки идентификации от объема выборки: w_1 , w_2 – относительная средняя ошибка моделирования систем из примеров 3 и 4 соответственно

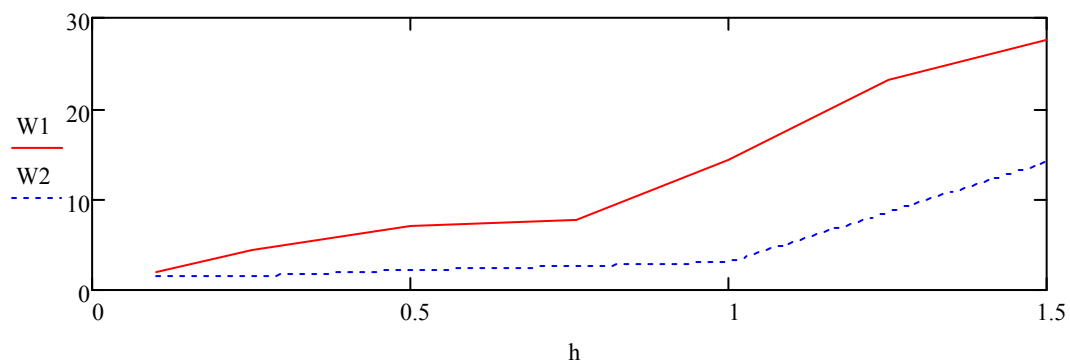


Рис. 12. Расчетная зависимость ошибки идентификации от величины интервала дискретизации

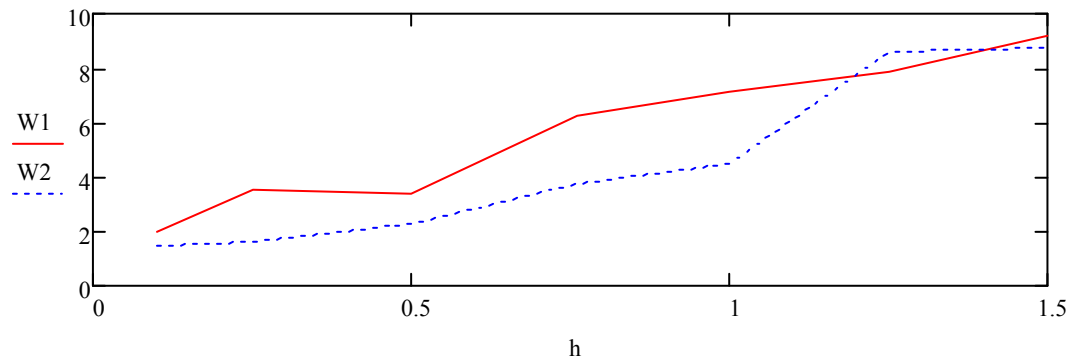


Рис. 13. Расчетная зависимость ошибки идентификации от уровня помех

Проводя анализ работы непараметрической модели динамического объекта с неизвестным типом нелинейности, можно сделать вывод о том, что полученная модель адекватно описывает нелинейную динамическую систему, находящуюся в условиях непараметрической неопределенности.

Заключение. В статье рассмотрена задача идентификации нелинейных динамических систем, представимых в виде моделей Винера. Исследуются системы, находящиеся в условиях частичной параметризации. В данном случае структура линейного дина-

мического блока неизвестна, а вид нелинейности предполагается известным с точностью до параметров.

Задача идентификации нелинейной системы рассмотренного типа может быть разделена на две части. Сначала рассматривается непараметрическая идентификация линейного элемента, алгоритм которой связан с тем, что реакция линейной системы на входное воздействие описывается интегралом Дюамеля. Суть метода заключается в построении моделей и получении прогноза выхода нелинейных динамических систем посредством сочетания моделей линейного

динамического и нелинейного статического процессов в общей модели системы. Данный метод не предусматривает наличия полной априорной информации о структуре объекта.

Показана работоспособность предлагаемого алгоритма и применимость к задаче построения нелинейных динамических систем типа Винера в различных условиях, что расширяет область применения непараметрических методов к новым объектам исследования, а также закладывает теоретическую основу для дальнейшего проектирования. Описанные методы построения и исследования моделей позволяют производить моделирование технологических процессов и систем, имеющих нелинейную структуру.

Благодарности. Хотелось бы выразить искреннюю благодарность за помощь в подготовке данной научной статьи научному руководителю – Медведеву Александру Васильевичу. Его педагогический и научный подход, отличное знание предмета вдохновили меня на выполнение данной работы. Во время всех этапов подготовки работы он помогал мне рекомендациями, советами, оказывал моральную поддержку.

Acknowledgment. I would like to express my sincere gratitude for their help in the preparation of the scientific article supervisor – Medvedev Alexander Vasilyevich. His teaching and scientific approach, excellent knowledge of the subject inspired me to perform this work. During all stages of preparation work, he helped me hints, tips, and provided moral support.

Библиографические ссылки

1. Sung S. W., Lee J. Modeling and control of Wiener-type processes // Chemical Engineering Science. 2004. № 59. P. 1515–1521.
2. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / пер. с англ. Б. И. Копылова. М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
2. Keesman K. J. System identification. An introduction. London : Springer, 2011, 351 p.
4. Цыпкин Я. З. Основы информационной теории идентификации. М. : Наука, 1984. 320 с.
5. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 656 с.
6. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М. : Мир, 1975. 681 с.
7. Медведев А. В. Непараметрические алгоритмы идентификации нелинейных динамических систем // Стохастические системы управления. Новосибирск : Наука. 1979. С. 15–22.
8. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 4 (30). С. 4–9.
9. Надарая Э. А. Непараметрическое оценивание плотности вероятностей и кривой регрессии. Тбилиси : Изд-во Тбилис. ун-та, 1983. 194 с.
10. Медведев А. В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск : Наука, 1983. 173 с.

11. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Управление-I // Вестник СибГАУ. 2013. № 2(48). С. 57–63.
12. Попков Ю. С. Идентификация и оптимизация нелинейных стохастических систем. М. : Энергия, 1976. 440 с.
13. Чайка С. Н. К идентификации динамических систем при частично параметризованной структуре модели // Динамика систем: Управление и оптимизация. Горький : Изд-во Горьк. гос. ун-та, 1989.
14. Коплярова Н. В., Сергеева Н. А. Непараметрические алгоритмы идентификации систем класса Винера и Гаммерштейна // Системы управления и информационные технологии. 2013. Вып. № 2.1(52).
15. Коплярова Н. В., Сергеева Н. А. О непараметрических алгоритмах идентификации нелинейных динамических систем // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 5(51). С. 39–44.

References

1. Sung S. W., Lee J. Modeling and control of Wiener-type processes. Chemical Engineering Science, 2004, no. 59, P. 1515–1521.
2. Dorf R. C., Bishop R. H. *Sovremennye sistemy upravleniya. Per. s angl. B. I. Kopylova.* [Modern Control Systems. Per. from English. B. I. Kopylova]. Moscow, Laboratoriya bazovykh znaniy Publ., 2002, 832 p.
3. Keesman K. J. System identification. An introduction. London: Springer, 2011. 351 p.
4. Цыпкин Я. З. *Osnovy informatsionnoi teorii identifikatsii* [Fundamentals of the informational theory of identification]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 320 p.
5. Pupkov K. A., Egupov N. D. *Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniya. T1: Matematicheskie modeli, dinamicheskie kharakteristiki i analiz sistem upravleniya* [Methods of classical and modern control theory. T1: Mathematical models, dynamic characteristics and analysis of control systems]. Moscow, MGTU name. N. E. Bauman Publ., 2004, 656 p.
6. Eykhoff P. *Osnovy identifikatsii sistem upravleniya* [Identity-based control systems]. Moscow, Mir Publ., 1975, 681 p.
7. Medvedev A. V. [Nonparametric algorithms of nonlinear dynamical system identification]. *Stokhasticheskie sistemy upravleniya* [Stochastic control system]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, P. 15–22 (In Russ.).
8. Medvedev A. V. [Nonparametric systems theory. Modeling]. *Vestnic SibGAU*, 2010, no. 4 (30), z. 4–9 (In Russ.).
9. Nadaraya E. A. *Neparametricheskoe otsenivanie plotnosti veroyatnostei i krivoi regressii* [Nonparametric estimation of probability density function and regression curve]. Tbilissi, Tbilissi Univ. Publ., 1983, 194 p.
10. Medvedev A. V. *Neparametricheskie sistemi adaptatsii* [Nonparametric adaptation systems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, 173 p.
11. Medvedev A. V. [Nonparametric systems theory. Control]. *Vestnic SibGAU*, 2013, no. 2(48), p. 57–63 (In Russ.).

12. Popkov U. S. *Identifikatsiya i optimizatsiya nelineynykh stokhasticheskikh sistem* [Identification and optimization of nonlinear stochastic systems]. Moscow, Energy Publ., 1976, 440 p.

13. Chaika S. N. [To dynamical systems of Hammerstein class identification with partially parameterized model structure]. *Dinamika sistem: upravlenie i optimizatsiya* [System dynamics: Control and optimization]. Gorki, Gorki university Publ, 1989, P. 24–36 (In Russ.).

14. Kopyarova N. V., Sergeeva N. A. [Nonparametric algorithms for system identification of Wiener and Hammerstein class]. *Sistemy upravleniya i informatsionnie tekhnologii*, 2013, no. № 2.1 (52) (In Russ.).

15. Kopyarova N. V., Sergeeva N. A. [About the nonparametric algorithms of nonlinear dynamical processes identification]. *Vestnic SibGAU*, 2012, no. 5(51), p. 39–44 (In Russ.).

**МАТРИЦА ДОСТУПА КАК ПАССИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ**

И. З. Краснов

Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79
E-mail: bk_24@bk.ru

В условиях современного бизнеса роль эффективного управления на основе достоверной информации возрастает многократно. Ошибки менеджмента, основывающиеся на недостаточных или неверно интерпретированных данных, могут привести к краху даже крупные компании. Современная, сложная и динамичная рыночная среда требует от российских предприятий постоянного совершенствования своих систем управления и информационных систем их поддержки. Одним из основных направлений создания эффективной системы управления предприятием является применение процессного подхода к организации и управлению деятельностью. Наиболее мощным инструментом в руках менеджера становится информация. Эффективное управление невозможно без сбора информации и ее обработки различными методами. Методы получения информации многообразны и не являются предметом рассмотрения в данной работе. Гораздо больший интерес вызывают методы целевого распределения информации по адресатам, что и отражено в данной работе.

Рассматривается проблема управления доступом к информационным ресурсам организации. Формулируются цели системы управления доступом. Определяется взаимосвязь целей защиты информации и имеющихся угроз безопасности. Предлагается использовать матрицу доступа как пассивный элемент защиты информационных ресурсов. Формулируются задачи, которые необходимо решать в любой системе управления доступом. Ставится задача исключения избыточности при проведении мер защиты информационных ресурсов. Предлагается методика формирования матрицы доступа. Описывается процедура категорирования информации, выявления групп риска, формирования профилей доступа, закрепления прав доступа в регламентирующих документах организации.

Ключевые слова: матрица доступа, информационные ресурсы, защита информации, процессный подход.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 78–84**ACCESS MATRIX AS A PASSIVE ELEMENT
IN THE PROTECTION OF INFORMATION RESOURCES**

I. Z. Krasnov

Siberian Federal University
79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
E-mail: bk_24@bk.ru

In modern business environment the role of effective governance on the basis of reliable information increases many times is very important. Error management based on insufficient or incorrectly interpreted data, can lead to the collapse of even a large company. Modern, complex and dynamic market environment requires from Russian companies continuous improvement of their management systems and information systems support. One of the main directions of creation of effective system of enterprise management is the application of the process approach to organization and management. Information becomes the most powerful tool in the hands of the manager. Effective management is impossible without information gathering and processing by various methods. The methods of obtaining information are diverse and are not considered in this work. The methods of the targeted distribution of information on the recipients were much more interesting, which is reflected in this work.

In this work the author considers a problem of management of access to information resources of the enterprises. The purposes of a control system of access are formulated. Interrelation of the purposes of information security and available threats of safety is defined. It is suggested to use an access matrix as a passive element of protection of information resources. The tasks which need to be solved in any control system of access are formulates. A task of an exception of redundancy when carrying out measures of protection of information resources is set. A technique of formation of a matrix of access is offered. The procedure of categorization of information, identification of groups of risk, formation of profiles of access, fixing of access rights in regulating documents of the organization is described.

Keywords: matrix of access, information resources, information protection, process approach.

Введение. В современных условиях информатизации общества одним из решающих факторов, определяющих надежное функционирование и устойчивость деятельности организации, является информационная безопасность. Основная деятельность по обеспечению информационной безопасности организации концентрируется на защите информационных ресурсов с точки зрения человеческого ресурса, допущенного к основным активам.

Одним из основных условий формирования системы безопасности организации является четкое определение понятия информационной безопасности (ИБ), в которое входит управление и контроль доступом. Основой является категорирование корпоративной информации и разграничение прав доступа сотрудников организации. Очевидно, что информационная система должна изначально строиться исходя из требований по проведению категорирования и разграничения. Эта информация следует из анализа и «настройки» рабочих процессов. Бизнес-процессы в организации зачастую выстроены не самым оптимальным образом, вследствие чего через точку доступа в структуре организации смешиваются потоки разных уровней конфиденциальности. В результате этой ошибки в ИС возникает уязвимость, значительно снижающая эффективность системы защиты информации или требующая значительного увеличения расходов на безопасность.

Целью обеспечения информационной безопасности в организации является исключение или существенное уменьшение возможности нанесения ущерба субъектам, интересы которых затрагиваются при использовании объекта защиты, материального ущерба, морального или иного случайного или преднамеренного вреда, обеспечение условий соблюдения конфиденциальности коммерческой тайны, персональных данных, а также сохранения устойчивого функционирования ИС [1].

Процессный подход. Построение системы информационной безопасности начинается на уровне организации бизнес-процессов организации [2–4].

Одним из основных направлений создания эффективной системы управления предприятием является применение процессного подхода к организации и управлению деятельностью [5]. В настоящее время на российских предприятиях доминирует применение структурного подхода к организации и управлению финансово-хозяйственной деятельностью. Структурный подход основан на использовании различных типов организационной структуры предприятия, как правило, иерархической. В этом случае организация и управление деятельностью осуществляется по структурным элементам (бюро, отделам, департаментам, цехам и т. п.), а взаимодействие структурных элементов – через должностных лиц (начальников отделов, департаментов и цехов) и структурные подразделения более высокого уровня. Недостатками структурного подхода к организации и управлению деятельностью предприятия являются следующие:

- разбиение технологий выполнения работы на отдельные, как правило, не связанные между собой

фрагменты, которые выполняются различными структурными элементами организационной структуры;

- отсутствие цельного описания технологий выполнения работы; в лучшем случае существует только фрагментарная (на уровне структурных элементов), и то не совсем актуальная документируемость технологий;

- отсутствие ответственного за конечный результат и контроль над технологией в целом, а также ориентации на клиента (внешнего или внутреннего);

- отсутствие ориентации на внешнего клиента, а также внутренних потребителей промежуточных результатов деятельности;

- высокие накладные расходы, как правило, непонятно откуда появляющиеся;

- неэффективность информационной поддержки, обусловленная наличием «лоскутной» автоматизации деятельности отдельных структурных элементов и неудачными попытками внедрения корпоративных информационных систем.

Несколько по-иному обстоит дело при процессном подходе. Этот подход ориентирован, в первую очередь, не на организационную структуру предприятия, а на бизнес-процессы, конечными целями выполнения которых является создание продуктов или услуг, представляющих ценность для внешних или внутренних потребителей.

Процессный подход [5; 6] был разработан и применяется с целью создания горизонтальных связей в организациях. Подразделения и сотрудники, задействованные в одном процессе, могут самостоятельно координировать работу в рамках процесса и решать возникающие проблемы без участия вышестоящего руководства. Процессный подход к управлению позволяет более оперативно решать возникающие вопросы и воздействовать на результат.

В отличие от функционального подхода, управление процессами позволяет концентрироваться не на работе каждого из подразделений, а на результатах работы организации в целом. Процессный подход меняет понятие структуры организации. Основным элементом становится процесс. В соответствии с одним из принципов процессного подхода организация состоит не из подразделений, а из процессов.

Процессный подход основывается на нескольких принципах. Внедрение этих принципов позволяет значительно повысить эффективность работы, однако, вместе с тем требует и высокой корпоративной культуры [7; 8]. Переход от функционального управления к процессному требует от сотрудников постоянной совместной работы, несмотря на то, что они могут относиться к различным подразделениям.

Процессный подход предполагает наличие ключевых элементов, без которых он не может быть внедрен в организации. К таким ключевым элементам относятся:

- вход процесса;
- выход процесса;
- ресурсы;
- владелец процесса;
- потребители и поставщики процесса;
- показатели процесса.

Входами процесса являются элементы, претерпевающие изменения в ходе выполнения действий. В качестве входов процессный подход рассматривает материалы, оборудование, документацию, различную информацию, персонал, финансы и пр.

Выходами процесса являются ожидаемые результаты, ради которых предпринимаются действия. Выходом может быть как материальный продукт, так и различного рода услуги или информация.

Ресурсами являются элементы, необходимые для процесса. В отличие от входов, ресурсы не изменяются в процессе. Такими ресурсами процессный подход определяет оборудование, документацию, финансы, персонал, инфраструктуру, среду и пр.

Владелец процесса – процессный подход вводит это понятие как одно из самых главных. У каждого процесса должен быть свой владелец. Владелец является человеком, имеющий в своем распоряжении необходимое количество ресурсов и отвечающий за конечный результат (выход) процесса.

У каждого процесса должны быть *поставщики и потребители*. Поставщики обеспечивают входные элементы процесса, а потребители заинтересованы в получении выходных элементов. У процесса могут быть как внешние, так и внутренние поставщики и потребители. Если у процесса нет поставщиков, то процесс не будет выполнен. Если у процесса нет потребителей, то процесс не востребован.

Показатели процесса необходимы для получения информации о его работе и принятии соответствующих управленческих решений. *Показатели процесса* – это набор количественных или качественных параметров, характеризующих сам процесс и его результат (выход).

В процессе жизнедеятельности бизнес-системы за счет выполнения бизнес-процессов осуществляется достижение определенной совокупности целей. В общем случае она имеет иерархический вид (дерево

целей), и каждая цель имеет свой вес и критерий достижимости (количественный или качественный).

В свою очередь, бизнес-процессы реализуют *бизнес-функции* предприятия. Под бизнес-функцией понимают вид деятельности предприятия. Множество бизнес-функций представляет собой иерархическую декомпозицию функциональной деятельности предприятия. Таким образом, дерево функций представляет собой функциональное отражение реализации дерева целей предприятия. Бизнес-функции связаны с показателями деятельности предприятия, из которых также можно построить дерево показателей. Эти показатели затем образуют систему показателей оценки эффективности выполнения бизнес-процессов [9–12]. Как правило, владельцы бизнес-процессов контролируют свои бизнес-процессы с помощью данной системы показателей. Наиболее общими показателями оценки эффективности бизнес-процессов являются:

- количество производимой продукции заданного качества, оплаченное за определенный интервал времени;
- количество потребителей продукции;
- количество типовых операций, которые необходимо выполнить при производстве продукции за определенный интервал времени;
- стоимость издержек производства продукции;
- длительность выполнения типовых операций;
- капиталовложения в производство продукции.

Как правило, основу для классификации бизнес-процессов составляют четыре базовые категории:

- 1) основные бизнес-процессы;
- 2) обеспечивающие бизнес-процессы;
- 3) бизнес-процессы развития;
- 4) бизнес-процессы управления.

Управление доступом. Взаимосвязь целей обеспечения информационной безопасности (ИБ) организации и угроз безопасности при разработке, создании, развитии и эксплуатации ИС приведена на рисунке.



Взаимосвязь целей обеспечения ИБ и угроз безопасности

Главной целью любой системы управления доступом к информационным ресурсам является определение таких правил доступа к информации, чтобы каждому субъекту информационной системы соответствовал строго определенный информационный ресурс.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Определить критичные ресурсы (содержащие или обрабатывающие конфиденциальную информацию), используемые для выполнения бизнес-процесса организации.

2. Оценить сложившуюся в организации картину в отношении прав доступа пользователей к ресурсам в виде матрицы доступа.

3. Выявить избыточные права пользователей.

4. Построить результирующую матрицу доступа как на уровне бизнес-процессов, так и персонального доступа каждого сотрудника организации (включив ее в элемент политики информационной безопасности).

5. Создать профили доступа для менеджеров, специалистов и руководителей каждого подразделения.

6. Периодически осуществлять проверку пользователей на добросовестное использование вверенных им ресурсов организации (т. е. производить контроль результата, выявление и анализ отклонений, установление причин отклонений).

Для реализации этих этапов необходимо провести обследование (аудит) системы доступа к ресурсам на соответствие требованиям стандарта безопасности [13].

Использование матрицы установления полномочий подразумевает применение матрицы доступа (таблицы полномочий). В указанной матрице (табл. 1) строками являются идентификаторы субъектов, имеющих доступ в информационной системе, а столбцами – объекты (информационные ресурсы). Каждый элемент матрицы может содержать имя и размер предоставляемого ресурса, право доступа (чтение, запись и др.), ссылку на другую информационную структуру, уточняющую права доступа, ссылку на программу, управляющую правами доступа, и др.

Таблица 1

Фрагмент матрицы установления полномочий*

Субъект	Каталог d:\Heap	Программа prty	Принтер
Пользователь 1	cdrw	e	w
Пользователь 2	r		w с 9:00 до 17:00

*с – создание, d – удаление, r – чтение, w – запись, e – выполнение.

Для оценки состояния системы доступа к ресурсам организации проводится внутренний аудит. В границах проведения аудита проводится обследование распределения доступа к информационным и программным ресурсам между сотрудниками организации. Задачами такого обследования является:

- оценка соответствия системы распределения доступа к ресурсам, существующим стандартам в области информационной безопасности;

- анализ рисков, связанных с возможностью осуществления угроз безопасности в отношении ресурсов ИС;

- разработка организационно-распорядительных документов по защите информации в установленных границах обследования;

- постановка задач для ИТ-персонала, касающихся обеспечения защиты информации в установленной области;

- участие в обучении пользователей и обслуживающего ИС персонала вопросам обеспечения информационной безопасности;

- итоговая оценка соответствия системы распределения доступа к ресурсам выбранному стандарту в области ИБ после внедрения предложений по повышению ИБ.

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 [13], в первую очередь, организация должна определить подход к оценке рисков. В данной работе автор решил ограничиться качественным подходом к оценке рисков, так как численный ущерб от реализации той или иной угрозы и вероятность реализации самой угрозы (количественный подход) должна оценивать специальная экспертная комиссия.

Во-вторых, предприятие должно идентифицировать и оценить риски (табл. 2), что означает необходимость [12–14]:

- идентифицировать активы и владельцев этих активов;

- идентифицировать угрозы этим активам;

- идентифицировать последствия реализации угроз в результате возможной утраты конфиденциальности, целостности, доступности информации;

- оценить риски;

- определить, являются ли риски приемлемыми или требуют обработки.

Таблица 2

Возможные риски

Угроза ресурсам	Последствия реализации угрозы	Возможный ущерб	Вариант обработки риска
Использование полномочий авторизованного пользователя	Нарушение конфиденциальности и целостности информации	Высокий	Избегаем риск
Несанкционированное чтение, копирование информации	Нарушение конфиденциальности путем прямого получения конфиденциальной информации	Высокий	Избегаем риск
Подключение съемных носителей информации	Утечка конфиденциальной информации, привнесение компьютерных вирусов, вредоносного ПО	Высокий	Избегаем риск

Окончание табл. 2

Угроза ресурсам	Последствия реализации угрозы	Возможный ущерб	Вариант обработки риска
Внедрение дезинформации	Нарушение целостности и доступности баз данных и информационных ресурсов	Высокий	Снижаем риск
Несанкционированное изменение полномочий	Нарушение конфиденциальности и целостности путем превышения полномочий авторизованных пользователей по чтению и изменению информации	Высокий	Снижаем риск
Перехват управления ИС	Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности путем уничтожения, модификации информации, перегрузки системных ресурсов, нарушения нормальной работы	Высокий	Снижаем риск

Таблица 3

Категории защищаемой информации организации

№ п/п	Категория	Сокращение	Определение
1	Конфиденциальная информация	КИ	Информация, представляющая ценность для организации, доступ к которой ограничивается на законном основании, а также на основе локальных нормативных актов организации. Виды конфиденциальной информации: персональные данные, служебная тайна, коммерческая тайна полезной модели или промышленного образца
2	Информация для внутреннего использования	ВИ	Вся внутренняя информация, циркулирующая в сети, потеря которой не влечет серьезных последствий для ее деятельности. Информация, которая не может быть отнесена к конфиденциальной на основе законодательства, но доступ к которой должен быть ограничен
3	Общедоступная информация	ОД	Информация, доступ к которой нельзя ограничивать в соответствии с законодательством, и информация, предоставляемая для свободного распространения

Для разграничения прав доступа между подразделениями / сотрудниками, в первую очередь, необходимо изучить их функционал. На основе интервью с руководителями подразделений составляется таблица, состоящая из двух полей:

- отдел–должность;
- функционал.

Описание исследуемых ресурсов. Для разграничения доступа к информации должно проводиться её категорирование (классификация). Цель категорирования состоит в обеспечении уверенности в том, что информация защищена на надлежащем уровне. Категории доступа (уровни конфиденциальности приведены в табл. 3) и связанные с ними меры защиты для корпоративной информации должны учитывать необходимость в коллективном использовании информации или ограничении доступа к ней, а также ущерб для предприятия, связанный с несанкционированным доступом или повреждением информации.

Ответственность за присвоение категории доступа конкретному виду информации, например, документу, файлу данных или носителю, а также за периодическую проверку этой категории возлагается на владельца информации.

Описание активов дает уверенность в том, что обеспечивается их эффективная защита, оно может также потребоваться для целей обеспечения безопасности труда, страхования или решения финансовых вопросов (управление активами). Организация должна идентифицировать свои активы с учетом их относи-

тельной ценности и важности. Основываясь на этой информации, можно обеспечивать заданные уровни защиты, соответствующие ценности и важности активов. Каждый актив должен быть четко идентифицирован и классифицирован с точки зрения безопасности а его владельцы должны быть определены. Стандарт Р ИСО/МЭК 27002:2005 «Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Практические правила управления информационной безопасностью» выделяет следующие виды активов:

- информационные активы;
- активы программного обеспечения;
- физические активы;
- услуги (человеческий капитал).

Инвентаризация заключается в составлении перечня ценных активов организации. Как правило, данный процесс выполняют владельцы активов. Понятие «владелец» определяет лиц или стороны, которые имеют утвержденные руководством обязанности по управлению созданием, разработкой, поддержанием, использованием и защитой активов.

Для создания матрицы по существующим правам доступа проведено исследование с использованием Active Directory, где созданы группы по доступу к конкретным папкам (с указанием права доступа), программам, Интернету, почте. Среди членов этих групп выделены сотрудники организации, и каждому определены свои права доступа в составе отдела.

Уровней доступа к информационному ресурсу может быть два: чтение – только просмотр содержимого ресурса без возможности внесения изменений

и удаления, модификация – возможность редактирования, удаления ресурса.

Следует понимать, что в каждом подразделении кроме руководителя есть сотрудники с разными уровнями доступа. Поэтому такая матрица на самом деле должна представлять собой трехмерный объект, где в глубину раскрываются права конечных пользователей отдела.

На пересечении строки и столбца отражено, имеет ли хоть кто-либо из данного подразделения право на доступ к данному ресурсу:

« » – нет доступа;

«г» – доступ только на чтение;

«м» – модификация.

Из построенных матриц доступа выявляются следующие группы риска:

– группы сотрудников совместно используют ресурс для общих целей;

– многочисленные права доступа к ресурсам всего одного-двух сотрудников, что ставит необходимость такого доступа под вопрос.

Выявляются логические несоответствия функционала подразделений и назначения ресурса. Определяется наличие избыточных прав, повышающее вероятность возникновения каналов утечки по вине сотрудников.

Для построения итоговых матриц доступа проводится работа с руководителями отделов. Являясь владельцами ресурсов, они имеют полное представление о необходимости ресурса сотруднику для выполнения им должностных обязанностей.

Разница между начальными и итоговыми матрицами составляет избыточные права, а именно, оказались ненужными права доступа к ресурсам.

Наличие избыточных прав повышает риск утечки конфиденциальной информации. Профили доступа ставят в соответствие каждой должности минимальный набор прав, который необходим сотруднику для выполнения служебных обязанностей. Профиль доступа приведен в табл. 4.

Достоинства профилей доступа:

– исключается удовлетворение непродуманных запросов прав «впрок», «на всякий случай»;

– увеличивается оперативность рассмотрения заявок на предоставление прав отделом информатизации;

– упрощается процедура согласования прав доступа отделом ИБ;

– оптимизируется задача руководителей отделов приема сотрудника на работу продумывать доступ к ресурсам. В результате сокращается вероятность вынужденных простоев сотрудников и финансовых потерь в ожидании предоставления прав.

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002:2005 требования по обеспечению контроля в отношении логического доступа необходимо документально оформлять. Главная цель закрепленных в них организационных и технических мер ИБ – не только регламентировать действия пользователей, но и установить ответственность за нарушения правил ИБ.

После утверждения правил разграничения доступа политикой информационной безопасности и закрепления ответственности, внедряются регламенты деятельности в соответствии с условиями, определяемыми матрицей доступа.

Заключение. Разработанная методика управления доступом была внедрена на ряде реальных объектов информатизации региона и позволила снизить риски информационной безопасности.

Таблица 4

Профиль доступа

Ресурс	Право на чтение / модификацию
Главный бухгалтер	
G:\out_buh\Common	m
G:\out_buh\Audit	m
Ресурс	Право на чтение/модификацию
G:\Sap	r
G:\Katalog\dogovora	m
1С Бухгалтерия «Аутсорс-Бухгалтерия»	–
Внешняя почта	–
Зам. ген. директора	
G:\IT\Audit	m
G:\out_buh\Common	m
G:\KT\Buh	m
G:\Sap	r

Библиографические ссылки

1. Обеспечение информационной безопасности бизнеса / В. В. Андрианов [и др.]; под ред. А. П. Курило. М. : Альпина Паблшер, 2011. 392 с.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9001:2008. Системы менеджмента качества. Требования. М. : Стандартинформ, 2009.
3. Александров С. Л. Процессы организаций при выполнении требований ГОСТ Р ИСО 9001 // Методы менеджмента качества. 2009. № 1. С. 340.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17799:2005. Практические правила управления информационной безопасностью. М. : Стандартинформ, 2006.
5. Менеджмент процессов / пер. с нем. под ред. Й. Беккера, [и др.]. М. : Эксмо, 2007. 384 с.
6. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / пер. с англ. Б. Андерсен. М. : РИА «Стандарты и качество», 2004. 272 с.
7. Кондратьев В. В., Кузнецов М. Н. Показываем бизнес-процессы (на спирали). М. : Эксмо, 2008. 480 с.
8. Новиков М. В. Моделирование бизнес-процессов управления. [Электронный ресурс] URL: <http://www.intalev.ru>.
9. Чертовской В. Д., Брусакова И. А. Информационные системы и технологии в экономике. М. : Финансы и статистика, 2007. 364 с.
10. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования / пер. с англ. Б. Андерсен; под ред. Ю. П. Адлер. М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. 272 с.
11. Евдокименко Е. Бизнес-процессы, процессное управление и эффективность [Электронный ресурс] URL: <http://www.finansy.ru/publ/mend/009.htm>.
12. Балдин К. В. Риск-менеджмент : учеб. пособие. М. : Эксмо, 2006. 368 с.
13. Ковалев А. И. Составные и динамические процессы менеджмента // Стандарты и качество. 2010. № 2. С. 72–73.
14. Астахов А. М. Искусство управления информационными рисками. М. : ДМК Пресс, 2010. 312 с.
15. Репин В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. 512 с.

References

1. Andrianov V. V., Marshmallows S. L., Golovanov V. B., Golduev N.A., Kurylo A. P. *Obespechenie informatsionnoy bezopasnosti biznesa* [Providing business information security]. Moscow, Alpina Publisher, 2011, 392 p.

2. *GOST R ISO/MEK 9001:2008. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya*. [State Standart 9001:2008 Quality management systems – Requirements (IDT)]. Moscow, Standartinform Publ., 2009.
3. Aleksandrov S. L. *Protsessy organizatsiy pri vypolnenii trebovaniy GOST R ISO 9001* [Organizations process in the executions requirements ISO 9001:2008]. *Metody menedzhmenta kachestva*. 2009, no. 1, p. 340 (In Russ.).
4. *GOST R ISO/MEK 17799:2005. Prakticheskie pravila upravleniya informatsionnoy bezopasnost'yu*. [ISO 17799:2005. Code of practice for information security management]. Moscow, Standartinform Publ., 2006.
5. Becker Th. et al. *Menedzhment protsessov Per. s nem.* [Management processes. Per. with German]. Moscow, Eksmo Publ., 2007, p 384.
6. Andersen B. *Biznes-protssy. Instrumenty sovershenstvo-vaniya Per. s angl.* [The business processes. Tools improvement. Per. from English]. Moscow, RIA “Standarty i kachestvo” Publ., 2004, 272 p.
7. Kondratyev V. V., Kuznetsov M. N. *Pokazyvaem biznes-protssy (na spirali)*. [Show business processes (spiral)]. Moscow, Eksmo Publ., 2008, 480 p.
8. Novikov M. C. *Modelirovanie biznes-protssov upravleniya*. [Modeling the business process management]. Available at: <http://www.intalev.ru>.
9. Chertovskoy V. D., Brusakova I. A. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii v ekonomike*. [Information systems and technologies in Economics]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2007, p. 364.
10. Andersen B. *The business-processes. Instrumenty sovershenstvo-vaniya Per. s angl.* [The business processes. Tools improvement. Per. from English]. Moscow, RIA “Standarty i kachestvo” Publ., 2003, 272.
11. Evdokimenko E. *Biznes-protssy, protssnoe upravlenie i effektivnost'* [Business processes, process management and efficiency]. Available at: <http://www.finansy.ru/publ/mend/009.htm>.
12. Baldin K. V. *Risk-menedzhment* [Risk management]. Moscow, Eksmo Publ., 2006, 368 p.
13. Kovalev A. I. [Composite and dynamic processes management]. *Standarty i kachestvo*. 2010, no. 2, p. 72–73 (In Russ.).
14. Astakhov A. M. *Iskusstvo upravleniya informatsionnymi riskami*. [The art of managing information risk]. Moscow, DMK Press Publ., 2010, 312 p.
15. Repin V. *Biznes-protssy. Modelirovanie, vnedrenie, upravlenie*. [Business Processes. Modeling, implementation, management]. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber Publ., 2013, 512 p.

**ГИБРИДНЫЙ ЭВОЛЮЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ФОРМИРОВАНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ**Л. В. Липинский¹, Т. В. Кушнарева¹, Е. В. Дябкин², Е. А. Попов¹¹Сибирский государственный аэрокосмический университет
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: LipinskiyL@mail.ru, rare-avis@mail.ru, epopov@bmail.ru²Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого
Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1
E-mail: dyabkyn@mail.ru

Рассматриваются вопросы, связанные с построением и обучением деревьев принятия решения. Разбираются проблемы переобучения деревьев принятия решения и их способности к обобщению. Обсуждаются проблемы локальных поисковых процедур для настройки деревьев принятия решения. Предлагается эволюционный подход к автоматизированному формированию деревьев принятия решения на основе гибридизации алгоритма генетического программирования и генетического алгоритма. Алгоритм генетического программирования решает задачу структурного поиска в пространстве деревьев принятия решения. Объектом поиска для генетического программирования служит взаимное расположение функциональных узлов в дереве принятия решения (структура). Структура дерева выстраивается из элементов терминального и функционального множеств. В качестве элементов функционального множества выбираются возможные условия, которые ограничивают одну из входных переменных и разбивают исходную совокупность на группы. В качестве элементов терминального множества выбираются возможные решения, которые принимаются в рамках рассматриваемой задачи. Генетический алгоритм решает задачу параметрической оптимизации. Каждое условие в дереве имеет один или несколько числовых параметров. Эти параметры кодируются в бинарную строку и осуществляется поиск в направлении уменьшения ошибки дерева принятия решения на обучающей выборке. Приводится совместная схема работы генетического программирования и генетического алгоритма. Рассматриваются основные эволюционные операторы. Предложенный подход был реализован в виде программной системы, позволяющей получать бинарные деревья принятия решения с узлами, содержащими не более одного параметра. Приводятся рабочие окна программы. С помощью программной системы решена задача о диагностике степени тяжести повреждений органов брюшной полости при перитоните. Показано, что эволюционный алгоритм, построенный на основе гибридизации алгоритма генетического программирования и генетического алгоритма, позволяет получать деревья принятия решения с высоким свойством обобщения, использующие в 4 раза меньше информации в сравнении с теми данными, которые фиксируются при анамнезе пациента.

Ключевые слова: генетический алгоритм, генетическое программирование, деревья принятия решений.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 85–92**HYBRID EVOLUTIONARY ALGORITHM
FOR AUTOMATED DESIGN OF DECISION TREES**L. V. Lipinskiy¹, T. V. Kushnareva¹, E. V. Dyabkin², E. A. Popov¹¹ Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: LipinskiyL@mail.ru, rare-avis@mail.ru, epopov@bmail.ru² Krasnoyarsk State Medical University
47, Partizana Zheleznyaka Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
E-mail: dyabkyn@mail.ru

Issues related to the design and training of decision trees, are considered in the paper. Problems of decision trees over-fitting are discussed as well as their ability to the generalization. Questions of local search procedures for the adjustment of decision trees are described. An evolutionary approach to the automated design of decision trees is suggested based on a hybridization of the genetic programming and genetic algorithm. Genetic programming fulfills the search of effective structures in the space of decision trees. Genetic programming is searching for effective variant of decision trees functional nodes position and interconnections, i.e. a structure. The tree structure is built with elements of terminal and functional sets of genetic programming. Elements of the functional set are conditions which limited one

of input variables and divided original data set into subgroups. Elements of the terminal set are possible decisions which should be made within solving a problem in hand. Genetic algorithm solves the problem of parameters optimization. Each condition within a decision tree has one or more parameters which are coded into binary string. Genetic algorithm seeks parameters which minimize an error of the decision tree on the instances of the training sample. In the article, the framework of the joint execution of genetic programming and genetic algorithm is given and main evolutionary operators are considered. Suggested approach was implemented as a computing system that allows designing binary decision trees with one parameter nodes. Operation windows of the implemented computing system are presented. The problem of diagnosing the severity of injuries of the abdominal cavity with peritonitis has been solved with the use of developed approach. It was demonstrated that the evolutionary techniques based on the hybridization of the genetic programming and the genetic algorithm allow automated designing decision trees with the high ability to generalization which use four times less information comparing to data usually collected in a patient anamnesis.

Keywords: genetic programming, genetic algorithm, decision trees, design automation, medical diagnosis.

Введение. Деревья принятия решения (ДПР) широко и успешно применяются в практике интеллектуального анализа данных, представлении знаний и принятии решения [1–3]. По своей форме ДПР близки к формальному рассуждению эксперта и интуитивно понятны пользователю (специалисту предметной области). ДПР представляют собой направленный граф. Конечные вершины графа (терминальные), т. е. вершины, не имеющие исходящих дуг, представляют собой выводы (альтернативы выбора). Промежуточные вершины графа (функциональные), т. е. вершины, имеющие исходящие дуги, представляют собой условия перехода. Эти условия определяют, по какой дуге графа осуществляется переход (рис. 1).

Процесс принятия решения начинается с некоторой исходной функциональной вершины. В соответствии с условиями перехода осуществляется проход графа до некоторой терминальной вершины, которая и содержит в себе ответ на исходный вопрос (рис. 2).

Для того, что бы ДПР имело смысл и могло быть применено на практике, его необходимо обучить. Обучение заключается в выборе и структуризации вершин, а также в настройке числовых параметров условий. Исследователю необходимо выбрать структуру дерева и настроить его параметры. Большинство подходов настройки являются локальными и руководствуются принципом «разделяй и властвуй». Выбирается некоторое исходное условие, которое всю совокупность входных объектов делит на две или более групп. Если для этих групп невозможно выполнить вывод, они, в свою очередь, делятся на подгруппы. Это деление выполняется до тех пор, пока каждой группе входных объектов, образованной условиями функциональных вершин, не будет сопоставлен некоторый выход. Сложность обучения связана с необходимостью обеспечить компромисс между точностью решения и обобщенностью получаемых правил.

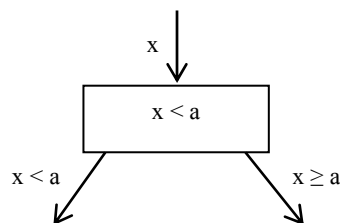


Рис. 1. Функциональный узел ДПР:
x – входящая переменная; a – параметр узла

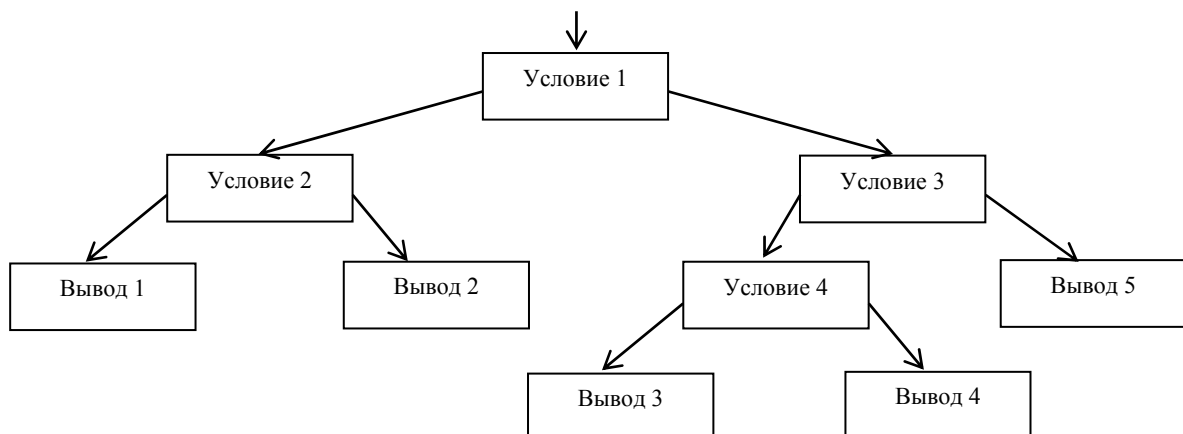


Рис. 2. Дерево принятия решения

Пусть мы получили абсолютно точное дерево, где каждому объекту соответствует своя группа и в котором все исходные объекты делятся на группы, каждой группе сопоставлен выход. В этом случае ДПР

«запомнило» обучающую выборку и не может быть применено к «неизвестным» объектам. Такое дерево равносильно самой выборке и не несет нового знания. Свойством обобщения называют свойство модели принимать правильные решения на тех данных, на которых не выполнялось обучение. Например, таким свойством обладают нейронные сети [4–6]. Модель не «запоминает» исходные данные, а отражает принципиальные зависимости между входами и выходами. В этом случае допускаются не абсолютно правильные решения, а близкие к правильным, достаточно близкие к правильным, хорошие решения. Компромисс между точностью и обобщенностью – это в том числе и компромисс, связанный с глубиной дерева. Относительно короткие деревья могут давать неточные, но хорошие решения. Деревья с большой глубиной скорее запоминают выборку, чем отражают природные зависимости между входами и выходами.

Локальные подходы к обучению ДПР нередко приводят к деревьям с большой глубиной и низким свойством обобщения. Неудачный выбор начальных условий приводит к необходимости увеличивать глубину дерева. Повысить эффективность поиска деревьев с высоким свойством обобщения может применение алгоритма генетического программирования (ГП) [7–9].

Генетическое программирование. ГП – это эволюционный метод поиска в пространстве иерархических структур. В отличие от генетического алгоритма (ГА) ГП оперирует иерархическими деревьями, что позволяет успешно настраивать сложные структурные объекты [10–12].

Для применения ГП необходимо решить две основные задачи: представить объекты поиска в виде иерархических деревьев и формализовать процедуру их оценки. В нашем случае первая задача решается достаточно легко. ДПР по своей природе являются иерархическими древовидными структурами и могут быть применены в ГП в исходном виде. Для решения второй задачи воспользуемся следующей формулой:

$$\text{fitness} = \frac{1}{1 + E + \alpha \cdot n}, \quad (1)$$

где fitness – оценка качества ДПР; E – ошибка ДПР, вычисляемая по формуле (2); α – коэффициент штрафа, накладываемого на глубину дерева; n – величина, отражающая глубину или объем дерева. В качестве n удобно выбирать либо количество вершин в дереве, либо саму глубину дерева:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i(X_i, K) - Y_i^*)^2 \xrightarrow{K} \text{opt}, \quad (2)$$

где Y_i^* – реальный i -й выход задачи, соответствующий i -му входу X_i ; K – набор числовых коэффициентов, используемых в дереве принятия решения; $Y_i(X_i, K)$ – выход, полученный по дереву решений для K и X_i ; N – объем выборки.

Общий алгоритм работы ГП представлен на схеме (рис. 3).

Рассмотрим этапы алгоритма подробнее.

Инициализация. Здесь происходит создание стартовой популяции. Популяция состоит из индивидов, каждый из которых представляет собой некоторое ДПР. Для создания начальных индивидов необходимо определить функциональное и терминальное множества. Функциональное множество – это множество тех условий, которые могут быть включены в ДПР. Терминальное множество – это множество выходов (решений, альтернатив). На этапе инициализации деревья формируются случайным выбором вершин из терминального и функционального множеств.

Оценка. На этапе оценивания вычисляют пригодность. Пригодность – это количественная оценка того, насколько хорошо ДПР справляется со своей задачей. Исходная выборка разделяется на входы и выходы, входы подаются на ДПР, а вычисленные выходы дерева, т. е. результаты работы ДПР, подставляются в (1) для определения пригодности (fitness) для каждого индивида.

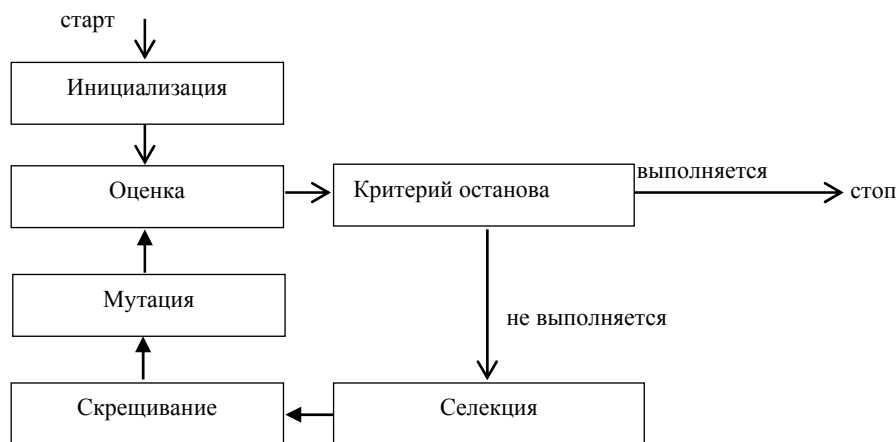


Рис. 3. Общая схема алгоритма работы ГП

Селекция. На этапе селекции отбираются родительские пары, которые будут использованы при

скрещивании для порождения потомков, т. е. следующего поколения деревьев решений. Селекция оп-

ределяет направление поиска. Для того, чтобы поиск имел направленность, индивиды с большей пригодностью должны отбираться для скрещивания с большей вероятностью. Наиболее распространенные виды селекции – пропорциональная, ранговая, турнирная. При пропорциональной селекции вероятность скрещивания индивида пропорциональна его пригодности. При ранговой селекции вероятность скрещивания индивида пропорциональна его рангу. Например, если отсортировать индивидов по возрастанию пригодности, то рангом может быть порядковый номер индивида. При турнирной селекции отбирается индивид – победитель турнира. Случайным образом из популяции отбирается группа индивидов для турнира. Победителем турнира считается индивид с наибольшей пригодностью в группе.

Скрещивание. На этапе скрещивания родительские пары обмениваются генетическим материалом, в результате чего возникают потомки. Родительская пара образует пару потомков. Один из этих потомков (лучший по пригодности или отобранный случайным образом) передается в следующую популяцию. Скрещивание может быть одноточечным или стандартным. При стандартном скрещивании точка разрыва выбирается случайным образом у одного и другого родителя (рис. 4), при одноточечном скрещивании точка разрыва определяется общая для обоих родителей (рис. 5).

Мутация. На этапе мутации происходят случайные изменения в дереве с достаточно малой вероятностью. Функциональная вершина заменяется на случайно выбранную функциональную вершину, а терминальная вершина – на терминальную.

Вычисление критерия останова. Критерий останова определяет, в какой момент необходимо остановить алгоритм. Как правило, критерием останова является ограничение на вычислительный ресурс: количество вычисления целевой функции, количество итераций, время работы алгоритма и т. д. Результатом работы алгоритма является ДПР с наибольшей пригодностью.

Подробнее об эволюционных операторах можно узнать в [13–15].

Гибридный эволюционный алгоритм автоматизированного проектирования ДПР. При использовании генетического программирования для выбора эффективной структуры дерева принятия решений возникает необходимость оптимального выбора числовых параметров в функциональных узлах дерева. Для решения этого вопроса в общую схему метода включается генетический алгоритм оптимизации, настраивающий числовые параметры в функциональных узлах. Совместная работа алгоритмов показана на рис. 6.

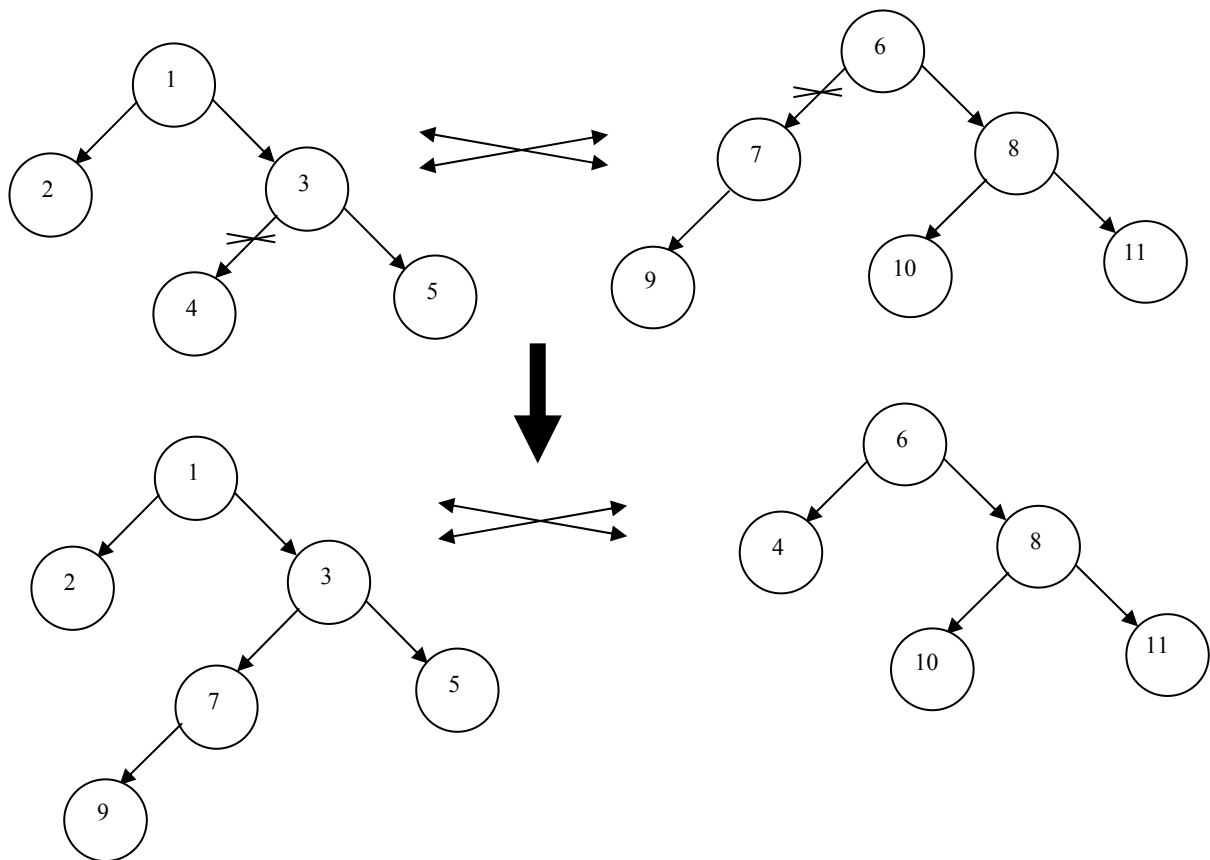


Рис. 4. Стандартное скрещивание

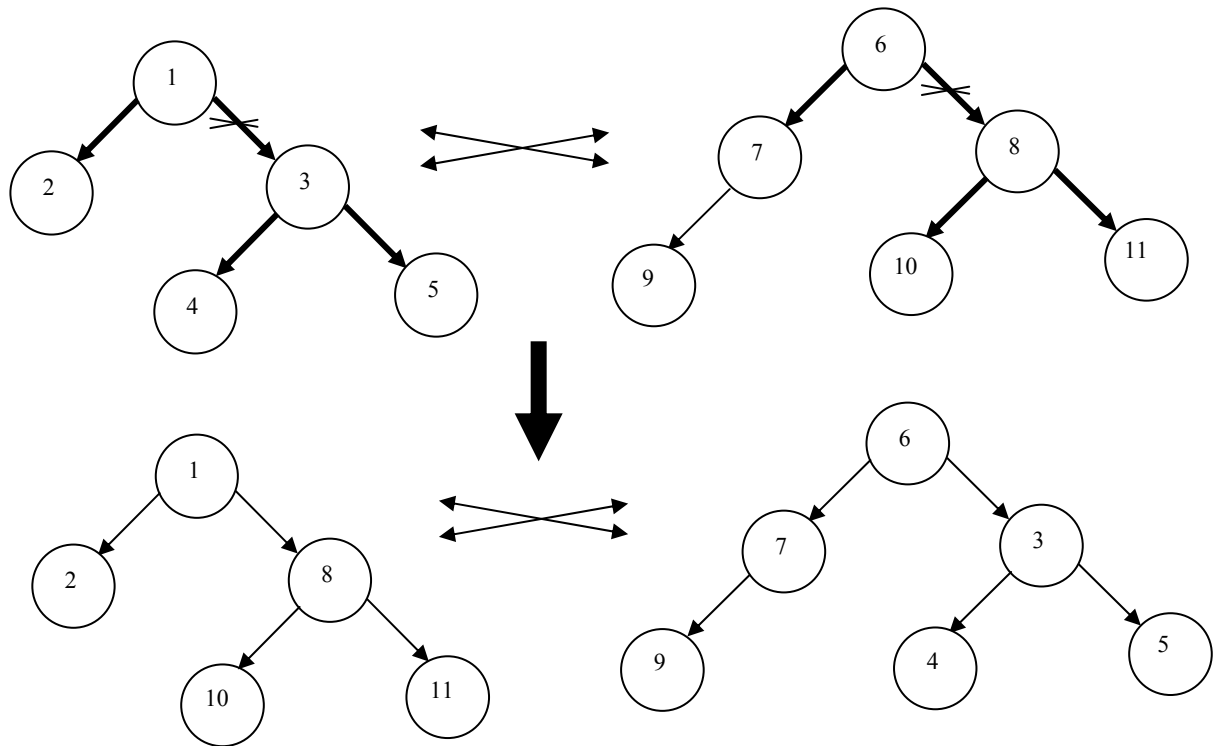


Рис. 5. Одноточечное скрещивание

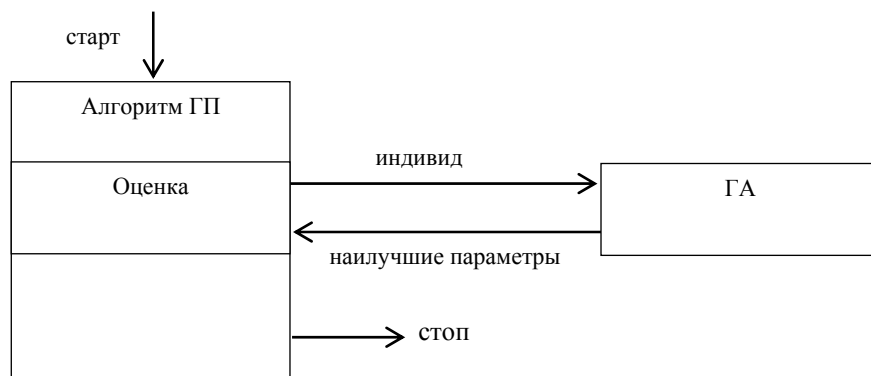


Рис. 6. Общая схема работы гибридного эволюционного алгоритма автоматизированного формирования ДПР

Описанный гибридный алгоритм был реализован в виде программной системы, рабочие окна которой представлены на рис. 7 и 8.

Решение задачи медицинской диагностики. После оценки работоспособности гибридного алгоритма на репрезентативном множестве тестовых задач было проведено исследование предложенного подхода на практической задаче диагностики степени тяжести поражения органов брюшной полости при перитоните. Для решения этой задачи была построена выборка, содержащая сведения о более чем ста пациентах. Для каждого пациента в выборке были определены следующие параметры.

Входные: 11 признаков гематологических интегральных показателей (ГИП), итоговая сумма баллов по показателям индекса брюшной полости, 1 признак – распределение по МПИ (мангеймский перитонеальный

индекс) и 1 признак – итог по индексу брюшной полости.

Выходные: итоговая оценка степени тяжести, выполненная экспертом. Итоговая оценка содержит три градации: 1 степень, 2 степень и 3 степень, где 3 степень означает самые тяжелые повреждения.

Алгоритму были предоставлены достаточные вычислительные ресурсы. Для ГП: 10 индивидов, 10 поколений, максимальная глубина дерева 6, селекция турнирная, размер турнира 3, метод роста неполный, скрещивание одноточечное, мутация средняя. Для ГА: 10 индивидов, 10 поколений, селекция турнирная, размер турнира 3, средняя мутация, одноточечное скрещивание, точность поиска 0,01. Усредненные по 10 прогонам результаты работы алгоритма на тестовой и обучающей выборках представлены в табл. 1 и 2 соответственно. Пример дерева принятия решения представлен на рис. 9.

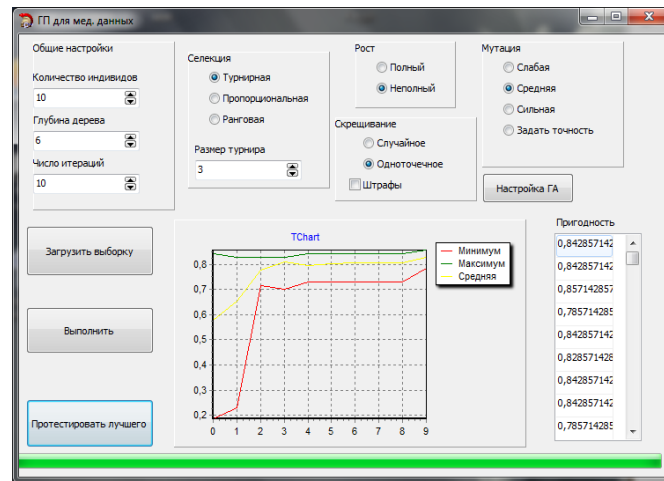


Рис. 7. Рабочее окно программной системы (ГП для медицинских данных)

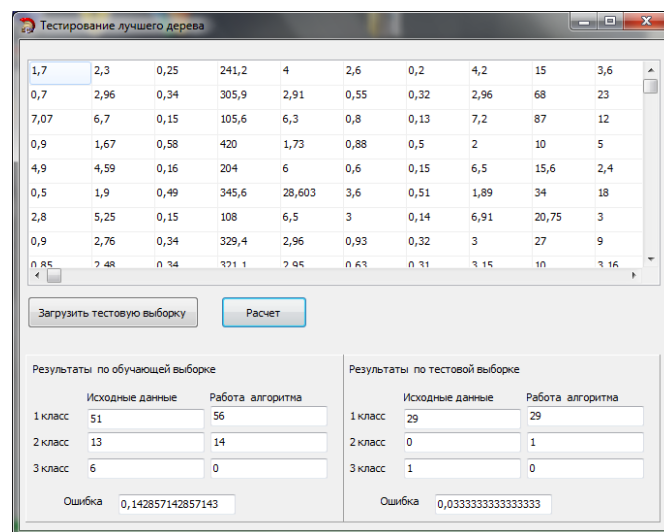


Рис. 8. Рабочее окно программной системы (тестирование лучшего дерева)

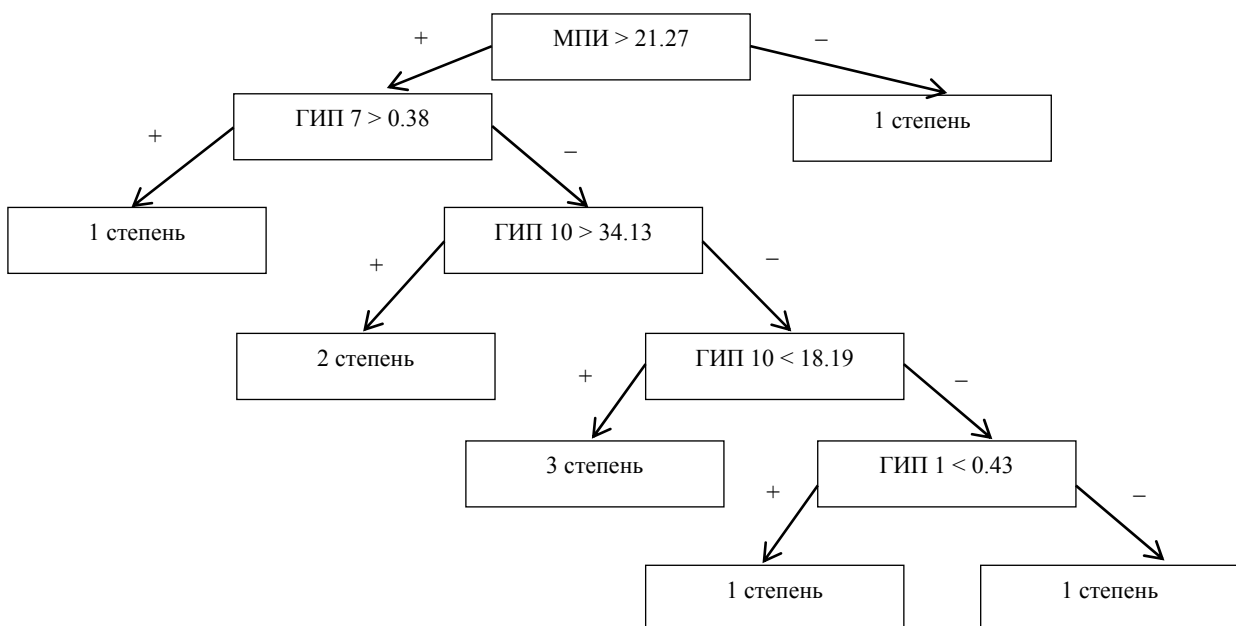


Рис. 9. Итоговое ДПР

Таблица 1

Результаты работы алгоритма на тестовой выборке, усредненные по 10 прогонам

	Исходные данные	Определено верно	Определено ошибочно
Степень тяжести 1	29	29	0
Степень тяжести 2	0	0	1
Степень тяжести 3	1	0	0

Таблица 2

Результаты работы алгоритма на обучающей выборке, усредненные по 10 прогонам

	Исходные данные	Определено верно	Определено ошибочно
Степень тяжести 1	51	51	5
Степень тяжести 2	13	13	1
Степень тяжести 3	6	0	0

Заключение. Анализ полученного дерева может быть произведен медицинским работником, не являющимся специалистом в интеллектуальных информационных технологиях. Например, нетрудно видеть, что из 13 исходных входов для принятия решения по полученному дереву необходимы только 4. Более того, на самом деле нужны только три из них, так как при любом значении ГИП 1 решение принимается одно и то же. То есть получаемые деревья решений строят существенно обобщенные решения, так как теперь для диагностирования требуется в четыре раза меньше информации, чем собирается по принятой в медицине практике. Можно видеть также, что для надежного диагностирования третьей степени заболевания необходимо собрать дополнительные данные, так как имеющихся примеров недостаточно для построения обобщенных правил диагностирования этой степени заболевания. Полученные данные представляют конкретный практический интерес для медицинских работников, помогают выявлять полезные закономерности и существенно повысить эффективность диагностики, а также создать системы поддержки принятия решения при диагностировании степени тяжести повреждений органов брюшной полости при перитоните.

Дальнейшее развитие подхода будет направлено на более полную автоматизацию проектирования деревьев решений путем исключения необходимости интуитивного выбора настроек используемых эволюционных алгоритмов за счет применения их самоконфигурирования [16; 17], так как это направление уже продемонстрировало свою эффективность в решении аналогичных прикладных задач [18]. В настоящий момент такой выбор настроек делается специалистом в области эволюционных вычислений и не может осуществляться конечным пользователем системы.

Библиографические ссылки

1. Quinlan J. Ross. Programs for Machine learning // Morgan Kaufmann Publishers. 1993. P. 302.
2. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining : учеб. пособие / А. А. Барсегян [и др.]. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 336 с. : ил.

3. Russel S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd Edition. Pearson Education Limited, 2009. 1099 p.

4. Haykin S. Neural networks, a comprehensive foundation. N. Y. : Macmillan College Publishing Company. 1994.

5. Короткий С. Современные микропроцессоры // Нейронные сети: алгоритм обратного распространения : сб. ст. / сост. В. В. Корнеев, А. В. Киселев. 2-е изд. М., 2000.

6. Короткий С. Современные микропроцессоры // Нейронные сети: основные положения : сб. ст. / сост. В. В. Корнеев, А. В. Киселев. 2-е изд. М., 2000.

7. Семенкин Е. С., Липинский Л. В. О коэволюционном генетическом алгоритме автоматизированного проектирования системы управления на нечеткой логике // Автоматизация и современные технологии. 2006. № 11.

8. Семенкин Е. С. Липинский Л. В. Применение алгоритма генетического программирования в задачах автоматизации проектирования интеллектуальных информационных технологий // Вестник СибГАУ. 2006. Вып. 3(10).

9. Семенкин Е. С. Липинский Л. В. Структурная адаптация нейронной сети методом генетического программирования // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности : сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2006.

10. О генетическом программировании [Электронный ресурс]. URL: <http://www.genetic-programming.com> (дата обращения: 17.01.2015).

11. Koza J. R. Genetic programming tutorial. Morgan Kaufmann Publishers, 1994.

12. Wright A. Genetic algorithms for real parameter optimization // Foundations of Genetic Algorithms. San Mateo, CA : Morgan Kaufmann, 1991. Pp. 205–218.

13. Poli Riccardo. Exact Schema Theory for Genetic Programming and Variable-Length Genetic Algorithms with One-Point Crossover // Genetic Programming and Evolvable Machines. 2001. № 2.

14. Eiben A. E., Smith J. E. Introduction to Evolutionary Computing. New York : Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2003. 299 p.

15. Haupt R. L., Haupt S. E. Practical Genetic Algorithms. 2ed. Wiley, 2004. P. 261.

16. Semenkin E., Semenkina M. Self-configuring genetic algorithm with modified uniform crossover operator // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 7331 LNCS (PART 1). 2012. Pp. 414–421.

17. Semenkin E., Semenkina M. Self-Configuring Genetic Programming Algorithm with Modified Uniform Crossover // *Proc. of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. Brisbane (Australia). 2012. P. 3401–3406.

18. Semenkina M., Semenkin E. Hybrid self-configuring evolutionary algorithm for automated design of fuzzy classifier // *Advances in Swarm Intelligence* / Y. Tan, Y. Shi, C. A. C. Coello (Eds.). 2014. PT1. LNCS 8794. Pp. 310–317.

References

1. J. Ross Quinlan. *Programs for Machine learning*. Morgan Kaufmann Publishers. 1993. P. 302

2. Barsegyan A. A., Kupriyanov M. S., Stepanenko V. V., Holod N. N. *Metody i modeli analiza dannykh. OLAP i Data Mining* [Methods and models of data analysis: OLAP и Data Mining]. SPb., BKhV-Peterburg Publ., 2004, 336 p.

3. Russel S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd Edition). Pearson Education Limited, 2009, 1099 p.

4. Haykin S. *Neural networks, a comprehensive foundation*. N. Y. : Macmillan College Publishing Company. 1994.

5. Korotkiy S. *Sovremennye mikroprotsessory. Neyronnye seti: algoritm obratnogo rasprostraneniya*. [Modern microprocessors. Neural networks: back-propagation algorithm]. Moscow, 2000.

6. Korotkiy S. *Sovremennye mikroprotsessory. Neyronnye seti: osnovnye polozheniya*. [Modern microprocessors. Neural networks: basic statements]. Moscow, 2000.

7. Semenkin E. S. Lipinskiy L. V. [On co-evolutionary genetic algorithm for automated design of fuzzy logic system control] *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii*. 2006, no. 11.

8. Semenkin E. S. Lipinskiy L. V. [Application of genetic programming algorithm in problems of intelligence

information technologies automated design] *Vestnik SibGAU*. 2006, no. 3 (10), p. 22–26 (In Russ.).

9. Semenkin E. S. Lipinskiy L. V. [The structural adaptation of neural network with genetic programming algorithm]. *Sb. tr. II Mezhdunar. nauch.prakt. konf. "Issledovanie, razrabotka i primeneniye vysokikh tekhnologii v promyshlennosti"* [Research, development and application of high technologies in the industry: Sat. tr. II International. scientific and practical. Conf.]. SPb. : Izd-vo Politekh. un-ta Publ., 2006 (In Russ.).

10. John R. Koza. Genetic programming Inc. Available at: <http://www.genetic-programming.com>. (accessed 17.01.2015).

11. Koza J. R. *Genetic programming tutorial*. Morgan Kaufmann Publishers. 1994.

12. Wright A. Genetic algorithms for real parameter optimization. *Foundations of Genetic Algorithms*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1991, p. 205–218.

13. Poli Riccardo. *Exact Schema Theory for Genetic Programming and Variable-Length Genetic Algorithms with One-Point Crossover*. Genetic Programming and Evolvable Machines, 2, 2001.

14. Eiben, A. E., Smith J. E. *Introduction to Evolutionary Computing*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2003. 299 p.

15. Haupt R. L., Haupt S. E. *Practical Genetic Algorithms*, 2ed., Wiley, 2004. P. 261.

16. Semenkin, E., Semenkina, M. Self-configuring genetic algorithm with modified uniform crossover operator, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7331 LNCS (PART 1), 2012, p. 414–421.

17. Semenkin E., Semenkina M. Self-Configuring Genetic Programming Algorithm with Modified Uniform Crossover. *Proc. of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, (CEC), Brisbane (Australia). 2012. P. 3401–3406.

18. Semenkina M., Semenkin E. Hybrid self-configuring evolutionary algorithm for automated design of fuzzy classifier. In Y. Tan, Y. Shi, C.A.C. Coello (Eds.), *Advances in Swarm Intelligence*. 2014. PT1, LNCS 8794, P. 310–317.

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕКУРСИВНЫХ ПОРОЖДАЮЩИХ ГРАММАТИК
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ИНТОНАЦИОННЫХ
ШАБЛОНОВ ЯЗЫКОВЫХ ВЫРАЖЕНИЙ**Д. В. Личаргин¹, А. И. Трушак ова¹, К. В. Сафонов², Е. П. Бачурина¹¹Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. академика Киренского, 28

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: lichdv@hotmail.ru

Рассматривается проблема, заключающаяся в разработке нового класса порождающих грамматик, обеспечивающих лучшее качество генерации строк и внутреннюю упорядоченность правил. Цель работы состоит в теоретическом обосновании и построении модуля разработанной ранее программы по автоматической генерации транскрипции на различных европейских языках, обеспечивающего добавление интонационной разметки, что даст возможность обучающемуся более качественно изучать язык, его фонетический строй и особенности. Кроме того, важным является решение проблемы определения модальности высказывания – различение повествования, вопроса и восклицания, что должно обеспечить возможность говорить и выражать множество эмоций на иностранном языке без предварительного знания слов и правил. Данный тип порождающих грамматик – рекурсивные порождающие грамматики – должен позволить решать более широкий класс задач благодаря использованию разбиения всего класса правил порождающих грамматик на уровни и разделы, что будет отражено в структуре соответствующих правил. Методы реализации поставленной цели состоят в гибридизации порождающих грамматик и подстрок команд в форме особых нетерминальных символов языка порождающих грамматик. В результате исследования сформулирован принцип организации множества деревьев, состояний порождаемой строки высказывания на естественном языке. Разработанный подход позволяет обеспечить выполнение алгоритмов генерации строк естественного языка с учетом использования командных нетерминальных символов порождающих грамматик. Заявленный подход к расширению синтаксиса правил порождающих грамматик может позволить обеспечить более сложную и качественную трансформацию генерируемой строки алфавита символов с учетом структурирования деревьев состояния строки на уровне рекурсивной генерации. Такой инструментальный компьютерной лингвистики может найти свое применение в качестве средства моделирования и анализа естественных языков, в частности, в целях генерации осмысленной речи и осуществления языковых трансформаций. Это позволит решать более сложные классы проблем в компьютерной лингвистике и разработке лингвистического программного обеспечения.

Ключевые слова: порождающие грамматики, рекурсивные порождающие грамматики, компьютерная лингвистика, искусственный интеллект, генерация транскрипций.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 93–100**DEVELOPMENT OF RECURSIVE GENERATIVE GRAMMARS SYSTEM
FOR SOLVING THE PROBLEM OF AUTOMATIC GENERATION
OF LANGUAGE PHRASES INTONATION PATTERNS**D. V. Lichargin¹, A. I. Trushakova¹, K. V. Safonov², E. P. Bachurina¹¹Siberian Federal University

28, Kirenskiy str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation

²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev

31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

E-mail: lichdv@hotmail.ru

This paper considers the problem of developing a new class of generative grammars, providing higher quality of string generation and internal order of the rules. The purpose is to justify theoretically and to develop the module in the

previously developed system for automatic generation of transcription in various European languages, which allows adding the intonation patterns, which will enable the student to study the language, its phonetic structure and features in a more effective way. In addition, it is important to solve the problem of modality identification, the distinction between narrative sentences, questions and exclamations that will provide an opportunity to speak and express many types of emotions in a foreign language without preliminary knowledge of words and rules. This type of generative grammars – “recursive generative grammars” – should allow solving a wider class of problems through the use of dividing the entire class of rules within generative grammars to levels and sections, what will be demonstrated in the structure of the relevant rules. Methods to accomplish the above purpose consist in hybridization of generative grammar and substring of command in the form of nonterminals of generative grammar. As a result of work a principle organizing a set of trees of the states of generated string expressions in the natural language has been developed. The developed approach allows the implementation of the algorithms for generating the strings of the natural language from concerning the application of nonterminal characters of generative grammars. The proposed approach to extending the syntax of the generative grammar rules can allow providing a more complex and qualitative transformation of generated string of the characters alphabet considering the structuring process for the trees of states on the levels of recursive generation. These tools of computational linguistics can be applied as the means of modeling and analyzing the natural languages, in particular, in order to generate meaningful speech and carry out language transformations. This will allow solving more complex problems in computational linguistics and the development of linguistic software.

Keywords: generative grammars, recursive generative grammars, computational linguistics, artificial intelligence, phonetic transcription generation.

Введение. В настоящее время порождение речи компьютером является крайне важным. Значительная часть программных приложений, связанных с генерацией текстов на естественном языке, работает с информацией на естественном языке.

В работе рассматривается проблема, заключающаяся в разработке нового класса порождающих грамматик, обеспечивающих лучшее качество генерации строк и внутреннюю упорядоченность правил.

Проблематика, связанная с генерацией порождающими грамматиками, давно и широко исследуется различными авторами, в частности Хомским, Монтегю и др. [1; 2]. Исследования проводятся на стыке таких наук, как информатика, лингвистика, компьютерная лингвистика, математика и математическая логика [3–6].

Однако улучшение качества генерации строк требует дополнительных исследований в рамках новых классов порождающих грамматик.

Основная идея работы состоит в построении принципа работы рекурсивных порождающих грамматик на основе введения потенциально генерируемых команд-примечаний и в применении этой модели к проблеме генерации фонетических шаблонов в образовательных целях.

Целью данной работы является разработка модели системы рекурсивных порождающих грамматик, которая позволит обучающимся произносить предложения на незнакомом или малознакомом языке с правильной интонационной окраской.

Задачи данной работы заключаются в следующем:

1. Разработка специализированного синтаксиса, позволяющего реализовать базовый функционал данного типа порождающих грамматик, при этом не противоречащий общему синтаксису предшествующих типов порождающих грамматик.

2. Разработка принципа построения правил порождающих грамматик для построения интонационной разметки в отдельном слове, словосочетании, выражении.

3. Разработка алгоритмической реализации данного класса порождающих грамматик.

4. Разработка набора правил для данной модели на основе предложенного функционала рекурсивных порождающих грамматик (РПГ), что позволит сгенерировать интонационные обозначения целевых выражений для конечного пользователя.

Новизна работы состоит в использовании общей схемы работы порождающих грамматик с привлечением синтаксиса командных подстрок.

Рассматриваемая в настоящей работе модель должна позволить обучающимся повысить качество чтения текста на иностранном языке с учетом маркеров изменения относительной высоты тона в слове, слове и целом высказывании. Это позволит определять законченность или незаконченность высказывания, завершенность мысли и эмоциональный оттенок речи.

Кроме того, система генерации транскрипции и интонационной разметки во многом решает проблему описания модальности высказывания – различение повествования, вопросы и восклицания. Указанные методы должны обеспечить возможность говорить и выражать множество эмоций на иностранном языке без предварительного знания слов и правил.

Принципы построения рекурсивных порождающих грамматик. Порождающая грамматика позволяет выводить (порождать) цепочки языка из некоторой начальной цепочки с помощью определенных правил замены (или правил подстановки).

Как известно, стандартные порождающие грамматики над строками имеют вид четверки:

$G \langle S, T, N, R \rangle$, где S – начальный символ порождающей грамматики, T – множество терминальных символов, N – множество нетерминальных символов и R – множество правил трансформации одной строки в другую.

Порождение есть пошаговый процесс, в котором на каждом шаге из цепочки, уже полученной на предыдущем шаге (в частности, из начальной), можно путем применения к ней правил замены получить новую цепочку [7; 8].

Разработка системы поддержки рекурсивных порождающих грамматик. На основе порождающих грамматик были разработаны правила для генерации транскрипции иностранных языков, а также функции, реализующие генерацию верной и неверной транскрипций, что решает проблему составления вариантов ответов к тестам электронных курсов.

Создание таких правил решало актуальную проблему, появившуюся в связи с широким распространением подходов по проверке знаний учеников в электронной форме.

Была создана программа генерации правильной и неправильной транскрипции и создания на их основе заданий с верными и неверными вариантами ответов для учебных тестов. Предложенная программа позволяет выбирать язык генерации из предложенных, перевести введенное слово или текст в корректную и некорректную транскрипцию, с помощью которых возможно составить тесты, что может значительно упростить процесс контроля успеваемости у студентов и школьников, изучающих иностранный язык, в частности, английский. При порождении фраз порождающей грамматикой используются различные синтаксические формы, в частности, указание на параллельную замену подстрок (рис. 1).

В перспективе на основе использования рекурсивных порождающих грамматик с привлечением семантических моделей языка можно более эффективно решать задачи порождения грамматически и семантически осмысленной речи. С другой стороны, на основе расширения традиционных порождающих грамматик можно повышать эффективность различных

аспектов для более узких классов задач от генерации фонетической транскрипции до работы трансляторов языков программирования высокого уровня.

Также необходимо добавить, что в основе предложенной модели лежит программа «Генератор классификаций», которая представляет собой визуализацию процесса работы порождающих грамматик в форме дерева вывода для некоторой части области знаний на уровне интерфейса пользователя. Такая схема вывода строится на базе правил, описывающей соответствующие релевантные классы объектов или их состояний и переходы между объектами / состояниями, известными в этой области, заданными наборами правил порождающих грамматик (рис. 2).

Отметим, что предшествующие типы порождающих грамматик не всегда справляются с задачей учета более широкого контекста и нуждаются в увеличении качества генерируемых строк, а также в устранении недостаточного упорядочения внутренней структуры множеств правил. Необходимо учесть традиционное отсутствие их деления на классы или группы. Предлагается создание данного типа порождающих грамматик – рекурсивные порождающие грамматики, который позволит решать данный класс задач. Общеизвестно, что рекурсия заключается в принципе определения, описания или вычисления функции или набора правил, содержащего аналогичные структуры внутри самой этой функции, т. е. когда объект вызывает сам себя, точнее, аналогичный объект на другом этапе вычисления.

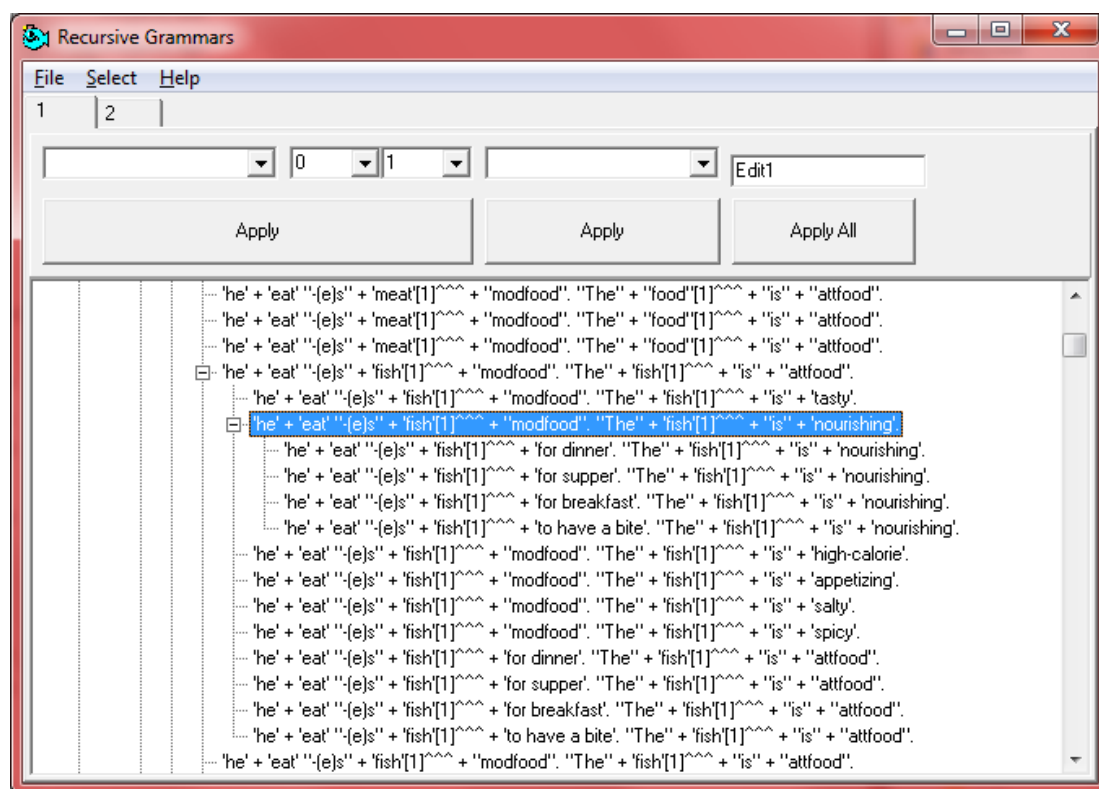


Рис. 1. Пример генерации осмысленных фраз языка с параллельной заменой соответствующих друг другу подстрок в программе «Генератор транскрипций»

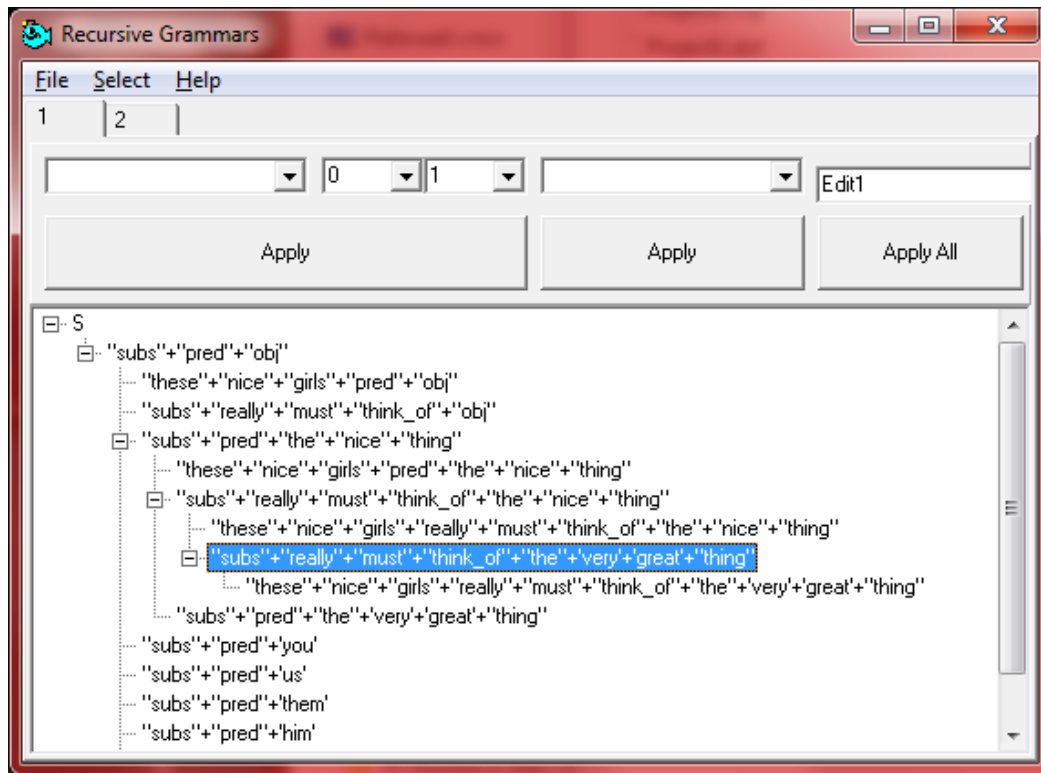


Рис. 2. Пример действия программы «Генератор классификаций», модуль Recursive Grammars

При этом сами правила порождающих грамматик, имеющих вид «подстрока₁» + «подстрока₂» + ... + «подстрока_n» → «подстрока₁'» + «подстрока₂'» + ... + «подстрока_n'», будут иметь следующие добавления в синтаксисе внутреннего описания правил, а именно, после любой строки может находиться команда вида: «строка_i» + «строка_{i+1}» + ... {название_базы_правил, глубина_генерации, количество_строк}.

Приведем пример использования предлагаемого вида правил рекурсивной порождающей грамматики:

«The» + «nice» + «girl» + «like» + «-(e)s»{endings,4,2} + «to» + «dance» + «обстоятельство места».

Результатом применения вложенного набора правил порождающей грамматики на втором уровне рекурсии будет строка вида

«The» + «nice» + «girl» + «likes» + «to» + «dance» + «обстоятельство места».

Приведем второй пример синтаксиса правил порождающей грамматики рассматриваемого класса:

«The» + _ «nice» + / «girl» + _ «модальность»{modality,2,1} + / «dance» + «in» + «the» + «атрибут здания/организации» + \ «club».

Результатом применения вложенного набора правил порождающей грамматики на втором уровне рекурсии будет строка вида

«The» + _ «nice» + / «girl» + _ «starts» + >«-ing» + / «dance» + «in» + «the» + «атрибут здания/организации» + \ «club».

И далее получаем строку вида:

«The» + _ «nice» + / «girl» + _ «starts» + / «dance» «-ing»{endings,4,2} + «in» + «the» + «атрибут здания/организации» + \ «club».

Далее при применении правила базы правил endings получаем строку

«The» + _ «nice» + / «girl» + _ «starts» + / «dancing» + «in» + «the» + «атрибут здания/организации» + \ «club» и далее получаем строку вида

«The» + _ «nice» + / «girl» + _ «starts» + / «dancing» + «in» + «the» + «youth» + \ «club» или

«The» + _ «nice» + / «girl» + _ «starts» + / «dancing» + «in» + «the» + «sport» + \ «club» и т. п.

Фрагменты схемы алгоритмической реализации решения проблемы генерации фонетической транскрипции и разметки приводятся ниже.

На сегодняшнем этапе реализован первый этап построения генератора материалов (в частности, по методу И. Франка) а именно, программа генератор транскрипции [9]. Данная программа использует следующие базы данных:

1. Порождающие грамматики следующего вида:

– русская транскрипция:

и 'i
жи zhi
же zhe
жа zha
жо zho
...

– английская транскрипция:

ii ии
ie И:
io иОу
iu из
ei Еи
ee и:
ea и:
...

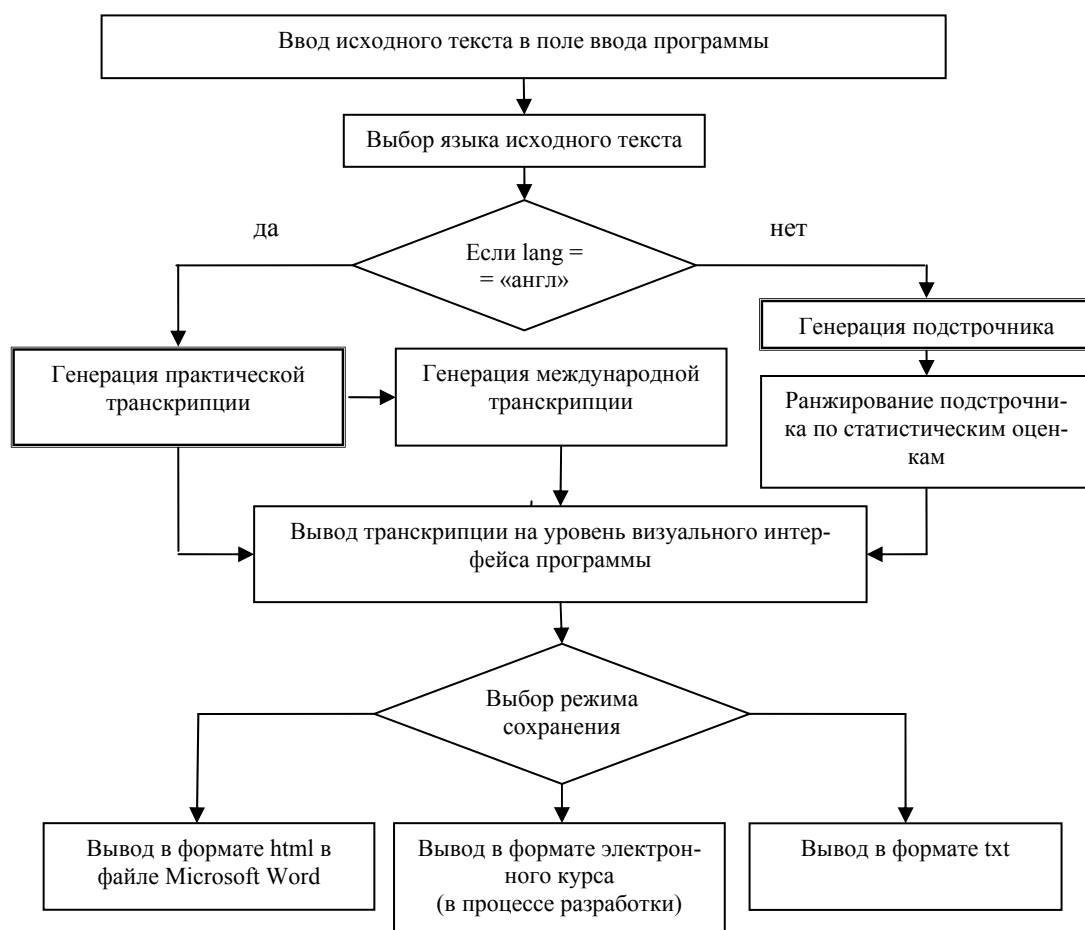


Рис. 3. Алгоритм работы программы «Генератор транскрипции»



Рис. 4. Алгоритм генерации практической транскрипции на основе правил

2. База неправильной транскрипции для составления тестов:

ory opy
ury uy
ir ip
er ep
ar ap
...

3. База данных транскрипции слов (на 10 тыс. слов):

state – стЕйт
significant – сэгнИфикэнт
Siberia – сайБИ:риэ
Siberian – сайБИ:риэн
Federal – фЕдэрэл
research – рисЭ:ч
neural – нйУ:рэл
network – нЕтВэ:к
net – нЕт
...

В правилах порождающей грамматики слева стоит символ, который должен быть преобразован в символ, стоящий справа.

Различные типы функций, реализующие различные принципы обработки строк, реализуются на основе обобщающих методов (рис. 3, 4), что упрощает работу по трансформации строк.

На рис. 5 представлены рекурсивные уровни генерации строк естественного языка в форме деревьев состояний строки.

В рамках данного исследования система генерации «леса» состояний генерируемой строки описывается моделью последовательного вызова правил определенного типа для конкретных уровней генерации с возможностью семантизации этих уровней. Данный подход является частью работы по формализации естественного языка с акцентом на его семантику и решение проблемы генерации осмысленной речи [10–15].

Стандартный подход к решению проблемы представления правил порождающих грамматик обычно сводится к использованию неупорядоченного множества записей базы правил, что дает возможность корректировать результаты генерации интуитивно, а не на основе систематизации представления более или менее качественного набора правил. Корреляция между степенью упорядоченности правил порождающей грамматики и процентным соотношением правильно генерируемых, транскрипционных и фонетических правил обусловлено фактором сложности и перепутанности логических соотношений в таких правилах. Таким образом, база правил лингвистического программного обеспечения может быть представлена в форме отдельных подмножеств, отладка которых по отдельности сокращает количество ошибок генерации системы в целом. Множества правил структурируются по смысловым категориям, например, фонетические, морфологические, грамматические, лексические и т. п.

Необходимо отметить, что особенности, преимущества и потенциальные недостатки в работе системы рекурсивных порождающих грамматик должны быть зафиксированы, обработаны и интерпретированы на основе многочисленных экспериментов. Распределение правил по классам в зависимости от их функционального назначения должно обеспечить требуемые результаты для решения классов более сложных задач с учетом широкого структурированного контекста. Важным этапом работы по исследованию новых классов порождающих грамматик на основе упорядочения их множества и применения «командных» нетерминальных символов является решение конкретных лингвистических задач в качестве показательных примеров, дающих возможность осуществить отладку ошибок на множестве правил рекурсивных порождающих грамматик, устранить избыточность правил, использовать высокий уровень обобщения при их построении.

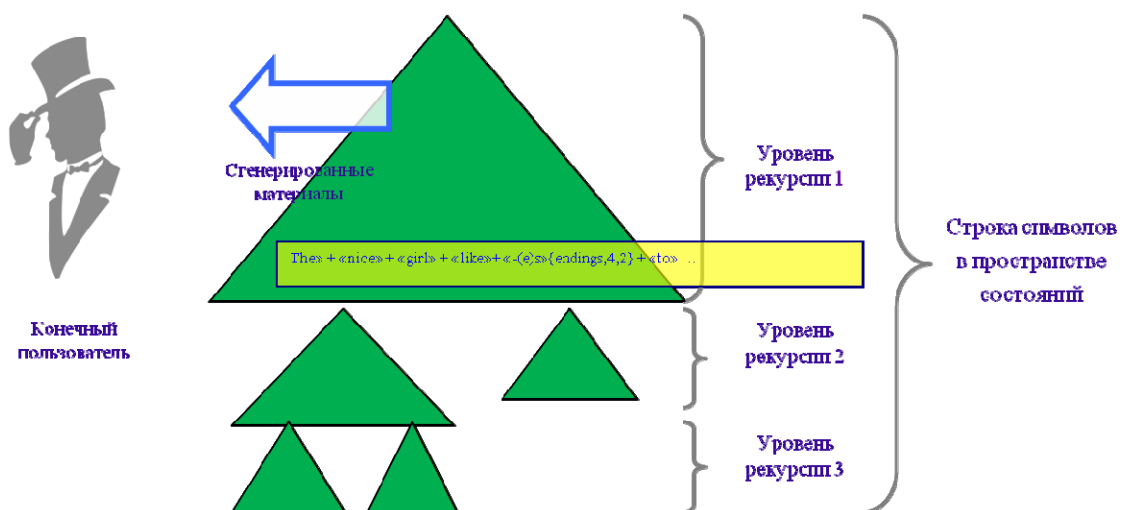


Рис. 5. Общая схема работы рекурсивных порождающих грамматик

Заключение. Таким образом, предложена модель системы рекурсивных порождающих грамматик для учебных целей. Предложены принципы синтаксического оформления, позволяющие реализовать базовый функционал данного типа порождающих грамматик, предложен алгоритм применения правил порождающих грамматик для построения интонационной разметки в отдельном слове, словосочетании, выражении, проведено обоснование алгоритмической реализации данного класса порождающих грамматик. Приведены примеры правил для системы генерации строк естественного языка с рекурсией, вызываемой командными нетерминальными символами порождающей грамматики.

Генерация фонетической разметки является примером предметной области, в которой сложно получить требуемый результат с использованием только традиционных порождающих грамматик, включая контекстно-свободные порождающие грамматики, что подчеркивает актуальность заявленной темы.

При создании программы на основе предложенной модели необходимо решить следующие проблемы: увеличение порождающей мощности, устранение недостатка внутренней структуры множеств правил, использование деления на классы или группы. Программа позволит генерировать интонационную разметку, что значительно упростит процесс изучения учащимися новых языков.

Разрабатываемая программная система позволит обрабатывать большие объемы текста для их использования в качестве материалов к уроку по иностранному языку, самостоятельной работы и др. Данная система позволит решить задачи широкого круга пользователей, например, студентам – ликвидировать пробелы в знаниях по иностранному языку, в особенности в фонетике иностранного языка; изучить новый иностранный язык и говорить с правильной интонацией уже на первом занятии; преодолеть языковой барьер в изучении основ разговорного иностранного языка в высших учебных заведениях; позволит туристам, посещающим европейские страны, понять культуру и традиции другой страны, практиковать иностранный язык без долгого предварительного изучения правил, грамматики, лексики, фонетики, орфографии.

Благодарности. Работа частично выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект Б 112/14.

Acknowledgment. This work was financially supported by the Ministry of Education of the Russian Federation, the project Б 112/14.

Библиографические ссылки

1. Carnap R. Meaning and Necessity // A Study in Semantics and Modal Logic. 1956.
2. Chomsky N. Syntactic Structures: Mouton de Gruyter. 2002.
3. Хомский Н. Синтаксические структуры // Новое в зарубежной лингвистике. Вып. V. М., 1962.
4. Automatic Expansion of Domain-Specific Lexicon by Term Categorization / Н. Avancini [et al.] // ACM

Translation on Speech and Language Processing. 2006. Vol. 3, No. 3. P. 1–30.

5. Evaluating Discourse Understanding in Spoken Dialogue Systems / R. Higashinaka [et al.] // ACM Translation on Speech and Language Processing. 2004. Vol. 1. P. 1–20.

6. Towards Efficient Human Machine Speech Communication: The Speech Graffiti Project / S. Tomko [et al.] // ACM Translation on Speech and Language Processing. 2005. Vol. 2. No. 1.

7. Сафонов К. В. О возможности вычислительного распознавания контекстно-свободных грамматик // Вычислительные технологии. 2005. Т. 10, № 4. С. 91–98.

8. Сафонов К. В., Егоровский О. И. О синтаксическом анализе и проблеме В. М. Глушкова распознавания контекстно-свободных языков Хомского // Вестник Томского государственного университета. 2006. № 17. С. 63.

9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014615928. Генератор транскрипции / Е. П. Бачурина, Д. В. Личаргин. Заявл. 14.04.2014 ; опубл. 05.06.2014.

10. Личаргин Д. В. Порождение дерева состояний на основе порождающих грамматик над деревьями строк // Вестник СибГАУ. 2010. № 1(27). С. 57–59.

11. Личаргин Д. В., Бачурина Е. П. Обобщенная иерархическая структура учебного электронного курса и рассмотрение на ее основе электронных курсов обучения английскому языку // Информатизация образования и науки. 2012. № 3(15). С. 20–36.

12. Статистические методы анализа естественного языка как способ повышения эффективности его генерации на основе семантических шаблонов / Д. В. Личаргин [и др.] // Информатизация образования и науки. 2014. № 4(24). С. 92–103.

13. Бачурина Е. П., Трушак А. И., Личаргин Д. В. Информационная система генерации тестовых заданий по фонетике иностранного языка для студентов технических вузов // Современные инновации в науке и технике : сб. науч. тр. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. Т. 1 / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. С. 115–120.

14. Бачурина Е. П. Разработка программы генерации учебных материалов по иностранному языку на основе порождающих грамматик Хомского // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : сб. науч. тр. XI-й Международной науч.-практ. конф. Т. 1 / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. С. 204–207.

15. К вопросу об упорядочении многоуровневой семантической сети на дереве семантической классификации / Д. В. Личаргин [и др.] // Вестник СибГАУ. 2014. № 2. С. 44–50.

References

1. Carnap R. Meaning and Necessity. A Study in Semantics and Modal Logic. 1956.
2. Chomsky N. Syntactic Structures. Berlin: Mouton de Gruyter, 2002.
3. Chomsky N. [Syntax structures] *Novoe v zarubezhnoy lingvistike*, 1962, vol. V (In Russ.).

4. H. Avancini, A. Lavelli, F. Sebastiani, R. Zanolì. Automatic Expansion of Domain-Specific Lexicon by Term Categorization. *ACM Translation on Speech and Language Processing*. 2006, vol. 3, no. 1, p. 1–30.
5. Higashinaka R., Miyazaki N., Nakano M., Aikawa K. Evaluating Discourse Understanding in Spoken Dialogue Systems. *ACM Translation on Speech and Language Processing*. 2004, vol. 1, p. 1–20.
6. Tomko S., Harris T. K., Toth A., Sanders J., Rudnický A., Rosenfeld R. Towards Efficient Human Machine Speech Communication: The Speech Graffiti Project. *ACM Translation on Speech and Language Processing*. 2005, vol. 2, no. 1.
7. Safonov K. V. [The possibility of computational recognition of context-free grammars] *Vichislitelnie tekhnologii*. 2005, vol. 10, no. 4, p. 91–98 (In Russ.).
8. Safonov K. V., Egorushkin O. I. [Syntactical analysis and problem Glushkov recognition of Chomsky's context-free languages] *Bulletin of Tomsk State University*. 2006, no. 17, p. 63.
9. Bachurina E. P., Lichargin D. V. *Generator transkripcii* [Generator of transcription]. Certificate of state registration of software No. 2014615928 of June 5, 2014 (In Russ.).
10. Lichargin D. V. [Generation of tree of states based on generative grammars over the trees of string]. *Vestnik SibGAU*. 2010, no. 1 (27), p. 57–59 (In Russ.).
11. Lichargin D. V., Bachurina E. P. [Generalized hierarchical structure of the educational e-learning course and base principles of e-learning in teaching English]. *Informatizacia Obrazovaniya I Nauki*. 2012, no. 3 (15), p. 20–36 (In Russ.).
12. Lichargin D. V., Maglinets A. Y., Ribkov M. V., Bachurina E. P. [Statistical methods for the analysis of natural language as a way to improve the efficiency of its generation based on semantic templates]. *Informatizacia Obrazovaniya I Nauki*. 2014, no. 4 (24), p. 92–103 (In Russ.).
13. Bachurina E. P., Trushakova A. I., Lichargin D. V. [Information system for generating test tasks on phonetics of foreign language for students of engineering specialty]. *Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike: sbornik nauchnikh trudov 4 mezhdunarodnoy konferentsii* [Modern innovations in science and technology: Proceedings of the 4th International Conference]. 2014, vol. 1, p. 115–120 (In Russ.).
14. Bachurina E. P. [Development of a system for generation of training content in a foreign language based on the Chomsky's generative grammar]. *Sovremennye instrumentalnye sistemy, informatsionnye tekhnologii i innovatsii: sbornik nauchnikh trudov XI mezhdunarodnoy konferentsii* [Modern instrumentation systems, information technology and innovation: Proceedings of the XI-th International Conference]. Kursk, 2014, vol. 1, p. 204–207 (In Russ.).
15. Lichargin D. V., Safonov K. V., Egorushkin O. I., Bachurina E. P. [About the issue of ordering a multilevel semantic web on the tree of semantic classification]. *Vestnik SibGAU*. 2014, no. 2, p. 44–50 (In Russ.).

© Личаргин Д. В., Трушакова А. И.,
Сафонов К. В., Бачурина Е. П., 2014

**О СИЛОВСКОЙ 2-ПОДГРУППЕ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ГРУППЕ
С ЗАДАННЫМ НАБОРОМ КОНЕЧНЫХ ПОДГРУПП**Е. А. Пронина¹, А. А. Шлепкин², А. Н. Дарзиев¹¹Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660130, г. Красноярск, ул. Стасовой, 44и
E-mail: katyushka_2707@mail.ru²Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79
E-mail: ak_kgau@mail.ru

Изучение бесконечных групп с различными условиями конечности – актуальная задача в теории групп. Одним из таких условий является условие насыщенности группы заданным множеством групп.

Группа G насыщена группами из множества $\mathfrak{M}$, если любая конечная подгруппа из G содержится в подгруппе, изоморфной некоторой группе из $\mathfrak{M}$. Известно, что произвольная периодическая группа, насыщенная группами из множества групп $\{L_2(p^n)\}$, где p и n не фиксируются, изоморфна $L_2(Q)$, где Q – локально-конечное поле. Кроме того, этот результат удалось обобщить на случай, когда группа насыщена группами из множества групп $\{SL_2(p^n)\}$. Естественно было бы рассмотреть случай, когда периодическая группа насыщена группами из множества групп $\{GL_2(p^n)\}$ в предположении, что имеет место следующая гипотеза: пусть периодическая группа G насыщена множеством групп $\{GL_2(p^n)\}$, где p , n не фиксируются. Тогда $G \cong GL_2(Q)$ для некоторого локально-конечного поля Q . Таким образом, возникает задача выделения в периодических группах классов групп, в которых данная гипотеза имеет место. Данная гипотеза доказана в классе локально-конечных групп. Одним из классов, в котором эта гипотеза может оказаться верной, является класс групп Шункова. В данном классе эта гипотеза была доказана для периодических групп Шункова при дополнительном ограничении – фиксированности p . Попытка отказаться от условия фиксированности p привела к необходимости классификации силовских 2-подгрупп в указанных группах. В данной работе эта классификация сделана. Установлена структура силовских 2-подгрупп группы G для случая, когда $\mathfrak{M}$ состоит из полных линейных групп степени два над конечными полями.

Ключевые слова: группа, насыщенность.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 101–107**ABOUT A SYLOW 2-SUBGROUP IN THE PERIODIC GROUP
WITH A GIVEN SET OF FINITE SUBGROUPS**E. A. Pronina¹, A. A. Shlepin², A. N. Darzиеv¹¹Krasnoyarsk State Agrarian University
44I, Stasov str., Krasnoyarsk, 660130, Russian Federation
E-mail: katyushka_2707@mail.ru²Siberian Federal University
79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
E-mail: ak_kgau@mail.ru

This article is about the study of infinite groups with different conditions limbs actual problem in group theory. One of such conditions is the condition of saturation of a group specified set of groups.

The group G is full of groups of many $\mathfrak{M}$, if any finite subset of is contained in a subgroup G isomorphic to some group of $\mathfrak{M}$. It is known that an arbitrary periodic group, saturated groups from a variety of groups $\{L_2(p^n)\}$, where p and n not fixed, is isomorphic to $L_2(Q)$, where Q is a locally – finite field. Additionally, this result has been generalized to the case when the group is saturated with groups from a variety of groups $\{SL_2(p^n)\}$. It would be natural to

consider the case when periodic group are saturated with groups from a variety of groups $\{GL_2(p^n)\}$: Let a periodic group G is saturated with many groups $\{GL_2(p^n)\}$, where p, n not fixed. Then $G \cong GL_2(Q)$ for some locally finite fields Q . Thus, there is a problem of separation in periodic groups of classes of groups in which this hypothesis holds. This hypothesis is proved in the class of locally finite groups. One of the classes in which this hypothesis may be true, is the class of groups Shunkov. In this class, this hypothesis was proved for periodic groups Shunkov when the additional constraint is fixed p . Attempt to abandon the fixity conditions led to the need for classification of Sylow 2-subgroups in these groups. In this work, this classification is made. The structure of Sylow 2-subgroups of the group G for the case when is $\mathfrak{M}$ of the full linear group of degree two over finite fields.

Keywords: group, saturation.

Введение. Группа G насыщена группами из множества групп $\mathfrak{M}$, если любая конечная подгруппа K из G содержится в подгруппе группы G , изоморфной некоторой группе из $\mathfrak{M}$ [1].

Пусть группа G насыщена группами из множества групп $\mathfrak{M}$ и K – конечная подгруппа из G . Через $\mathfrak{M}(K)$ обозначим множество всех подгрупп из G , содержащих K и изоморфных группам из $\mathfrak{M}$. В частности, если 1 – единичная подгруппа G , то $\mathfrak{M}(1)$ – множество всех подгрупп группы G , изоморфных группам из $\mathfrak{M}$ [2].

Под символом e в данной работе будет пониматься единица группы G .

В [3] доказано, что произвольная периодическая группа, насыщенная группами из множества групп $\{L_2(p^n)\}$, где p и n не фиксируются, изоморфна $L_2(Q)$, где Q – локально-конечное поле. Там же этот результат удалось обобщить на случай, когда группа насыщена группами из множества групп $\{SL_2(p^n)\}$. Естественно рассмотреть случай, когда периодическая группа насыщена группами из множества групп $\{GL_2(p^n)\}$.

Гипотеза. Пусть периодическая группа G насыщена множеством групп $\{GL_2(p^n)\}$, где p, n не фиксируются. Тогда $G \cong GL_2(Q)$ для некоторого локально-конечного поля Q .

Следующий пример показывает, указанная гипотеза в классе периодических групп неверна. Рассмотрим группу

$$G = L_2(2^n) \times B(m, p),$$

где $m > 1$; $p = 2^n - 1$ – простое фиксированное число, большее 665; $B(m, p)$ – свободная берсайдова группа с m образующими и периода p . Так как

$$GL_2(2^n) = L_2(2^n) \times Z(GL_2(2^n)),$$

$|Z(GL_2(2^n))| = 2^n - 1 = p$ и порядок любой нетривиальной конечной подгруппы из $B(m, p)$, как показано в [4, с. 296], равен p , то G насыщена множеством

$\mathfrak{M} = \{GL_2(2^n)\}$, состоящим из одной группы. Как показано в [4, с. 262], $B(m, p)$ для указанных m и p не является локально-конечной группой. Следовательно, G не локально-конечная группа.

Таким образом, возникает задача выделения в периодических группах классов групп, в которых данная гипотеза имеет место. В [5] данная гипотеза доказана в классе локально-конечных групп. Одним из классов, в котором эта гипотеза может оказаться верной, является класс групп Шункова.

Для доказательства гипотезы в классе групп Шункова предлагается следующая схема:

1. Доказать, что центр $Z(G)$ нетривиален и является локально-циклической группой.

2. Доказать, что $\bar{G} = G \setminus Z(G)$ является группой Шункова и насыщена группами из множества $\{PGL_2(p^n)\}$ и, как следствие, вывести отсюда, что $\bar{G}$ изоморфна $PGL_2(Q)$ для некоторого локально-конечного поля Q .

3. Используя верность гипотезы для локально-конечных групп, показать, что G изоморфна $GL_2(Q)$.

В [6; 7] данная схема реализована в классе периодических групп Шункова при дополнительном ограничении – фиксированности p . Попытка отказаться от условия фиксированности p привела к необходимости классификации силовских 2-подгрупп в указанных группах. В данной работе эта классификация сделана.

Пусть $\mathfrak{M} = \{GL_2(p^n)\}$, где p – простое нефиксированное число и натуральное n не фиксируется.

Доказан следующий результат.

Теорема. Пусть периодическая группа G насыщена группами из множества $\mathfrak{M}$. Тогда силовская 2-подгруппа S группы G одна из следующих:

1. $S = \langle a^{2^n} = v^2 = 1, a^v = a^{2^{n-1}-1} \rangle$ – полудиэдральная группа и $|S| = 2^{n+1}$.

2. $S = \langle a, w \mid a^{2^n} = b^{2^n} = w^2 = e, a^w = b, ab = ba \rangle$ – сплетенная 2-группа и $|S| = 2^{n+2}$.

3. S – конечная элементарная абелева 2-группа.

4. S – бесконечная элементарная абелева 2-группа.

5. $S = \tilde{S}K$, где $\tilde{S}$ – полная 2-группа 2 ранга не более 2, K – конечная 2-группа, изоморфная некоторой подгруппе группы диэдра порядка 8.

6. В G существует силовская 2-подгруппа $S = (A \times B)\lambda(w)$, где A – бесконечная локально-циклическая 2-группа; $w^2 = e$; $A^w = B$.

Известные факты и определения.

Предложение 1. Определение черниковской группы. Группа называется черниковской, если она является конечным расширением прямого произведения квазициклических групп, взятых в конечном числе [8].

Предложение 2. Пусть $G-p$ – группа Шункова. Если ранги конечных элементарных абелевых p подгрупп из G ограничены в совокупности, то G – черниковская группа [9–11].

Предложение 3. Пусть $G = (A \times B)\lambda(w)$ – конечная сплетенная 2-группа, т. е.

$A = \langle a \rangle, B = \langle b \rangle, a^w = b, a^{2^k} = b^{2^k} = w^2 = 1$. Тогда:

1. Центр $Z = Z(G) = \langle ab \rangle = \langle z \rangle$, где $z = ab$.

2. $G = (A \times B)\lambda(w) = (Z \times A)\lambda(w)$, $z^w = z$, $a^w = b = aba^{-1} = za^{-1}$, $a^{w^2} = (za^{-1})^w = (za^{-1})^{-1} = zz^{-1}a = a$.

3. $G = (Z \times B)$, $z^w = z$, $b^w = a = abb^{-1} = zb^{-1}$.

4. Пусть $x \in (A \times B)$ и $|x| = 2^m$. Тогда $|xw| \leq 2^{m+1}$, $(xw)^2 \in Z$, в частности, если $x = a$, то $(aw)^2 = ab = z$, и если $x = b$, то $(bw)^2 = ab = z$.

5. $(aw)(bw) = abz^{-1} = ab^{-1}z$.

6. $(ab^{-1})^w = a^wb^{-1} = ba^{-1}$ и $R = \langle ab^{-1} \rangle \lambda(w)$ – группа диэдра.

7. Пусть $d = a^{2^m-1}b^l$ и $(l2) = 1$ $d^w = b^{2^m-1}a^l$, $dd^w = a^{2^m-1}b^l b^{2^m-1}a^l = a^{2^m}b^{2^m} = z^{2^m}$, $d^w = d^{-1}a^{2^m}b^{2^m} = d^{-1}z^{2^m}$, $|d| = 2^k$.

8. Если $m = k$ и $\langle d \rangle = \langle ab^{-1} \rangle$, тогда $\langle d \rangle \lambda(w) = \langle ab^{-1} \rangle \lambda(w) = R$ – группа диэдра.

9. Если $m = k-1$, то a^{2^m} – инволюция из A , b^{2^m} – инволюция из B и $a^{2^m}b^{2^m} = z_1$ – инволюция из $D \cap Z = \langle z_1 \rangle$. Тогда $dd^w = z_1$, $d^w = d^{-1}z_1$ и $D = \langle d \rangle \lambda(w)$ – полудиэдральная группа.

10. $N(\langle bw \rangle) = \langle bw \rangle \lambda z_b$, где z_b – инволюция из $\langle b \rangle$, $(bw)^{z_b} = bwz_1$.

11. $N(\langle aw \rangle) = \langle aw \rangle \lambda z_a$, где z_a – инволюция из $\langle a \rangle$, $(aw)^{z_a} = awz_1$.

12. Пусть $\langle c \rangle \times \langle d \rangle \subset G$. Если $|c| = |d| > 2$, тогда $\langle c \rangle \times \langle d \rangle \subseteq A \times B$.

13. Пусть $G_1 = (\langle c \rangle \times \langle d \rangle) \lambda(w_1)$, $c^{w_1} = d$, $w_1^2 = e$ и $G_1 \subset G$. Тогда имеет место одно из следующих утверждений:

1) $G_1 = (\langle c_1 \rangle \times \langle d_1 \rangle) \lambda(w_2)$, где $c_1^{w_2} = d_1$, $w_2^2 = e$ и $\langle c_1 \rangle \times \langle d_1 \rangle \subseteq A \times B$;

2) $G_1 = (\langle v \rangle \lambda(w_3))$, где $|v| = 4, v \in A \times B$, $w_3^2 = e$, $v^{w_3} = v^{-1}$.

Доказательство пункта 12. Предположим, что $\langle c \rangle \times \langle d \rangle \leq A \times B$. Тогда для некоторого $x \in (\langle c \rangle \times \langle d \rangle)$, $x = uw$, где $u \in A \times B$. Ясно, что для любого $v \in (A \times B) \cap (\langle c \rangle \times \langle d \rangle)$, $vx = xv$. Следовательно $vuw = uuvw = uvwv$, $uvw = uvwv$, $vw = wv$ и $v \in Z$. Следовательно, $(A \times B) \cap (\langle c \rangle \times \langle d \rangle) \subseteq Z$. Так как Z – циклическая группа, то и $(A \times B) \cap (\langle c \rangle \times \langle d \rangle)$ – циклическая группа, а это не так, в силу условия $|c| > 2$. Противоречие. Пункт доказан.

Доказательство пункта 13. Поскольку $x^2 = e$, то $y^w = y^{-1}$. Если $w_1 \in (A \times B)$, то $(\langle c \rangle \times \langle d \rangle) \lambda(w_1) = (\langle z_1 \rangle \times \langle x \rangle) \lambda(w_1) = (\langle z_1 \rangle \times \langle w_1 \rangle) \lambda(x)$, положив $w_1^x = c_1$, $w_1 = d_1$, $x = w_2$, получаем пункт 1 предложения 12.

Пусть $w_1 \notin (A \times B)$. Тогда $w_1 = vw$ для некоторого $v \in (A \times B)$. Посчитаем $w_1x = vwuw = vy^{-1} \in (A \times B)$. Очевидно, $vy^{-1} \neq e$, так как в противном случае $v = y$ и $x = w$, что невозможно по условию. Если $|vy^{-1}| = 2$, то $vy^{-1} = z_1, v = yz_1, vw = z_1uw, w_1 = z_1x$, что невозможно. Итак, $vy^{-1} > 2$, значит $|vy^{-1}| = 4$.

Положив $v = w_1x$ и $w_3 = w_1$, получаем утверждение 2 предложения 13. Предложение доказано.

Предложение 4. В $GL_2(p^n)$, где p – нечетно, нет подгрупп, изоморфных A_4 .

Доказательство. Предположим обратное: пусть $H \subset GL_2(p^n)$ и $H \approx A_4$. Тогда $H = \langle a \rangle \times \langle b \rangle \lambda(w)$, где $a^2 = b^2 = v^3 = e, a^v = ab$ [12; 13]. Возьмем инволюцию $z \in Z(GL_2(p^n))$. Если z лежит в H , то $\langle a \rangle \times \langle b \rangle \times \langle z \rangle$ – подгруппа в $GL_2(p^n)$, что невозможно. Следовательно $z \notin H$, что противоречит структуре A . Предложение доказано.

Предложение 5. Пусть G – периодическая группа, c – инволюция из G , а b – элемент порядка 4 из G такие, что $cb^2 = b^2c$. Тогда $H = \langle c, b \rangle$ – конечная группа одного из следующих видов:

1) $H = \langle b \rangle \times \langle c \rangle$;

2) $H = \langle b \rangle \lambda(c)$ – группа диэдра;

3) $H = \langle d \rangle \lambda \langle c \rangle, d^c = b^2 d^{-1}, b^2 \in \langle d \rangle, |d| > 4, b = dc$ – полудиэдральная группа;

4) $H = (\langle d \rangle \times \langle b^2 \rangle) \lambda \langle c \rangle, d^c = d^{-1} b^2, b = dc, d^c = b^2 d^{-1}, |d| > 2$.

Доказательство. Рассмотрим фактор-группу $\bar{C} = C_G(b^2) / \langle b^2 \rangle$, а в ней подгруппу $\bar{H} = \langle \bar{a}, \bar{b} \rangle$. Очевидно, $\bar{C}$ – периодическая группа и $\bar{H} = \langle \bar{d} \rangle \lambda \langle \bar{c} \rangle = \langle \bar{d} \rangle \lambda \langle \bar{b} \rangle$ – группа диэдра. Пусть $d = bc$. Тогда $H = (\langle b^2 \rangle \cdot \langle d \rangle) \lambda \langle c \rangle$ и либо $d^c = d^{-1}$, либо $d^c = d^{-1} b^2$ [14]. Если H – абелева группа, то H вида 1. Если H – неабелева и $|H| = 8$, то H вида 2. Пусть $H > 8$.

Если $d^c = d^{-1}$, то $d^c = cbcc = cb = c^{-1} b^{-1}$, $cb = c^{-1} b^{-1}$ и $b^2 = c^{-2} = e$. Противоречие с тем, что $|b| = 4$. Таким образом, $d^c = b^2 d^{-1}$, и если $b^2 \notin \langle d \rangle$, то $H = (\langle b^2 \rangle \times \langle d \rangle) \lambda \langle c \rangle$ (H – вида 3), а если $b^2 \in \langle d \rangle$, то $H = \langle d \rangle \lambda \langle c \rangle$ – полудиэдральная группа (H – вида 4). Предложение доказано.

Предложение 6. Пусть $\langle a \rangle$ – циклическая порядка 2^n и φ – изоморфизм порядка 2 группы $\langle a \rangle$. Тогда имеет место одно из следующих утверждений:

- 1) $\varphi(a) = a^{-1}$;
- 2) $\varphi(a) = a^{-1} z, z^2 = e$;
- 3) $\varphi(a) = az$.

Доказательство. Ясно, что для некоторого нечетного $l < 2^n$, $\varphi(a) = a^l$. Так как $\varphi^2(a) = a$, то $a^{l^2} = a$, $a^{l^2-1} = e$ и $(l^2 - 1) \equiv 0 \pmod{2^n}$. Запишем l в двоичной системе $l = 2^{m_1} + 2^{m_2} + \dots + 2^{m_s} + 1$, где $1 \leq m_s < m_{s-1} < \dots < m_2 < m_1 < 2^n$.

Тогда $(e^2 - 1) = (e - 1)(e + 1) = 0 \pmod{2^n}$ и $(2^{n_1} + 2^{n_2} + \dots + 2^{n_s})(2^{m_1} + 2^{m_2} + \dots + 2^{m_s} + 2) \equiv 0 \pmod{2^n}$. Следовательно, $2^{n_s}(2^{m_1-n_s} + 2^{m_2-n_s} + \dots + 2^{m_{s-1}-n_s} + 1)2(2^{m_1-1} + 2^{m_2-1} + \dots + 2^{m_{s-1}-1} + 1) \equiv 0 \pmod{2^n}$. Если $n_s - 1 > 0$, то $(2^{m_1-n_s} + 2^{m_2-n_s} + \dots + 2^{m_{s-1}-n_s} + 1)$ – нечетное число и $(2^{m_1-1} + 2^{m_2-1} + \dots + 2^{m_{s-1}-1} + 1)$ – нечетное число. Отсюда вытекает, что $2^{n_s+1} = 2^n$, $n = n_s + 1$, $n_1 = n_s$, $l = 2^{n-1} + 1$. В этом случае $\varphi(a) = a^{2^{n-1}+1} = za$, где z – элемент порядка 2 из $\langle a \rangle$, т. е. имеет место утверждение 3.

Рассмотрим ситуацию, когда $n_s = 1$. Тогда $2^{n_s}(2^{m_1-1} + 2^{m_2-1} + \dots + 2^{m_{s-1}-1} + 1)2^2(2^{m_1-2} + 2^{m_2-2} + \dots + 2^{m_{s-2}-2} + 1) \equiv 0 \pmod{2^n}$.

Если $n_{s-1} - 2 > 0$, то, как и выше, $n_{s-1} > 2$, $2^3 = 2^n$, $n = 3$, $l = 2^2 + 2 + 1 = 7$ и противоречие с тем, что $n_{s-2} > 2$. Следовательно, $n_{s-1} = 2$, $S_1 = 2^{n-1}$. Действуя подобным образом, получаем, что $l = (2^{n_1} + 2^{n_1-1} + \dots + 2^2 + 2 + 1)$, $(e - 1)(e + 1) = 2a2^m$, где a – нечетное число, $2^m = (2^{n_1} + 2^{n_1-1} + \dots + 2^2 + 2 + 1) + 1 = e + 1$ и $2^{m+1} \equiv 0 \pmod{2^n}$. Следовательно, либо $m = n$, либо $m = n - 1$ и $m + 1 \geq n$.

По формуле геометрической прогрессии имеем $(2^{n-1} + 2^{n-2} + \dots + 2 + 1) + 1 = (2^n - 1) + 1 = 2^n$ в первом случае и $(2^{n-2} + 2^{n-3} + \dots + 2 + 1) + 1 = (2^{n-1} - 1) + 1 = 2^{n-1}$ во втором случае. Соответственно, либо $l = 2^{n-1} - 1$ и имеет место утверждение 2, либо $l = 2^n - 1$ и имеет место утверждение 1. Предложение доказано.

Доказательство теоремы. Если в G некоторая S конечна, то из предложений 1, 2 вытекает, что S одна из первых трех видов 1, 2, 3, и в этом случае теорема доказана.

В дальнейшем считаем, что S – бесконечная группа.

Лемма 1. Если S содержит подгруппу $D = \langle x \rangle \times \langle y \rangle \times \langle z \rangle$, где $x^2 = y^2 = z^2 = 1$, то S – элементарная абелева группа.

Доказательство. В силу предложения 4 и [14; 15] D вложена в бесконечную локально-конечную подгруппу I групп S .

Если I содержит элемент в порядке 4, то $\langle D, b \rangle$ – конечная 2-группа, которая по условию насыщенности является подгруппой группы D_1 , где D_1 – одна из следующих (предложение 6):

- 1) D_1 – конечная группа полудиэдра;
- 2) D_1 – конечная сплетенная 2-группа;
- 3) D_1 – элементарная абелева 2-группа

Но в первых двух случаях D_1 не может содержать подгруппу D , а в последнем – не может содержать элемент b .

Итак, I – элементарная абелева 2-группа, и можно считать I максимальной в указанном смысле ($D < I$).

Если $S = 1$, то все доказано. Предположим, что $x \in G \setminus I \neq \emptyset$. Покажем, что x можно выбрать так, что $xz = zx$ для некоторой инволюции $z \in I$.

Если $|x| = 2$, то группа $\langle x, z \rangle$ конечна для любой инволюции Z из I . Пусть t – инволюция из $Z(\langle x, z \rangle)$. Если $t \in I$, то положим $Z = t$. Если $t \notin I$, то положим $x = t$. Подгруппа $\langle z \rangle \times \langle x \rangle = K_1$, очевидно, не лежит в I и $K_1 \cap I = \langle z \rangle$. Возьмем в I инволюцию $t \neq z$. Ясно, что $tz = zt$.

Рассмотрим конечную подгруппу $\langle z, x, t \rangle$. Данные подгруппы, очевидно, не лежат в I и $\langle z, x, t \rangle \cap I \geq (\langle x \rangle \times \langle t \rangle)$. В силу леммы 1 в $\langle z, x, t \rangle$

существует элемент v такой, что $v \in N_G(\langle z \rangle \times \langle t \rangle) \setminus I$ и $v^2 \in I$. Тогда группа $K_2 = \langle v, z, x, t, t_1 \rangle$, где $t_1 \in I \setminus (\langle z \rangle \times \langle t \rangle)$, конечная 2-группа.

По условию насыщенности $K_2 \leq K_3 \in \mathfrak{M}(1)$. Так как K_2 содержит подгруппу $\langle t \rangle \times \langle t_1 \rangle \times \langle z \rangle$, то из структуры $\mathfrak{M}$ вытекает, что K_2 – элементарная абелева 2-группа. В силу произвольности t_1 как инволюции из I получим, что x перестановочен с любой инволюцией из I . Таким образом, $I \times \langle x \rangle$ – элементарная абелева 2-группа, что противоречит максимальной I как элементарной абелевой 2-группы.

Пусть $|x| = 4$. Возьмем $x_1 = x^2$. По доказанному выше $x_1 \in I$. В дальнейшем, дословно повторяя рассуждения для случая $|x| = 2$, получим, что $x \in K_2$ – элементарная абелева 2-группа. Противоречие с тем, что $|x| = 4$. Лемма доказана.

В дальнейшем будем считать, что G не содержит элементарных абелевых групп порядка более четырех.

Лемма 2. Если ранг $\tilde{S}$ равен 2, S^1 типа 5.

Доказательство. В этом случае $\tilde{S} = A \times B$, где A, B – локально-циклические группы. Возьмем в $\tilde{S}$ конечную подгруппу $R = \langle a \rangle \times \langle b \rangle$, где $a \in A, b \in B, |a| = |b| > 2$. По условию насыщенности $R \subset K \in \mathfrak{M}(1)$. Следовательно, $K \cong GL_2(p^n)$ и $p \neq 2$. Пусть S_K – силовская 2-подгруппа из K , содержащая R . По предложению 3 $S_K = (\langle c \rangle \times \langle d \rangle) \lambda w$ – сплетенная 2-группа, т. е. $|c| = |d| > 2$ и $c^w = d$. По предложению 4 $R \leq (\langle c \rangle \times \langle d \rangle)$ и $R^w = R$. Возьмем в $\tilde{S} \setminus R$ элемент y со свойством $y^2 \in R$. Очевидно, такой, в силу структуры $\tilde{S}$, найдется. Ясно, что $y \in C_G(R)$. Следовательно, группа $\langle R, y, w \rangle$ – конечна.

По условию насыщенности $\langle R, y, w \rangle \subset K_1 \in \mathfrak{M}(1)$ и $K_1 \cong GL_2(p_1^{n_1})$, где $p_1 \neq 2$. По предложению 5 $\langle R_1, y, w \rangle \subset N_{K_1}(R) = (\langle c_1 \rangle \times \langle d_1 \rangle) \lambda \langle w \rangle$ – сплетенная группа. Здесь $|c_1| = |d_1| = (p_1^{n_1} - 1)^2$ и $c_1^w = d_1$. Кроме того, $C_{K_1}(R) = (\langle c_1 \rangle \times \langle d_1 \rangle)$. В частности, отсюда вытекает, что $\langle y^w, y \rangle \leq (\langle c_1 \rangle \times \langle d_1 \rangle)$. Пусть y_1 – другой элемент из $\tilde{S} \setminus R$ со свойством $y_1^2 \in R$ и $\langle y_1 \rangle \neq \langle y \rangle$. Покажем, что $y_1 y^w = y^w y_1$. Действительно, $\langle R, y_1, y^w \rangle$ – конечная группа.

По условию насыщенности $\langle R, y_1, y^w \rangle \leq K_2 \in \mathfrak{M}(1), K_2 \cong GL_2(p_2^{n_2})$, где $p_2 \neq 2$. По предложению 5 $C_{K_2}(R) = (\langle c_2 \rangle \times \langle d_2 \rangle)$, где $|c_2| = |d_2| = (p_2^{n_2} - 1)^2$. Так

как $\langle R, y_1, y^w \rangle \leq C_{K_2}(R)$, то $y_1 y^w = y^w y_1$, что и требовалось.

Пусть Y – множество элементов из $\tilde{S} \setminus R$ со свойством, что для нового $y \in Y, y^2 \in R$. Ясно, что Y – конечное множество. Из сказанного выше получаем, что $\langle Y, Y^w \rangle$ – конечная абелева группа из $C_G(R)$, а $\langle R, Y, Y^w, w \rangle$ – конечная группа из $N_G(R)$. По условию насыщенности $\langle R, Y, Y^w, w \rangle \leq K_3 \in \mathfrak{M}(1)$,

$K_3 \cong GL_2(p_3^{n_3})$ и $p_3 \neq 2$. По предложению 5 $N_{K_3}(R) = (\langle c_3 \rangle \times \langle d_3 \rangle) \lambda \langle w \rangle, (\langle c_3 \rangle \times \langle d_3 \rangle) = C_{K_3}(R)$ и $\langle R, Y, Y^w \rangle \leq C_{K_3}(R)$. Положим, $R_1 = \tilde{S} \cap (\langle c_3 \rangle \times \langle d_3 \rangle)$.

По построению $R < R_1 = (\langle v_1 \rangle \times \langle u_1 \rangle)$, где $\langle v \rangle < A, \langle u \rangle < B$ и $v_1^w = u_1$. Действуя по описанному выше алгоритму, мы строим цепочку подгрупп $\tilde{S}$

$$R < R_1 < R_2 < \dots < R_i < \dots$$

со следующими свойствами

- 1) $R_i = (\langle u_i \rangle \times \langle v_i \rangle)$;
- 2) $v_i^w = u_i$.

Так как $\tilde{S}$ полная 2-группа ранга 2, то очевидно $R_i = \tilde{S}$ и $w \in N(\tilde{S})$.

Осталось показать, что $\tilde{S} \lambda \langle w \rangle = S$. Рассмотрим $N_G(\tilde{S}) / \bar{S} = \bar{N}$. Очевидно в $\bar{N}$ силовская 2-подгруппа конечна, а значит все силовские 2-подгруппы из N конечны и сопряжены. Поэтому с точностью до сопряженности можно считать, что $\tilde{S} \lambda \langle w \rangle \leq \bar{S}^x$, а значит $\tilde{S} \lambda \langle w \rangle \leq S^x$ для некоторого $x \in N_G(\tilde{S})$. Это означает, что $S = \tilde{S} \langle y \rangle$ и $y^2 \in \tilde{S}$. Из предложения 5 получаем, что $y \in \tilde{S} \lambda \langle w \rangle$. Следовательно, $\tilde{S} \lambda \langle w \rangle = S$. Лемма доказана.

Лемма 3. Если S содержит подгруппу $((\langle a_n \rangle \times \langle b_n \rangle) \lambda \langle w_n \rangle) \subset S$, где $|a_n| = |b_n| > 2$, $a_n^{w_n} = b_n$ и $w_n^2 = e$, то S типа 5.

Доказательство. Положим, $D_n = (\langle a_n \rangle \times \langle b_n \rangle) \times \lambda \langle w_n \rangle$. Если S содержит бесконечную цепочку

$$D_1 < D_2 < \dots < D_n < \dots, \quad (1)$$

то очевидно S насыщена конечными сплетенными 2-группами по предложению 2 S типа 5.

Предположим, что бесконечных цепочек типа (1) в S нет. Пусть D_n – максимальная конечно-сплетенная 2-группа из S . Пусть $(\langle a_n \rangle \times \langle b_n \rangle) = R_n$.

Покажем, что R_n нормальная подгруппа S . Возьмем $s \in S \setminus D_n$ и $s \in N_S \setminus D$. По условию насыщенности конечная группа $\langle D_n, s \rangle \subset K \subset G$ и $K \cong GL_2(p^n)$, где

$p \neq 2$. Более того, $\langle D_n, S \rangle \subset S_K \in \text{Syl}_2 K$. По предположению 1 S_K сплетенная 2-группа и $R_n \trianglelefteq S_K$ и $S \in N(R)$. Пусть $D_n^1 = S_K \cap S$. Возьмем $S_2 \in N_S(D_n^1)$. Повторяя проведенные выше рассуждения, показывают, что $S_2 \in N_S(R_n)$. Действуя подобным образом, получаем, что $N_S(R_n)$ бесконечная группа. Таким образом $\tilde{S} \subset N(R_n)$, а поскольку $S = \tilde{S}D_n$, то $S = N_S(R_n)$.

Пусть s такой элемент из $\tilde{S}$, что $s^2 \in R_n$. Тогда $\langle D_n, s, x \rangle$ конечная группа и по условию насыщенности $\langle D_n, s, x \rangle \subset K \cong GL_2(p^n)$, где $p \neq 2$. По предположению 3 $s \in C_k(R_n)$, т. е. $xs = sx$. Используя индукцию по $|S|$, получим что $\tilde{S} \subset C_G(x)$ и $\langle \tilde{S}, x \rangle$ абелева группа. Пусть теперь $|x| > 2$ и $\langle \tilde{S}_n^2, x^2 \rangle$ абелева группа. Рассмотрим конечную группу $\langle R_n, x, S \rangle$, где $s \in \langle R_n, x^2 \rangle$, тогда $\langle R_n, x, S \rangle$ – конечная группа. И по условию насыщенности получим, что $\langle R_n, x, S \rangle \subset K \cong GL_2(p^n)$, где $p \neq 2$. По предложению 3 $\langle R_n, x, S \rangle \subset C_k(R_n)$ и значит $\langle R_n, x, S \rangle$ – абелева группа. Далее, используя индукцию по $|S|$, получим, что $\langle \tilde{S}, R_n, x \rangle$ – абелева группа. Теперь перейдем к индукции по $|x|$ и получим, что $\langle \tilde{S}, R_n, x \rangle$ абелева 2-группа и значит, по предложению 4, $C_{G_2}(R_n) = \tilde{S}_1$ – абелева 2-подгруппа и $\tilde{S}K \subset \tilde{S}_1K$. Лемма доказана.

Лемма 4. Пусть S не содержит подгруппу $D_n = (\langle a_n \rangle \times \langle b_n \rangle) \lambda \langle w_n \rangle$ с условием $|a_n| = |b_n| > 2$. Тогда S типа 6.

Доказательство. Очевидно в этом случае полная часть $\tilde{S}$ группы S квазициклическая 2-группа. Положим $\tilde{S} = A$. Тогда S/A – конечная 2-группа, и пусть K – ее минимальный по порядку прообраз в S . Тогда $S = AK$ и K – конечная подгруппа из группы диэдра порядка 8. Лемма доказана.

Заключение. Пусть периодическая группа G насыщена группами из множества $\mathfrak{M}$. Тогда силовская 2-подгруппа S группы G одна из следующих:

$$1. S = \langle a^{2^n} = v^2 = 1, a^v = a^{2^{n-1}-1} \rangle - \text{полуциклическая}$$

группа и $|S| = 2^{n+1}$.

$$2. S = \langle a, w \mid a^{2^n} = b^{2^n} = w^2 = e, a^w = b, ab = ba \rangle -$$

сплетенная 2-группа и $|S| = 2^{n+2}$.

3. S – конечная элементарная абелева 2-группа.

4. S – бесконечная элементарная абелева 2-группа.

5. $S = \tilde{S}K$, где $\tilde{S}$ – полная 2-группа 2 ранга не более 2, K – конечная 2-группа, изоморфная некоторой подгруппе группы диэдра порядка 8.

6. В G существует силовская 2-подгруппа $S = (A \times B)\lambda(w)$, где A – бесконечная локальноциклическая 2-группа, $w^2 = e$; $A^w = B$.

Библиографические ссылки

1. Шлепкин А. К. Сопряженно бипримитивно-конечные группы, содержащие конечные неразрешимые подгруппы // сб. тез. 3-й Междунар. конф. по алгебре. Красноярск, 1993. С. 396.
2. Кузнецов А. А., Филиппов К. А. Группы, насыщенные заданным множеством групп // Сибирские электронные математические известия. 2011. Т. 8. С. 230–246.
3. Рубашкин А. Г., Филиппов К. А. О периодических группах, насыщенных группами $L_2(p^n)$ // Сиб. матем. журн. 2005. Т. 46, № 6. С. 1388–1392.
4. Адаян С. И. Проблема Бернсайда и тождества в группах. М.: Наука. 1975.
5. Шлепкин А. А. О группах насыщенных $GL_2(p^n)$ // Вестник СибГАУ. 2013. Том 1. С. 100–108.
6. Шлепкин А. А. Периодические группы, насыщенные сплетенными группами // Сибирские электронные математические известия. 2013. Т. 10. С. 56–64.
7. Шлепкин А. А., Сабодих И. В. О группах Шункова, насыщенных $GL_2(p^n)$ // Сибирские электронные математические известия. 2014. № 11. С. 734–744.
8. Каргаполов М. И., Мерзляков Ю. И. Основы теории групп. М.: Наука. 1977.
9. Шунков В. П. M_p -группы. М.: Наука. 1990.
10. Шунков В. П. Об одном классе групп // Алгебра и логика. 1970. № 4. С. 484–496.
11. Шунков В. П. О периодических группах с почти регулярной инволюцией // Алгебра и логика. 1972. № 4. С. 470–494.
12. Dichson L. Linear groups. Leipzig: B. C. Neubner, 1901.
13. Garter R. W. Simple groups of Lie type. London: John Wiley & Sons, 1972.
14. Группы с условием насыщенности / А. А. Кузнецов [и др.] / КрасГАУ. Красноярск. 2010. С. 254.
15. Дуж А. А., Шлепкин А. А. О группах Шункова, насыщенных прямыми произведениями групп // Владикавказский математический журнал. 2012. № 12. С. 123–126.

References

1. Shlepkin A. K. [Conjugate apimitive finite groups containing a finite insoluble subgroup] *Sb. tez. 3-ya mezhdunar. konf. po algebre* [Sat. mes. 3rd Intern. Conf. Algebra]. Krasnoyarsk, 1993, p. 396 (In Russ.).
2. Kuznetsov A. A., Filippov K. A. [Group, saturated specified set of groups]. *Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestiya*. 2011, vol. 8, p. 230–246. (In Russ.).
3. Rubashkin A., Filippov K. A. [On periodic groups saturated groups $L_2(p^n)$]. *Sib. matem. zhurn.* 2005, vol. 46, no. 6, p. 1388–1392 (In Russ.).

4. Adan S. I. *Problema Berncaida i togdestva v grup-pakh* [The Burnside problem and identities in groups]. Science, 1975.
5. Shlepkin A. A. [About the saturated groups $GL_2(p^n)$]. *Vestnik SibGAU*. 2013, no. 1 (47), p. 100–108 (In Russ.).
6. Shlepkin A. A. [Periodic groups saturated woven groups]. *Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestiya*. 2013, vol. 10, p. 56–64 (In Russ.).
7. Shlepkin A. A., Subodah I. V. [About groups Shunkov saturated $GL_2(p^n)$]. *Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestiya*. 2014, vol. 11, p. 734–744 (In Russ.).
8. Kargapolov M. I., Merzlyakov Y. I. *Osnov teorii grupp* [Fundamentals of group theory]. Moscow, Nauka Publ., 1977.
9. Shunkov V. P. M_p -*grupp* [M_p -group]. Moscow, Nauka Publ., 1990.
10. Shunkov V. P. [One class of groups]. *Algebra i logika*. 1970, vol. 4, p. 484–496 (In Russ.).
11. Shunkov V. P. [Of periodic groups with an almost regular involution]. *Algebra i logika*. 1972, vol. 4, p. 470–494 (In Russ.).
12. Dichson L. *Linear groups*. Leipzig B. C. Neubner. 1901.
13. Garter R. W. *Simple groups of Lie type*. London: John Wiley & Sons. 1972.
14. Kuznetsov A. A., Lytkina D. V., Tukhvatullin L. R., Filippov K. A. *Gruppy s usloviem nasyschennosti*. [Group with the condition of saturation]. Krasnoyarsk, 2010, 254 p.
15. Duzh A. A., Shlepkin A. A. [Groups Shunkov, saturated direct products of groups]. *Vladikavkazskii matematicheskii zhurnal*. 2012, vol. 12, p. 123–126 (In Russ.).

**ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ЗАДЫМЛЕНИЯ НА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ**

А. В. Пятаева

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: anna4u@list.ru

Раннее обнаружение дыма на открытых пространствах крайне важно, поскольку дым обычно становится видимым раньше пламени. В настоящее время системы видеонаблюдения получили широкое распространение в различных областях. Поэтому детектирование дыма на основе видеоизображений можно считать эффективным и недорогим способом для обнаружения задымлений и пожаров на открытых пространствах. Существующие методы можно разделить на группы: обнаружение дыма на основе гистограмм, временной анализ областей задымления, методика с применением эвристических правил и гибридный подход, комбинирующий эти методы. Предложен автоматический метод детектирования дыма, использующий технологии компьютерного зрения и методы анализа изображений. Метод включает в себя анализ текстуры с помощью инвариантных к повороту и освещению локальных бинарных шаблонов, локальных тернарных шаблонов и расширенных бинарных шаблонов. Разработан новый метод текстурного анализа, названный темпоральными шаблонами, которые состоят как 3D-структура, основанная на соседних кадрах видеоизображения. Использованы различные способы построения гистограмм на основе полученных шаблонов. В качестве меры различия двух гистограмм использовано расстояние Кульбака–Лейблера. Эксперименты проводились на видеопоследовательностях, содержащих густой и прозрачный дым, из базы данных динамических текстур Dyntex. Набор образцов был разделен в соотношении 80 % обучающий, 20 % тестовый набор. Эксперименты показали преимущества темпорального способа построения шаблона по сравнению с классическим для динамических текстур. Эксперименты показали, что предложенный метод эффективен для детектирования дыма на видеопоследовательности.

Ключевые слова: локальные бинарные шаблоны, детектирование дыма, видеопоследовательность.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 108–114**VIDEO-BASED SMOKE DETECTION USING LOCAL BINARY PATTERNS**

A. V. Pyataeva

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

Smoke detection is particularly important for early warning systems because smoke usually rises before flames arise. Video surveillance systems are widely applied in a variety of fields such as urban scenes and forest scenes. Hence, video-based smoke detection is regarded as an effective and inexpensive way for fire detection in an open space. The existing methods can be classified as histogram-based detection, methods of temporal analysis, smoke detection based on heuristic rules, and hybrid methods. This paper presents an automatic smoke detection method using computer vision and pattern recognition techniques. The method involves texture analysis with rotation and illumination invariant local binary pattern, local ternary pattern, and extended local binary pattern. The novel Local Binary Patterns (LBPs) called as Temporal LBPs were developed. Temporal LBPs are built as 3D structure based on neighbor frames for analysis of dynamic textures. For smoke verification, two different classes of histogram are computed. As a measure of the differences for smoke and non-smoke histograms, Kullback-Leibler Divergence was used. Experiments on the Dyntex database illustrate the effectiveness of the proposed method. Numerical results were obtained by using various types of known LBP for semi-transparent and opaque smoke. The set of all samples was divided in training set (80 %) and testing set (20 %). Experiments show the advantages of 3D Temporal LBPs against classical 2D LBPs for dynamic fast changed textures. Experimental results show that the proposed method is feasible and effective for video-based smoke classification at interactive frame rates.

Keywords: local binary pattern, smoke detection, video sequence.

Введение. Актуальность задачи раннего обнаружения дыма на открытых пространствах с помощью текстурного анализа изображения (или видеоряда) вызвана бесполезностью датчиков, основанных на химическом анализе продуктов сгорания, поскольку на открытых пространствах происходит быстрое уменьшение их концентрации. Обычно дым детектируется на видеопоследовательности раньше пламени, поэтому факт появления дыма можно считать существенным признаком пожара.

Таким образом, проблема раннего обнаружения огня на видеоизображении может быть сведена к задаче нахождения дыма на видео, так как дым обычно становится видимым раньше, чем может быть обнаружен огонь. Большинство методов детектирования дыма на видеоизображениях основаны на выделении движения, цветовых и текстурных особенностях, позволяющих разделить классы «дым – отсутствие дыма» [1–3]. Дым как объект исследования имеет сложную газообразную структуру с нестабильными параметрами движения, изменяемой цветовой характеристикой (от полупрозрачной текстуры до черных непрозрачных фрактальных образований), изменяемыми контурами, эффектами мерцания и прочими динамическими свойствами [4–6].

Алгоритмы обнаружения дыма можно классифицировать следующим образом: обнаружение дыма на основе гистограмм, временной анализ областей задымления, методика с применением эвристических правил и гибридный подход, комбинирующий эти методы. Успешность решения задачи обнаружения дыма на ранних этапах требует минимизации пропусков цели. Одним из эффективных способов анализа локализованных глобальных регионов-кандидатов является текстурный анализ с использованием локальных бинарных шаблонов. Преимуществами локальных бинарных шаблонов является инвариантность к повороту и освещению, а также небольшие вычислительные затраты [7; 8]. Широко известно применение локальных бинарных шаблонов для распознавания лиц, однако в последнее время он активно используется в других задачах цифровой обработки изображений.

В работе для классификации текстур использован метод локальных бинарных шаблонов, инвариантный, рассмотрены следующие вариации шаблонов: локальные бинарные шаблоны (ЛБШ), локальные тернарные шаблоны (ЛТШ) и расширенные локальные бинарные шаблоны (РЛБШ).

Локальные бинарные шаблоны. В работе [9] введены понятия равномерных (не более двух переходов в шаблоне), инвариантных к вращению шаблонов. В дальнейшем были предложены другие модификации ЛБШ, такие как локальные тернарные шаблоны (Local Ternary Pattern), и ряд других модификаций. Все известные на сегодня виды ЛБШ являются пространственными операторами. Оператор ЛБШ представляет собой описание окрестности пикселя радиуса R . Количество пикселей окрестности n зависит от R и определяется формулой $n = (2R + 1)^2 - 1$. Оператор ЛБШ, который применяется к пикселю изображения,

использует n пикселей окрестности, принимая центральный пиксель в качестве порога.

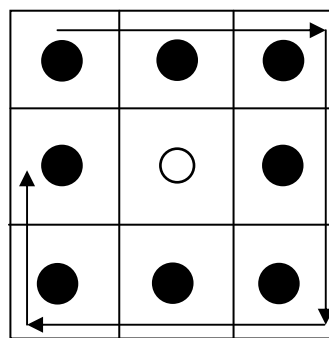


Рис. 1. ЛБШ радиуса 1

Пиксели, которые имеют значения больше, чем центральный пиксель (или равное ему), принимают значения «1», те, которые меньше центрального, принимают значения «0». Таким образом, получается n -разрядный бинарный код, который описывает окрестность пикселя. При $R = 1$ для построения ЛБШ учитывается 8 значений пикселей соседей, обход происходит по спирали по часовой стрелке (рис. 1).

Введем понятие шаблона – *Pattern*. $Pattern = LBP(P, R)$ в случае расчета бинарных ЛБШ определяется по следующей формуле:

$$LBP(P, R) = \sum_{n=0}^{P-1} s(I_n - I_c) \cdot 2^n,$$

где P – количество пикселей в окрестности; R – радиус окрестности; $s(x) = 1$, если $x \geq 0$, и $s(x) = 0$ в противном случае; I_n и I_c – значения яркости текущего и центрального пикселей, представляющие собой значение яркости Y из цветовой схемы YUV [10–12].

Расширенные ЛБШ. РЛБШ представляют собой круговую окрестность пикселя с произвольным числом точек P и радиусом R . При этом значение интенсивности пикселей вычисляются посредством билинейной интерполяции значений яркости [13]. Точки, учитываемые при расчете РЛБШ для разных значений радиуса, показаны на рис. 2.

Для радиуса $R = 1$ шаблон рассчитывается как для обычного ЛБШ (рис. 2, а). При радиусе $R = 2$ и учете восьми точек окрестности вычисления ЛБШ (рис. 2, б) происходит следующим образом: учитываются сами значения точек, отмеченные значком ●, значения точек, отмеченные значком ■, рассчитываются как среднее арифметическое из четырех соседних точек с метками «1», «2», «3», «4». При $R = 2$ и 12 точках окрестности (рис. 2, в) соседями считаются пиксели, отмеченные значком ●. Расчет паттерна РЛБШ происходит так же, как и базового ЛБШ, т. е. $Pattern = LBP(P, R)$.

Локальные тернарные шаблоны. Оператор ЛТШ, который применяется к пикселю изображения, использует n пикселей окрестности, принимая центральный пиксель в качестве порога. Тернарный n -разрядный код, который описывает окрестность пикселя, формируется по формуле

$$LTP(P, R) = \sum_{n=0}^{P-1} s^*(I_n - I_c) \cdot 3^n,$$

где P – количество пикселей в окрестности; R – радиус окрестности; $s^*(x, t)$ – пороговая функция; I_n и I_c – значения яркости текущего и центрального пикселей; t – преопределенный порог, в данной работе $t = 5$ [14]:

$$s^*(x, t) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \geq t; \\ 0, & \text{при } |x| < t; \\ -1, & \text{при } x \leq -t. \end{cases}$$

$Pattern = LTP(P, R)$ в случае вычисления локальных тернарных шаблонов.

Способы вычисления шаблонов. Рассмотрим способы вычисления шаблонов: шаблоны с прореживанием и вычисление шаблона в каждой точке. При шаблонах с прореживанием исходное изображение разбивается на части для расчета локального шаблона, исходя из значения радиуса R (рис. 3). Изображение разбивается на квадраты размера $dim = (2R + 1)^2 + 1$ пикселей, начиная от верхнего левого угла. При $R = 1$ размер квадрата 3×3 пикселей, при $R = 2 - 5 \times 5$ и т. д. Для каждого квадрата вычисляется свой локальный шаблон, тем самым шаблоны не пересекаются. При этом если изображения «не хватает» для заполнения яркостями квадратов ЛБШ слева и внизу, то такие

пиксели отбрасываются. Максимально возможный отброшенный кусочек справа имеет ширину $width \leq 2R$, а снизу $height \leq 2R$.

Так как такие пиксели находятся по краям изображения, занимаемая ими область незначительна относительно исходного изображения (размер изображения видеопоследовательности тестовой базы начинается от 300×400 точек, а в основном составляет 787×576 точек), поэтому можно отбросить такие пиксели, которые занимают не более 3 % изображения. Кроме того, если эти пиксели дополнить нулями для получения «полноценного» квадрата для ЛБШ, то в этом месте ЛБШ будут равны 0, что не отразится на гистограмме.

При расчете шаблона в каждом пикселе изображение не разбивается на непересекающиеся блоки, бинарная строка локального шаблона рассчитывается для каждого пикселя, происходит пересечение шаблонов. Вычисление паттерна $Pattern$ локального шаблона происходит одинаково как в случае работы с прореживанием, так и при работе без него.

Темпоральный вариант. В темпоральном варианте вычисления локального шаблона учитываются три кадра видеопоследовательности: текущий, предыдущий и следующий. Базовый ЛБШ для $R = 1$ в темпоральном варианте выглядит так, как представлено на рис. 4.

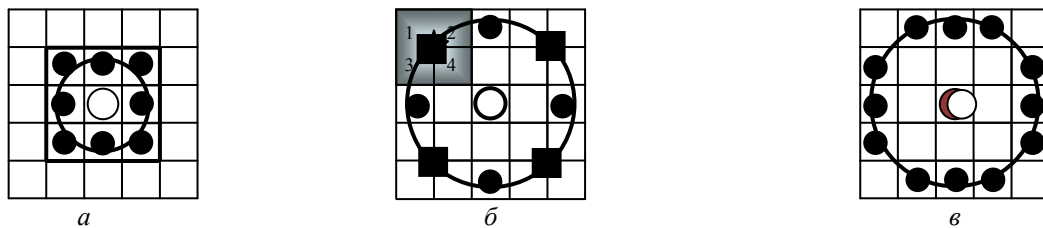


Рис. 2. Точки, участвующие в расчете паттерна ЛБШ:
а – $R = 1$, 8 точек окрестности; б – $R = 2$, 8 точек окрестности; в – $R = 2$, 12 точек окрестности

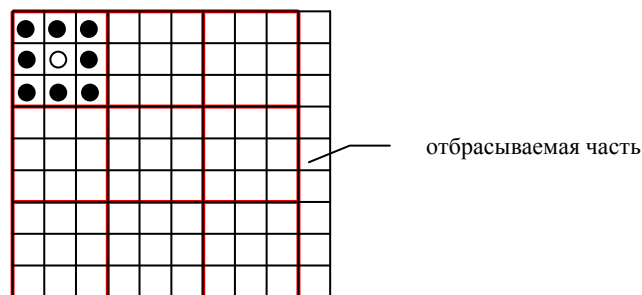


Рис. 3. Шаблон с прореживанием для ЛБШ при $R = 1$



Рис. 4. Темпоральный вариант ЛБШ

ЛБШ формируется в порядке обхода точек: 9 точек ЛБШ предыдущего кадра, 8 точек ЛБШ текущего кадра и 9 точек ЛБШ следующего кадра.

Предобработка результатов вычисления шаблонов. Предобработка результатов представляет собой промежуточный этап перед построением гистограммы. Каждый метод вычисления шаблона требует определенных методов предобработки данных для построения гистограммы. Рассмотрим их подробнее. Локальные бинарные шаблоны предобработки не требуют.

Для РЛБШ введем понятие равномерных шаблонов. Равномерные шаблоны – это бинарные коды определенного вида; шаблон, который содержит не более трех переходов в шаблоне от 0 к 1 и наоборот. Например, шаблон 00110011 является равномерным, а шаблон 10101010 – нет. Равномерные шаблоны несут в себе больше информации, чем другие. Равномерные шаблоны определяют такие важные особенности изображения, как пятна, концы линий, углы, грани [15]. Для обеспечения инвариантности к вращению используются только равномерные шаблоны и все их циклические сдвиги [16]. Каждый равномерный шаблон является сдвигом одной из комбинаций, этой комбинации присваивается номер, который и является инвариантным к вращению. Поскольку исходные бинарные векторы инвариантны относительно циклического сдвига, то для каждого бинарного вектора из списка строится список десятичных значений. Каждое десятичное значение рассчитывается для циклического сдвига вектора на n элементов, где n изменяется от 1 до размерности вектора. В процессе построения списка десятичных значений, соответствующих текущему бинарному вектору, происходит подсчет количества переходов от 0 к 1 для каждого сдвига. Если минимальное число переходов не больше 3, то из списка десятичных значений, соответствующих текущему бинарному вектору, берется наименьшее. Если минимальное число переходов больше 3, то исходный бинарный вектор рассматривается особо: ему сопоставляется число, равное максимальному возможному целому для данной размерности, увеличенному на 1. В итоге получается список десятичных чисел, каждое из которых соответствует своему бинарному вектору. Конечная гистограмма РЛБШ строится классическим способом по итоговому набору десятичных чисел.

Предобработка тернарного n -разрядного кода происходит следующим образом: полученный код разбивается на два бинарных n -разрядных кода: up ЛТШ – отрицательные значения заменяются 1, low ЛТШ – отрицательные значения заменяются 0. Далее по каждому из полученных наборов бинарных n -разрядных кодов строится своя гистограмма.

Способы построения гистограмм. Построение гистограмм по сформированному набору n -разрядных бинарных кодов происходит двумя способами:

- классический способ – каждая бинарная строка преобразуется в десятичное число, подсчитывается количество одинаковых чисел с определением положения и высоты столбцов гистограммы;

- сумма единиц для каждого разряда ЛБШ – вычисляется количество единиц в каждом разряде бинарного кода, давая тем самым высоту столбца гистограммы.

Классический способ построения гистограмм. Каждая бинарная строка преобразуется в десятичное число (рис. 5), затем подсчитывается количество повторений таких чисел для всего изображения.

10110011	→	179
00101000	→	40
.....	→	
10101010	→	170

Рис. 5. Обработка ЛБШ (классический способ)

Варианты чисел откладываются по оси абсцисс, а число повторений каждого из чисел – по оси ординат. Таким образом, классическую гистограмму описывает следующая формула:

$$H(k) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f(\text{Pattern}, k),$$

$$k \in [0, K], \quad K = \max(\text{Pattern}_{p,r}(i, j)),$$

где $M \times N$ – размер изображения; $\text{Pattern} = \text{LBP}(P, R)$ в случае расчета базовых и расширенных ЛБШ, $\text{Pattern} = \text{LTP}(P, R)$ в случае тернарных шаблонов.

Альтернативный способ построения гистограмм – сумма единиц для каждого разряда ЛБШ. В списке бинарных строк производится подсчет количества единиц на каждой позиции (рис. 6) и строится гистограмма, в которой значения по оси X изменяются от 1 до длины бинарной строки (для ЛРВ при $R = 1$ их 8), по оси OY – количество единиц в каждой позиции бинарной строки.

1	0110011
0	0101000
...	
1	10101010

Рис. 6. Обработка списка бинарных строк

Построение решающего правила. Мерой различия гистограмм двух сопоставляемых изображений при построении соответствующего решающего правила использовалось расстояние Кульбака–Лейблера:

$$D_{K,L}(s_1, s_2) = \sum_{k=1}^{P(P-1)+3} s_k^1 \ln \frac{s_k^1}{s_k^2},$$

где s_1 и s_2 – гистограммы первого и второго изображения; k – номер столбца; P – число точек в окрестности ЛБШ.

Экспериментальные исследования. Эксперимент проводился на видеопоследовательностях, содержащих густой и прозрачный дым, а также видеопоследовательностях, на которых дыма нет, взятых из базы данных динамических текстов Dyntex [17]. Использовано три видеопоследовательности, содержа-

щих густой дым, и одна видеопоследовательность с прозрачным дымом. Каждая видеопоследовательность разбита на кадры исходя из соотношения 25 кадров в секунду. Из полученных кадров вручную были выделены фрагменты, содержащие дым. Было получено 660 фрагментов густого дыма и 83 фрагмента прозрачного дыма. При этом размер фрагментов для густого дыма составляет 70×70 пикселей, для прозрачного дыма – 55×65 пикселей. Также были использованы 991 фрагмент размером 70×70 пикселей и 336 фрагментов размером 55×65 пикселей с отсутствием дыма. Шаблоны, вычисленные в каждой точке, предпочтительнее, так как точность распознавания в этом случае выше, а количество ошибок первого и второго рода в среднем в два раза меньше.

Для густого дыма ЛБШ и ЛТШ показывают одинаковую эффективность как в случае классических гистограмм, так и при построении гистограмм «сумма единиц для каждого разряда шаблона», однако во втором случае в два раза возрастает количество ложных срабатываний. Расширенные бинарные шаблоны также показывают высокую эффективность работы, уменьшая при этом число пропусков события и ложных срабатываний по сравнению с ЛТШ и ЛБШ. Изменение радиуса расчета РЛБШ не влияет на точность распознавания, однако с увеличением радиуса на 25 % возрастает число ложных срабатываний. В темпоральном варианте лучшими оказываются

расширенные бинарные шаблоны, показывая более высокую эффективность для густого дыма на протяжении всей серии экспериментов.

Результаты распознавания густого дыма приведены в табл. 1.

Бинарные и тернарные шаблоны в случае прозрачного дыма не дают приемлемых результатов, максимальная точность распознавания в этом случае составляет 80,7 %, при этом пропуск события происходит в 19,3 % случаях и в 39 % происходит ложное срабатывание. Единственным методом, позволяющим выделить прозрачный дым на изображении, является метод РЛБШ при радиусе в один пиксель в одномерном случае. При увеличении радиуса вычисления шаблона эффективность РЛБШ падает (табл. 2). Вычисляемые в РЛБШ равномерные шаблоны определяют такие важные особенности изображения, как пятна, концы линий, углы, грани. При построении гистограмм каждому равномерному шаблону соответствует свой столбец, а всем неравномерным шаблонам один общий. При пространственном совмещении с другими объектами дым, исходя из своих физических особенностей, смазывает резкие грани объектов, следовательно, в местах скопления граней дыма нет. Этим и определяется эффективность расширенных бинарных шаблонов при анализе прозрачного дыма.

Таблица 1

Результаты распознавания густого дыма (TR (%) – точность распознавания, FRR (%) – ошибка первого рода, FAR (%) – ошибка второго рода)

Видеофрагменты	Гистограммы «сумма единиц для каждого разряда ЛБШ»						Гистограммы классические					
	Бинарные шаблоны			Тернарные шаблоны			Бинарные шаблоны			Тернарные шаблоны		
	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR
Густой дым	0,997	0,003	0,003	0,997	0,082	0,003	0,997	0,005	0,003	0,998	0,019	0,002
Отсутствие дыма	0,997	0,003	0,003	0,918	0,003	0,082	0,995	0,003	0,005	0,981	0,002	0,019
Расширенные бинарные шаблоны												
Видеофрагменты	R = 1			R = 2								
	8 точек окрестности			8 точек окрестности			12 точек окрестности					
	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR
Густой дым	0,998	0,002	0,001	0,998	0,025	0,001	0,998	0,025	0,001	0,998	0,025	0,001
Отсутствие дыма	0,998	0,001	0,002	0,974	0,001	0,025	0,974	0,001	0,025	0,974	0,001	0,025
3D-вариант												
Расширенные бинарные шаблоны												
Видеофрагменты	R = 1			R = 2								
	8 точек окрестности			8 точек окрестности			12 точек окрестности					
	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR
Густой дым	0,990	0	0,0098	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
Отсутствие дыма	1,00	0,0098	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00

Результаты распознавания прозрачного дыма (TR (%) – точность распознавания, FRR (%) – ошибка первого рода, FAR (%) – ошибка второго рода)

Видеофрагменты	Расширенные бинарные шаблоны								
	R = 1			R = 2					
	8 точек окрестности			8 точек окрестности			12 точек окрестности		
	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR	TR	FRR	FAR
Прозрачный дым	0,9518	0,0327	0,0481	0,8072	0,4791	0,1927	0,7108	0,3422	0,2891
Отсутствие дыма	0,9672	0,0481	0,0327	0,5208	0,1927	0,4791	0,2891	0,2891	0,3422

Таким образом, для густого дыма подходит группа методов текстурного анализа. Наилучшую эффективность показывают расширенные бинарные шаблоны в темпоральном варианте, так как в этом случае учитываются три кадра дыма и особенности текстуры дыма становятся еще более выраженными. Для распознавания прозрачного дыма подходят только расширенные бинарные шаблоны с радиусом 1 в 2D-случае за счет учета таких особенностей изображения, как грани, углы и линии.

Заключение. Полученные в работе результаты показывают, что классический способ построения гистограмм эффективнее способа «сумма единиц рядов шаблона», а шаблоны, вычисленные в каждой точке изображения, имеют преимущество перед шаблонами с прореживанием. Анализ результатов расчетов распознавания показывает, что тернарные шаблоны обладают преимуществом перед бинарными за счет снижения влияния шума на результат анализа текстуры изображения. Лучшим методом текстурного анализа для видеопоследовательностей, содержащих дым, является метод РЛБШ, дающий 100 % точности на густом и 96 % на прозрачном дыме. При этом радиус расчета шаблона равен единице. Такие результаты объясняются тем, что расширенные шаблоны учитывают специфические особенности изображения, такие как грани, углы, линии, поскольку и густой и прозрачный дым сглаживают резкие грани изображения.

Библиографические ссылки

1. Yuan Feiniu. Video-Based Smoke Detection With Histogram Sequence of LBP and LBPV Pyramids // *Fire Safety Journal*. 2011. Vol. 46, iss. 3. Pp. 132–139.
2. ByoungChul Ko, JunOh Park, Jae-Yeal Nam. Spatiotemporal bag-of-features for early wildfire smoke detection // *Image and Vision Computing*. 2013. Vol. 31, iss. 10. Pp. 786–795.
3. Celik T., Ozkaramanly H., Demirel H. Fire and Smoke Detection Without Sensors: Image Processing Approach // *Proc. 15th European Signal Processing Conf. EUSIPCO*. 2007. P. 1794–1798.
4. Xiong Z., Caballero R. Video-Based Smoke Detection: Possibilities, Techniques, and Challenges // *Proc. of the Suppression and Defection Research and Applications Conf. Orlando, Fla*, 2007. P. 157–164.
5. Favorskaya M, Levitin K. Early Smoke Detection in Outdoor Space by Spatio-Temporal Clustering Using a Single Video Camera // *Recent Advances in Knowledge-*

based Paradigms and Applications. / J. W. Tweedale, L. C. Jain (Eds). 2014. No. 234. Pp. 43–56.

6. Favorskaya M., Levitin K. Early video-based smoke detection in outdoor spaces by spatio-temporal clustering // *Int J of Reasoning-based Intelligent Systems*. 2013. No. 5(2). Pp. 133–144.

7. Celik T., Ozkaramanly H., Demirel H. Fire and Smoke Detection Without Sensors: Image Processing Approach // *Proc. 15th European Signal Processing Conf. EUSIPCO*. 2007. P. 1794–1798.

8. Nanni L., Lumini A., Brahnam S. Local binary patterns variants as texture descriptors for medical image analysis // *Artificial intelligence in medicine*. 2010. Vol. 49, No. 2. Pp. 117–125.

9. Ojala T., Pietikainen M., Maenpaa T. T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary pattern // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2002. Vol. 24, No. 7. Pp. 971–987.

10. ByoungChul Ko, JunOh Park, Jae-Yeal Nam. Spatiotemporal bag-of-features for early wildfire smoke detection // *Image and Vision Computing*. 2013. Vol. 31, iss. 10. Pp. 786–795.

11. Habiboglu Y. H., Gunay O., Cetin A. E. Real-time wildfire detection using correlation descriptors // *19th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*. 2011. Pp. 894–898.

12. Krstinić Damir, Stipaničev Darko, Jakovčević Toni. Histogram – based segmentation fire detection system // *Information technology and control*. 2009. Vol. 38, No. 3. P. 237–244.

13. Liao W. H., Young T. J. Texture classification using uniform extended local ternary patterns // *International Symposium on Multimedia*. 2010. Pp. 191–195.

14. Zhao G, Pietikainen M. Dynamic Texture Recognition Using Local Binary Patterns with an Application to Facial Expressions, Senior Member // *Transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2007. No. 7.

15. Yuan Feiniu. Rotation and Scale Invariant Local Binary Pattern Based on High Order Directional Derivatives for Texture Classification // *Digital Signal Processing*. 2014. No. 26. Pp. 142–152.

16. Hui Zho, Runsheng Wang, Cheng Wang. A Novel Extended Local-Binary-Pattern Operator for Texture Analysis // *Information Sciences*. 2008. Vol. 178, iss. 22. Pp. 4314–4325.

17. Péteri Renaud, Sándor Fazekas, Mark J. Huiskes. DynTex: A comprehensive database of dynamic textures // *Pattern Recognition Letters*. 2010. No.1. Pp. 1627–1632.

References

1. Yuan Feiniu. Video-Based Smoke Detection With Histogram Sequence of LBP and LBPV Pyramids. *Fire Safety Journal*, 2011, vol. 46, iss. 3, p. 132–139
2. ByoungChul Ko, JunOh Park, Jae-Yeal Nam. Spatiotemporal bag-of-features for early wildfire smoke detection. *Image and Vision Computing*. 2013, vol. 31, iss. 10, p. 786–795.
3. Celik T., Ozkaramanly H., Demirel H. Fire and Smoke Detection Without Sensors: Image Processing Approach. *Proc. 15th European Signal Processing Conf. EUSIPCO*, 2007. P. 1794–1798.
4. Xiong Z., Caballero R. Video-Based Smoke Detection: Possibilities, Techniques, and Challenges *Proc. of the Suppression and Defection Research and Applications Conf. Orlando, Fla*, 2007. P. 157–164.
5. Favorskaya M., Levitin K. Early Smoke Detection in Outdoor Space by Spatio-Temporal Clustering Using a Single Video Camera. In: Tweedale JW, Jain LC (Eds) *Recent Advances in Knowledge-based Paradigms and Applications*, 2014, no. 234, p.43–56.
6. Favorskaya M, Levitin K. Early video-based smoke detection in outdoor spaces by spatio-temporal clustering. *Int J of Reasoning-based Intelligent Systems*, 2013, no. 5(2), p.133–144.
7. Celik T., Ozkaramanly H., Demirel H. Fire and Smoke Detection Without Sensors: Image Processing Approach. *Proc. 15th European Signal Processing Conf. EUSIPCO*, 2007. P. 1794–1798.
8. Nanni L., Lumini A., Brahnam S, Local binary patterns variants as texture descriptors for medical image analysis, *Artificial intelligence in medicine*, 2010, vol. 49, no. 2, p. 117–125.
9. Ojala T., Pietikainen M., Maenpaa T. T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary pattern. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, vol. 24, no. 7, p. 971–987.
10. ByoungChul Ko, JunOh Park, Jae-Yeal Nam Spatiotemporal bag-of-features for early wildfire smoke detection *Image and Vision Computing*. 2013, vol. 31, iss.10, p. 786–795.
11. Habiboglu Y. H., Gunay O., Cetin A. E. Real-time wildfire detection using correlation descriptors 19th *European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*. 2011, p. 894–898.
12. Krstinić Damir, Stipaničev Darko, Jakovčević Toni. Histogram – based segmentation fire detection system. *Information technology and control*. 2009, vol. 38, no. 3, p. 237–244.
13. Liao W. H., T. J. Young, Texture classification using uniform extended local ternary patterns. *International Symposium on Multimedia*. 2010, p. 191–195.
14. Zhao G., Pietikainen M. Dynamic Texture Recognition Using Local Binary Patterns with an Application to Facial Expressions, Senior Member, *Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2007, no. 7.
15. Yuan Feiniu. Rotation and Scale Invariant Local Binary Pattern Based on High Order Directional Derivatives for Texture Classification. *Digital Signal Processing*, 2014, no. 26, p. 142–152.
16. Hui Zho, Runsheng Wang, Cheng Wang. A Novel Extended Local-Binary-Pattern Operator for Texture Analysis. *Information Sciences*, 2008, vol. 178, iss. 22, p. 4314–4325.
17. Péteri Renaud, Sándor Fazekas, Mark J. Huiskes. DynTex: A comprehensive database of dynamic textures. *Pattern Recognition Letters*, 2010, no. 1, p. 1627–1632.

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КОМПЬЮТЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ
АВТОМАТИЧЕСКИ ГЕНЕРИРУЕМЫХ АНСАМБЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

М. Е. Семенкина, Е. А. Попов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: semenkina88@mail.ru, epopov@bmail.ru

При современном уровне развития компьютерных систем и их взаимосвязей задачи обеспечения информационной безопасности становятся все более актуальными. Автоматизация проектирования детекторов спама, атак на компьютерные сети способна повысить скорость реагирования на вновь возникающие угрозы. Нейронные сети являются одним из наиболее часто применяемых для этих целей подходов, однако их создание является сложной интеллектуальной процедурой. Качество получаемых решений может быть повышено за счет создания ансамблей нейронных сетей. Поэтому автоматизация проектирования ансамблей нейронных сетей при помощи эволюционных алгоритмов способна освободить экспертов в области компьютерной безопасности от необходимости разработки алгоритмического ядра и избежать высоких требований к квалификации конечных пользователей. Однако эффективность применения эволюционных алгоритмов существенно зависит от выбора их настроек, что является сложной задачей даже для специалистов в области эволюционного моделирования. Поэтому для автоматизации настройки эволюционных методов используется самоконфигурация в ходе работы алгоритма. Предлагается использовать самоконфигурируемый алгоритм генетического программирования для создания символического выражения, учитывающего решения отдельных нейронных сетей из предварительного пула, содержащего 20 нейронных сетей, заранее автоматически сгенерированных при помощи самоконфигурируемого алгоритма генетического программирования. Тестирование предлагаемых алгоритмов выполнялось на репрезентативном множестве тестовых задач и показало высокую эффективность автоматического генерирования ансамблей нейронных сетей на основе самоконфигурируемых эволюционных алгоритмов. Эффективность разработанного подхода была оценена на двух задачах из области компьютерной безопасности, таких как обнаружение спама и выявление PROBE-атак. Проведенное сравнение с альтернативными подходами показало, что рассматриваемый в данной статье метод способен эффективно решать задачи, стоящие перед экспертами в области безопасности компьютерных систем.

Ключевые слова: эволюционные алгоритмы, самоконфигурирование, искусственные нейронные сети, ансамбль, автоматическое генерирование, обнаружение спама, выявление PROBE-атак.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 115–121**COMPUTER SECURITY PROBLEMS SOLVING
BY AUTOMATICALLY DESIGNED NEURAL NETWORK ENSEMBLES**

M. E. Semenkina, E. A. Popov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: semenkina88@mail.ru, epopov@bmail.ru

Today, computers are becoming more powerful and interconnected that makes their security one of the most important concerns. Conventional security software requires a lot of human effort to identify and work out threats. This human labor intensive process can be more efficient by applying machine learning algorithms. Artificial neural networks are one of the most widely used data mining techniques here. The highly increasing computing power and technology made possible the use of more complex intelligent architectures, taking advantage of more than one intelligent system in a collaborative way. This is an effective combination of intelligent techniques that outperforms or competes to simple standard intelligent techniques. One of the hybridization forms, the ensemble technique, has been applied in many real world problems. In this paper, artificial neural networks based ensembles are used for solving the computer security problems. We apply the self-configuring genetic programming technique to construct symbolic regression formula that shows how to compute an ensemble decision using the component ANN decisions. The algorithm involves different operations and math functions and uses the models providing the diversity among the ensemble members. Namely, we use

neural networks, automatically designed with our GP algorithm, as the ensemble members. The algorithm automatically chooses component ANNs which are important for obtaining an efficient solution and doesn't use the others. Performance of the approach is demonstrated with test problems and then applied to two real world problems from the field of computer security – intrusion and spam detection. The proposed approach demonstrates results competitive to known techniques. With the approach developed an end user has no necessity to be an expert in the computational intelligence area but can implement the reliable and effective data mining tool.

Keywords: evolutionary algorithms, self-configuration, artificial neural networks, ensemble, automated design, spam and intrusion detection.

Введение. В современном мире компьютерные системы становятся все более мощными и вместе с тем все более взаимосвязанными, что делает обеспечение компьютерной безопасности одной из наиболее важных задач. Все более разнообразные атаки несут все больше опасности, начиная от нежелательных сообщений по электронной почте, которые могут обмануть пользователей и тем самым предоставить доступ к компьютеру опасным вирусам, которые могут уничтожить данные или нарушить функционирование компьютерных систем. Обычно для обеспечения безопасности прилагается большое количество ресурсов для выявления угроз и выработки методов противодействия. Этот процесс, требующий привлечения экспертов, может быть более эффективным в случае применения алгоритмов автоматического обучения [1]. Существует множество исследований, связанных с применением методов интеллектуального анализа данных для решения конкретных задач компьютерной безопасности, например, обнаружение вторжения [2–5] или обнаружение спама [6]. Искусственные нейронные сети (ИНС) являются одним из наиболее широко используемых методов интеллектуального анализа данных ([6–10]) в системах компьютерной безопасности.

Увеличение вычислительных мощностей и развитие технологий сделали возможным использование более сложных архитектур интеллектуальных информационных систем, использующих более одной интеллектуальной технологии в процессе решения задачи. При эффективном сочетании интеллектуальных технологий результаты превосходят или сопоставимы с результатами отдельных интеллектуальных информационных технологий.

Один из видов гибридизации – ансамбль – применялся при решении многих реальных задач. Было отмечено, что разнообразие членов, составляющих ансамбль, играет важную роль в данном подходе [11]. Для поддержания разнообразия среди членов ансамбля были предложены различные методы, такие как алгоритмы, работающие на различных наборах функций [12], или обучение на различных подмножествах (например, бэггинг [13] и бустинг [14]). Некоторые методы, такие как нейронные сети, могут быть обучены на одних и тех же наборах данных, однако иметь разнообразные структуры [15]. Простое усреднение, взвешенное усреднение, принятие решений большинством голосов и ранжирование являются общими методами, обычно применяемыми для расчета выхода ансамбля.

Йоханссон и др. [16] использовали алгоритм генетического программирования (ГП) [17] для построе-

ния ансамбля из predetermined числа ИНС, где функциональное множество состояло из операций усреднения и умножения и в терминальное множество вошли модели (т. е. ИНС) и константы. В работе [18] был предложен подобный подход, в котором сначала генерируется определенное количество нейронных сетей, а затем применяется алгоритм ГП, создающий символьное выражение для учета мнений отдельных членов ансамбля.

В этой статье применяется самоконфигурируемый алгоритм генетического программирования для построения формулы, которая показывает, как вычислить решение ансамбля с использованием решений отдельных нейронных сетей. Алгоритм включает в себя различные операции и математические функции и использует различные модели для поддержания разнообразия среди участников ансамбля. А именно, в качестве участников ансамбля используются нейронные сети, автоматически сгенерированные с помощью алгоритма генетического программирования. Алгоритм автоматически выбирает ИНС, которые являются важными для получения эффективного решения и не использует другие.

При использовании разработанного алгоритма конечные пользователи не должны быть экспертами в области интеллектуального анализа данных, но смогут получать надежные и эффективные решения. Это делает подход очень полезным для специалистов в области компьютерной безопасности, так как освобождает их от дополнительных усилий при применении интеллектуальных информационных технологий (ИИТ) и позволяет им сосредоточить свое внимание в области их экспертизы, т. е. компьютерной безопасности как таковой.

Самоконфигурируемый алгоритм генетического программирования. Прежде чем предложить использовать алгоритм генетического программирования конечным пользователям, например специалистам по компьютерной безопасности, для разработки инструментов анализа, необходимо освободить их настройки эволюционных алгоритмов, что является проблемой даже для экспертов в эволюционных вычислениях. Выбор параметров и настроек алгоритма генетического программирования является действительно трудоемким процессом, поэтому необходимо предложить способ для снятия этой проблемы.

Применяемый в данной работе алгоритм использует динамическую адаптацию вероятностей применения операторов на уровне популяции и централизованную методику управления [19; 20]. Чтобы избежать сложностей при настройке вещественных параметров, используется дискретное множество вариантов

настроек, а именно, типы селекций, скрещивания и уровней мутации (средний, низкий, высокий). Каждый из типов операторов имеет свое собственное распределение вероятностей. Например, есть 5 видов селекций: пропорциональная, ранговая, турнирная с тремя размерами турнира. Во время инициализации все вероятности равны 0,2, а в ходе выполнения алгоритма они будут меняться в соответствии с особым правилом таким образом, что сумма вероятностей будет всегда равна 1 и ни одна вероятность не сможет быть меньше, чем заранее определенное значение.

Когда алгоритм создает следующее поколение, сначала необходимо сформировать список операторов с помощью распределения вероятностей применения операторов. Затем алгоритм выбирает родителей при помощи выбранного оператора селекции, генерирует потомков при помощи выбранного оператора скрещивания, мутирует с выбранным уровнем мутаций и сохраняет потомков в промежуточной популяции. Когда промежуточная популяция заполняется, вычисляется пригодность и обновляется распределение вероятностей оператора в соответствии с эффективностью оператора. Эффективность оператора есть отношение средней пригодности потомков, полученных при помощи этого оператора, и средней пригодности всей популяции потомков. Победивший оператор увеличивает вероятность своего применения за счет остальных операторов. После этого формируется родительская популяция. Алгоритм останавливается при выполнении критерия остановки. Данный алгоритм будем называть самоконфигурируемым алгоритмом генетического программирования (SelfCGP).

Так как общепринятый набор тестовых задач для алгоритмов генетического программирования является «открытым вопросом» [21], были использованы задачи символьной регрессии с 17 тестовыми функциями из [22] для предварительной оценки. Результаты тестирования [23] продемонстрировали, что в среднем надежность SelfCGP по 17 тестовым функциям выше, чем усредненная лучшая надежность стандартного алгоритма генетического программирования. Кроме того, SelfCGP превосходит стандартный алгоритм генетического программирования и по расходу вычислительных ресурсов. Основное преимущество самоконфигурируемого алгоритма генетического программирования заключается в отсутствии необходимости выбора параметров алгоритма без каких-либо потерь в производительности, что делает данный алгоритм удобным для применения конечными пользователями, не являющимися экспертами в области эволюционного моделирования.

Автоматическое генерирование искусственных нейронных сетей при помощи самоконфигурируемого алгоритма генетического программирования. Обычно алгоритмы генетического программирования работают с представлением хромосомы в виде дерева, определяемого функциональным и терминальным множествами, и используют специальные операции преобразования решений (селекция, скрещивание, мутация и др.) до тех пор, пока не будет выполнено условие критерия остановки [17].

Для автоматического создания искусственных нейронных сетей в функциональное множество были включены 16 функций активации, таких как биполярная сигмоида, однополярная сигмоида, линейная функция, пороговая функция, гауссиан и др. Функциональное множество включает в себя специальные операции для постановки нейронов и групп нейронов в различные слои и создания связей между ними.

Алгоритм генетического программирования формирует деревья, из которых получаются структуры нейронных сетей. Обучение нейронных сетей проводят для оценки их пригодности, которая зависит от точности аппроксимации или количества неправильно классифицированных случаев. Все весовые коэффициенты нейронной сети настраиваются с помощью самоконфигурируемого генетического алгоритма (SelfCGA) [24], работающего аналогично SelfCGP, не требующего усилий конечных пользователей для настройки алгоритма. Лучшее решение, найденное алгоритмом генетического программирования, дает структуру нейронной сети, которая дополнительно настраивается при помощи самоконфигурируемого генетического алгоритма, гибридного с локальным спуском.

Сравнение эффективности нейронных сетей, созданных при помощи самоконфигурируемого алгоритма генетического программирования, выполнялось с альтернативными методами на множестве задач из [25]. Материалы для сравнения были получены из [26], где вместе с результатами авторского алгоритма (CROANN) были приведены результаты 15 других подходов при решении трех задач классификации (ирисы, рак, диабет) из [25].

Анализируя результаты сравнения, можно заметить, что эффективность рассмотренного подхода достаточно высока по сравнению с альтернативными алгоритмами (1-е, 3-е и 4-е места из 15 соответственно). Однако главное преимущество предложенного подхода заключается в отсутствии необходимости для конечного пользователя в экспертных знаниях о нейросетевом моделировании и эволюционных методах. Дополнительным преимуществом является размер получаемых нейронных сетей, которые содержат немного нейронов на скрытом слое и связей между ними, а кроме того, используют не все доступные входные задачи, осуществляя таким образом автоматический отбор наиболее информативных признаков.

Можно заключить, что самоконфигурируемый алгоритм генетического программирования является подходящим инструментом для автоматического создания нейронных сетей, который можно использовать для генерирования ансамблей нейронных сетей.

Объединение ансамблей нейронных сетей и самоконфигурируемого алгоритма генетического программирования. Имея подходящий инструмент для автоматизированного проектирования ИНС, который не требует усилий пользователя для своей настройки, можно применить алгоритм SelfCGP для построения формулы вычисления решения ансамбля с использованием решений отдельных нейронных сетей. Алгоритм генетического программирования для символьной регрессии (построения аналитических

выражений) включает в себя различные операции и математические функции и использует нейросетевые модели, обеспечивающие разнообразие среди участников ансамбля. В численных экспериментах в качестве участников ансамбля использовались нейронные сети, автоматически разработанные алгоритмом SelfCGP. Алгоритм из заданного набора автоматически выбирает ИНС, которые являются важными для получения эффективного решения, и не использует другие. Члены будущего ансамбля выбираются из предварительного пула, который включает в себя 20 ИНС, созданных заранее с помощью SelfCGP. Для проектирования каждой ИНС наборы данных были случайным образом разделены на три части, а именно, обучающая выборка для отдельных ИНС (60 %), проверочная выборка для отдельных ИНС (20 %) и тестовая выборка для ансамблей ИНС (20 %).

Сначала было выполнено сравнение эффективности метода построения ансамбля на основе SelfCGP с альтернативными подходами. Для этого были использованы те же три задачи из [25] и одна реальная задача анализа данных о прогнозировании деградации солнечных батарей (SAD) из [27]. Усредненные по 20 прогонам результаты представлены в табл. 1. Вторая строка табл. 1 содержит эффективность отдельной нейронной сети, сгенерированной при помощи SelfCGP. Числа в первых трех столбцах представляют собой ошибку классификации, вычисленную по формулам из [26]. В последнем столбце для задачи прогнозирования деградации солнечных батарей космического аппарата приведено относительное отклонение от истинных значений.

Результаты в табл. 1 показывают, что метод построения ансамбля ИНС на основе SelfCGP превосходит как стандартные методы построения ансамблей, так и отдельные нейронные сети, сгенерированные с помощью SelfCGP.

Генерирование ансамблей нейронных сетей для решения задач компьютерной безопасности. Убедившись в обоснованности выбранного подхода, проверим его эффективность при решении сложных задач из области компьютерной безопасности.

Первой задачей является обнаружение PROBE-атак. Соответствующее множество данных “KDD’99

Сип” взято из репозитория машинного обучения [25]. Для оценки эффективности подхода все примеры, относящиеся к PROBE-атакам, были помечены как принадлежащие к первому классу, остальные принадлежат ко второму классу. В ходе экспериментов использовались только следующие атрибуты: 1, 3, 5, 8, 33, 35, 37, 40. Выбор этих атрибутов был выполнен эмпирически на основе анализа литературы, их описание можно найти в [28]. Результаты сравнивались с альтернативными подходами из [29]. Результаты сравнения представлены в табл. 2 ниже.

Из табл. 2 можно заключить, что детектор атак, автоматически сгенерированный самоконфигурируемым алгоритмом генетического программирования для создания ансамблей ИНС, демонстрирует высокую эффективность, сравнимую с лучшими известными результатами (PSO-RF и RF). Классификатор на основе отдельных ИНС, сгенерированных с помощью SelfCGP, также демонстрирует вполне конкурентоспособную эффективность.

Второй задачей является обнаружение спама в электронной почте. Соответствующий набор данных был также взят из [25]. Этот набор данных включает в себя 4600 примеров сообщений, как являющихся спамом, так и не являющихся. Данные содержат 57 атрибутов, два из которых являются целыми числами, а остальные – вещественными. Детектор должен отделить спам от не спама.

Результаты альтернативных подходов для сравнения были взяты из [30], где было выполнено сравнение эффективности многоуровневых персептронов (MLP) и метода создания ансамбля на основе многоуровневых персептронов AdaBoost (Boost). Результаты нашего подхода были усреднены по 20 прогонам. Сравнение результатов приведено в табл. 3.

По табл. 3 можно увидеть, что ансамбли ИНС, автоматически сгенерированные при помощи SelfCGP, превосходят все другие подходы, второе место занимает ансамбль принятия решения большинством голосов на основе нейронных сетей, сгенерированных при помощи SelfCGP. Более того, отдельные нейронные сети, сгенерированные при помощи SelfCGP, превосходят альтернативные подходы (Boost, RL).

Таблица 1

Сравнение методов ансамблирования

Классификаторы	Ирисы (% ошибок)	Рак (% ошибок)	Диабет (% ошибок)	SAD (относительное отклонение)
SelfCGP+ANN+Ensemble	0	0	17,18	0,0418
SelfCGP+ANN	0,0133	1,05	19,69	0,0543
Ансамбль ИНС с взвешенным усреднением	0,0267	1,03	19,03	0,0503
Ансамбль ИНС с простым усреднением	0,0267	1,09	19,75	0,0542

Таблица 2

Сравнение эффективности алгоритмов при решении обнаружения PROBE-атак

Классификаторы	Доля обнаружения, %	Доля ложноположительных результатов, %
PSO-RF	99,92	0,029
SelfCGP+ANN+Ensemble	99,79	0,027
Random Forest	99,80	0,100
SelfCGP+ANN	98,78	0,097
Bagging	99,60	0,100

Классификаторы	Доля обнаружения, %	Доля ложноположительных результатов, %
PART (C4.5)	99,60	0,100
NBTree	99,60	0,100
Jrip	99,50	0,100
Ансамбль с голосованием большинством голосов	99,41	0,043
Ансамбль с взвешенным усреднением	99,17	0,078
Ансамбль с простым усреднением	99,18	0,122
BayesNet	98,50	1,000
SMO (SVM)	84,30	3,800
Logistic	84,30	3,400

Таблица 3

Сравнение эффективности детекторов спама

Детекторы	Ошибка, %
SelfCGP+ANN+Ensemble	5,04
Ансамбль с принятием решения большинством голосов	5,23
Ансамбль с взвешенным усреднением	5,33
Ансамбль с простым усреднением	5,43
SelfCGP+ANN	5,43
Boost	6,48
RL	7,41
MLP	8,33

Заключение. Автоматическое проектирование ансамблей ИНС на основе SelfCGP позволяет повысить эффективность анализа данных. Полученные результаты подтверждены при решении двух реальных задач из области компьютерной безопасности.

Вычислительные усилия для реализации описанного подхода и сложность получаемой модели выше по сравнению с какой-либо отдельной интеллектуальной информационной технологией. Тем не менее это обычный недостаток любой техники ансамблирования, что компенсируется более высокой эффективностью. Действительно дополнительный расход вычислительных ресурсов вызван необходимостью запуска алгоритма генетического программирования, генерирующего формулу учета мнений отдельных ИНС. Однако этот дополнительный расход значительно меньше, чем требуется для генерирования даже одной ИНС, т. е. не может рассматриваться как серьезный недостаток в условиях применения (т. е. проектирования) десятков ИНС. В то же время, эксперименты показывают, что SelfCGP никогда не включает в ансамбль все отдельные ИНС, содержащиеся в исходном наборе, а выбирает лишь несколько из них. Так как большая часть вычислительной сложности ансамбля состоит из вычислительных усилий, необходимых для расчета выхода для каждой отдельной ИНС, то предложенный подход имеет преимущество по сравнению с обычными методами ансамблирования, которые применяют все доступные отдельные ИНС для последующего усреднения или голосования. Напомним также, что конечный пользователь не должен быть экспертом в области вычислительного интеллекта, но при этом может использовать надежный и эффективный инструмент интеллектуального анализа данных. Все это позволяет сделать вывод, что разработанный в данном исследовании инструмент очень полезен для специалистов по компьютерной

безопасности, так как освобождает их от дополнительных усилий по разработке и реализации алгоритмического ядра для создания интеллектуальных информационных технологий.

Дальнейшее развитие этого подхода направлено на расширение его функциональности путем включения других видов ИИТ (систем на нечеткой логике, деревьев решений, нейро-нечетких систем, других видов ИНС и т. д.).

Библиографические ссылки

1. Machine Learning and Data Mining for Computer Security / M. Maloof (ed.). Springer, 2006.
2. Victoire T. A., Sakthivel M. A. Refined Differential Evolution Algorithm Based Fuzzy Classifier for Intrusion Detection // European Journal of Scientific Research. 2011. Vol. 65. No. 2. P. 246–259.
3. Bloedorn E. E., Talbot L. M., DeBarr D. D. Data Mining Applied to Intrusion Detection: MITRE Experiences // Machine Learning and Data Mining for Computer Security: Methods and Applications. London : Springer, 2006.
4. Julisch K. Intrusion Detection Alarm Clustering // Machine Learning and Data Mining for Computer Security Methods and Applications. London : Springer, 2006.
5. Patcha A., Park J.-M. An Overview of Anomaly Detection Techniques: Existing Solutions and Latest Technological Trends // Computer Networks. 2007.
6. Özgür L., Güngör T., Gürgeç F. Spam Mail Detection Using Artificial Neural Network and Bayesian Filter // Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2004 : Lecture Notes in Computer Science. 2004. Vol. 3177. P. 505–510.
7. An intrusion detection system based on neural network / C. Han [et al.] // Proceedings of Mechatronic Sci-

ence, Electric Engineering and Computer (MEC). 2011. P. 2018–2021.

8. Analysis of ANN-based Echo State Network Intrusion Detection in Computer Networks / S. Saravanakumar [et al.] // *International Journal of Computer Science and Telecommunications*. 2012. Vol. 3, No. 4. P. 8–13.

9. Network intrusion detection system: A machine learning approach / M. Panda [et al.] // *Intelligent Decision Technologies*. 2011. Vol. 5(4). P. 347–356.

10. A Comparative Analysis of Artificial Neural Network Technologies in Intrusion Detection Systems / S. Pervaz [et al.] // *Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Multimedia, Internet & Video Technologies*. 2006. P. 84–89.

11. Dietterich T. G. An experimental comparison of three methods for constructing ensembles of decision trees: bagging, boosting, and randomization // *Machine Learning*. 2000. Vol. 40, No. 2. P. 139–158.

12. Ho T. K., Hull J. J., Srihari S. N. Decision combination in multiple classifier systems // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1994. Vol. 16, No. 1. P. 66–75.

13. Breiman L. Bagging predictors // *Machine Learning*. 1996. Vol. 24 (2). P. 123–140.

14. Friedman J. H., Hastie T., Tibshirani R. Additive logistic regression: a statistical view of boosting // *Annals of Statistics*. 2000. Vol. 28, No. 2. P. 337–374.

15. A learning algorithm for neural network ensembles / Navone H. D. [et al.] // *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. 2001. No. 12. P. 70–74.

16. Building Neural Network Ensembles using Genetic Programming / U. Johansson [et al.] // *International Joint Conference on Neural Networks*. 2006.

17. Poli R., Langdon W. B., McPhee N. F. A Field Guide to Genetic Programming [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gp-field-guide.org.uk>.

18. Bukhtoyarov V., Semenkina O. Comprehensive evolutionary approach for neural network ensemble automatic design // *Proceedings of the IEEE World Congress on Computational Intelligence*. 2010. P. 1640–1645.

19. Gomez J. Self-Adaptation of Operator Rates in Evolutionary Algorithms // *GECCO 2004, LNCS*. 2004. Vol. 3102. P. 1162–1173.

20. Meyer-Nieberg S., Beyer H.-G. Self-Adaptation in Evolutionary Algorithms // *Parameter Setting in Evolutionary Algorithm*. 2007. P. 47–75.

21. Open issues in genetic programming / M. O'Neill [et al.] // *Genetic Programming and Evolvable Machines*. 2010. Vol. 11. P. 339–363.

22. Real-parameter black-box optimization benchmarking 2009 / S. Finck [et al.] // *Presentation of the noiseless functions*. Technical Report Research Center PPE. 2009.

23. Semenkina E., Semenkina M. Self-configuring genetic programming algorithm with modified uniform crossover // *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2012)*. 2012. P. 1918–1923.

24. Semenkina E., Semenkina M. Self-Configuring Genetic Algorithm with Modified Uniform Crossover Operator // *ICSI 2012. LNCS*. 2012. Vol. 7331, Part 1. P. 414–421.

25. Frank A., Asuncion A. UCI Machine Learning Repository [Электронный ресурс]. Irvine, CA : University of California, School of Information and Computer Science, 2010. URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml>.

26. Yu J. J. Q., Lam A. Y. S., Li V. O. K. Evolutionary Artificial Neural Network Based on Chemical Reaction Optimization // *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2011)*. 2011.

27. Bukhtoyarov V., Semenkina E., Shabalov A. Neural Networks Ensembles Approach for Simulation of Solar Arrays Degradation Process // *Hybrid Artificial Intelligent Systems : Lecture Notes in Computer Science*. 2012. Vol. 7208. P. 186–195.

28. Cost-based Modelling for Fraud and Intrusion Detection: Results from the JAM Project / S. Stolfo [et al.] // *Proceedings of the 2000 DARPA Information Survivability Conference and Exposition (DISCEX '00)*. 2000.

29. Malik A. J., Shahzad W., Khan F. A. Binary PSO and random forests algorithm for PROBE attacks detection in a network // *IEEE Congress on Evolutionary Computation*. 2011. P. 662–668.

30. Dimitrakakis C., Bengio S. Online Policy Adaptation for Ensemble Classifiers // *IDIA Research Report 03–69*. 2006.

References

1. Maloof M. (ed.) *Machine Learning and Data Mining for Computer Security*. Springer. 2006.

2. Victoire T. A., Sakthivel M. A Refined Differential Evolution Algorithm Based Fuzzy Classifier for Intrusion Detection. *European Journal of Scientific Research*, 2011, vol. 65, no. 2, p. 246–259.

3. Bloedorn E. E., Talbot L. M., DeBarr D. D. Data Mining Applied to Intrusion Detection: MITRE Experiences. *Machine Learning and Data Mining for Computer Security: Methods and Applications*. London: Springer, 2006.

4. Julisch K. Intrusion Detection Alarm Clustering. *Machine Learning and Data Mining for Computer Security Methods and Applications*. London, Springer, 2006.

5. Patcha A., Park J.-M. An Overview of Anomaly Detection Techniques: Existing Solutions and Latest Technological Trends. *Computer Networks*, 2007.

6. Özgür L., Güngör T., Gürgen F. Spam Mail Detection Using Artificial Neural Network and Bayesian Filter. *Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2004. Lecture Notes in Computer Science*, 2004, vol. 3177, p. 505–510.

7. Han C., Li Y., Yang D., Hao Y. An intrusion detection system based on neural network *Proceedings of Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, 2011, p. 2018–2021.

8. Saravanakumar S., Mohanaprakash T. A., Dharani R., Kumar C. J. Analysis of ANN-based Echo State Network Intrusion Detection in Computer Networks. *International Journal of Computer Science and Telecommunications*, 2012, vol. 3, no. 4, p. 8–13.

9. Panda M., Abraham A., Das S., Patra M. R. Network intrusion detection system: A machine learning approach. *Intelligent Decision Technologies*, 2011, vol. 5(4), p. 347–356.

10. Pervez S., Ahmad I., Akram A., Swati S. U. A Comparative Analysis of Artificial Neural Network Technologies in Intrusion Detection Systems. *Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Multimedia, Internet & Video Technologies*, 2006, p. 84–89.
11. Dietterich T. G. An experimental comparison of three methods for constructing ensembles of decision trees: bagging, boosting, and randomization. *Machine Learning*, 2000, vol. 40, no. 2, p. 139–158.
12. Ho T. K., Hull J. J., Srihari S. N. Decision combination in multiple classifier systems. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, vol. 16, no. 1, p. 66–75.
13. Breiman L. Bagging predictors. *Machine Learning*, 1996, vol. 24 (2), p. 123–140.
14. Friedman J. H., Hastie T., Tibshirani R. Additive logistic regression: a statistical view of boosting. *Annals of Statistics*, 2000, vol. 28, no. 2, p. 337–374.
15. Navone H. D., Granitto P. M., Verdes P. F., Cecatto H.A. A learning algorithm for neural network ensembles. *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 2001, no. 12, p. 70–74.
16. Johansson U., Lofstrom T., Konig R., Niklasson L. Building Neural Network Ensembles using Genetic Programming. *International Joint Conference on Neural Networks*. 2006.
17. Poli R., Langdon W. B., McPhee N. F. A Field Guide to Genetic Programming. Available at: <http://www.gp-field-guide.org.uk>.
18. Bukhtoyarov V., Semenkin O. Comprehensive evolutionary approach for neural network ensemble automatic design. *Proceedings of the IEEE World Congress on Computational Intelligence*, 2010, p. 1640–1645.
19. Gomez J. Self-Adaptation of Operator Rates in Evolutionary Algorithms. *GECCO 2004, LNCS*, 2004, vol. 3102, p. 1162–1173.
20. Meyer-Nieberg S., Beyer H.-G. Self-Adaptation in Evolutionary Algorithms. *Parameter Setting in Evolutionary Algorithm*, 2007, p. 47–75.
21. O'Neill M., Vanneschi L., Gustafson S., Banzhaf W. Open issues in genetic programming. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 2010, vol. 11, p. 339–363.
22. Finck S., et al. Real-parameter black-box optimization benchmarking 2009. *Presentation of the noiseless functions. Technical Report Research Center PPE*. 2009.
23. Semenkin E., Semenkin M. Self-configuring genetic programming algorithm with modified uniform crossover. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2012)*, 2012, p. 1918–1923.
24. Semenkin E., Semenkin M. Self-Configuring Genetic Algorithm with Modified Uniform Crossover Operator. *ICSI 2012. LNCS*, 2012, vol. 7331, part 1, p. 414–421.
25. Frank A., Asuncion A. UCI Machine Learning Repository. Available at: <http://archive.ics.uci.edu/ml>. Irvine, CA: University of California, School of Information and Computer Science, 2010.
26. Yu J. J. Q., Lam A. Y. S., Li V. O. K. Evolutionary Artificial Neural Network Based on Chemical Reaction Optimization. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC'2011)*. 2011.
27. Bukhtoyarov V., Semenkin E., Shabalov A. Neural Networks Ensembles Approach for Simulation of Solar Arrays Degradation Process. *Hybrid Artificial Intelligent Systems. Lecture Notes in Computer Science*, 2012, vol. 7208, p. 186–195.
28. Stolfo S., Fan W., Lee W., Prodromidis A., Chan P. Cost-based Modelling for Fraud and Intrusion Detection: Results from the JAM Project. *Proceedings of the 2000 DARPA Information Survivability Conference and Exposition (DISCEX '00)*. 2000.
29. Malik A. J., Shahzad W., Khan F. A.: Binary PSO and random forests algorithm for PROBE attacks detection in a network. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2011, p. 662–668.
30. Dimitrakakis C., Bengio S. Online Policy Adaptation for Ensemble Classifiers. *IDIAP Research Report 03-69*. 2006.

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДЫ MOODLE В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ
ИНСТИТУТА КОСМИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СФУ**

Т. В. Сидорова, В. А. Шершнева, И. Ф. Космидис, Т. В. Зыкова, А. А. Кытманов

Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий
Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. академика Киренского, 26
E-mail: stany6@yandex.ru

Рассматривается использование веб-ориентированной модульной обучающей среды Moodle при обучении математическим дисциплинам студентов Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, направленной на повышение качества математического образования и эффективное формирование математической компетентности студентов. Одним из методов реализации принципов электронного обучения является использование электронных обучающих курсов вместе с традиционными формами обучения. Представлены основные требования, предъявляемые к электронному обучающему курсу. Проведено описание организации электронного обучающего курса в среде Moodle по дисциплине «Алгебра и геометрия». Описаны подходы к формированию дидактических материалов электронных обучающих курсов по математическим дисциплинам. За время внедрения в эксплуатацию накоплены статистические данные по результатам изучения математических дисциплин студентами Института космических и информационных технологий СФУ. Статистические данные представлены в виде оценок за выполненную самостоятельную работу по разделам и модулям математических дисциплин, а также в виде результатов контрольных тестов по каждому модулю. Проведен статистический анализ результатов внедрения электронного обучающего курса в учебный процесс дисциплин «Математический анализ», «Алгебра и геометрия». Проанализирована зависимость между выполнением самостоятельной работы студентами в веб-ориентированной среде Moodle и результатами контрольных тестирований. Показано, что выполнение студентами самостоятельных заданий электронного обучающего курса способствует получению более высоких результатов выполнения итоговых тестирований по модулям и дисциплине в целом. Отмечается ряд преимуществ использования электронной обучающей среды в обучении математике по сравнению с традиционной системой. Показано, что обучение с применением информационно-коммуникационных технологий позволяет оперативно анализировать типовые ошибки студентов, видеть динамику уровня сформированности математической компетентности через уровень формирования её индикаторов. Сделаны выводы об эффективности использования электронных обучающих курсов в учебном процессе, а также о перспективах дальнейшего применения электронных обучающих курсов математических дисциплин.

Ключевые слова: электронное обучение, сетевые образовательные ресурсы, математическая компетентность, информационно-коммуникационные технологии, обучающая среда.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 122–127**USING THE MOODLE SYSTEM IN TEACHING OF MATHEMATICS
FOR STUDENTS OF THE INSTITUTE OF SPACE
AND INFORMATION TECHNOLOGIES OF SFU**

T. V. Sidorova, V. A. Shershneva, I. F. Kosmidis, T. V. Zyкова, A. A. Kytmanov

Siberian Federal University, Institute of space and informatic technologies
26, Kirenskiy Str., Krasnoyarsk, 660079, Russian Federation
E-mail: stany6@yandex.ru

In the present paper we give the description of learning focused modular environment Moodle for study of mathematical disciplines of students of Institute of space and information technologies of the Siberian federal university directed on improvement of quality of mathematical education and effective formation of mathematical competence students. It is carried out the statistical analysis of results of introduction of the electronic training course to the educational process of disciplines "Mathematical analysis", "Algebra and geometry". During the introduction in studying process the statistics of the learning results of mathematical disciplines for students of the Institute of Space and Information Technologies SFU is accumulated. Statistical data are presented in the form of grades for independent work by sections and modules of mathematical disciplines, as well as the results of control tests for each module. The statistical analysis of the results of the implementation of e-learning course in the studying process of disciplines "Mathematical

analysis", "Algebra and Geometry" is shown. It is determined the dependence between the performance of independent work of students in a web-oriented environment Moodle and the results of control tests. It is shown that the performance of students' independent assignments e-learning course contributes to higher results of a final test on the modules and the discipline as a whole. A number of advantages of using the e-learning system in teaching of mathematics in comparison with the traditional system is noted. It is shown that learning with the use of information and communication technology allows you to quickly analyze the typical errors of students and to see the dynamics of the level of formation of mathematical competence through the formation of its indicators. It is made the conclusion about the effectiveness of e-learning courses in the educational process. It is determined the prospects for further application of e-learning courses of mathematical disciplines.

Keywords: e-learning, network educational resources, mathematical competence, information and communication technologies, learning environment.

Введение. Преподавание дисциплин в соответствии с требованиями ФГОС ВПО предполагает широкое использование интерактивных форм обучения. Развитие информационно-коммуникационных технологий открывает большие возможности их использования в обучении, например, в виде электронных обучающих курсов, что отвечает требованиям современных стандартов образования. Кроме этого, современные исследования показывают изменения в мировых стандартах инженерного образования [1–3].

Серьезным помощником в учебном процессе становится электронное обучение, реализуемое различными способами на основе информационных и коммуникационных технологий. Одним из главных принципов электронного обучения является использование глобальной сети Интернет, позволяющее оптимизировать процесс обучения. Электронное обучение объединяет преподавателей, специалистов и студентов. Обучаемые могут учиться «в одиночку» в соответствии с учебным планом и выбранным индивидуальным графиком обучения, а также формировать виртуальные клубы по интересам.

Одним из методов реализации принципов электронного обучения является использование электронных учебных курсов вместе с традиционными формами обучения. Они позволяют визуализировать учебный материал и развивать познавательную деятельность студентов [4]. Сочетание традиционных форм лекционных и практических занятий с самостоятельной домашней работой в онлайн-режиме с использованием личностно ориентированной веб-программы способствует более глубокому усвоению материала.

Работа в электронной обучающей среде позволит студенту формировать и оценивать знания и компетенции как на аудиторных занятиях, так и в рамках самостоятельной работы в любое удобное для него время за счет средств удаленного доступа, а преподавателю – осуществлять мониторинг такой учебно-познавательной деятельности [5; 6].

Обучение с применением электронных курсов. С 2010 г. в Институте космических и информационных технологий Сибирского федерального университета реализуется проект по разработке и использованию электронных обучающих курсов в учебном процессе. Рассмотрим некоторые теоретические и методические аспекты обучения математическим дисциплинам в веб-ориентированной электронной обучающей среде Moodle и проведем анализ на основании накопленного опыта.

На основе анализа требований, предъявляемых к электронным обучающим курсам [7], в 2010 г. были созданы первые обучающие курсы в веб-ориентированной среде Moodle. В числе основных требований, предъявляемых к ним, были выделены следующие [8]:

- наличие электронного учебника и других учебно-методических материалов для аудиторных занятий и самостоятельной работы;
- возможность доступа не только к основным, но и дополнительным источникам информации, к которым можно обратиться при желании более глубоко изучить материал;
- наличие задач, в процессе решения которых возможно автоматически фиксировать, что именно вызывает у студентов затруднение, а что усваивается быстро.

Отметим, что использование различных электронных обучающих курсов позволяет визуализировать учебный материал и развивать познавательную деятельность студентов [9; 10]. Однако создание таких курсов затрудняет отсутствие универсальной технологии их разработки, в частности, это касается выбора дидактических материалов.

В работе [11] были представлены примеры подходов к представлению дидактического материала (контента [12]) в обучении дисциплине «Математический анализ», базирующихся на основе интеграции математических и информационных дисциплин. Такие подходы в настоящее время реализуются в Институте космических и информационных технологий СФУ при поддержке электронных обучающих курсов. В обучении сочетаются традиционные формы лекционных и практических занятий с самостоятельной домашней работой в онлайн-режиме с использованием личностно ориентированной веб-программы. Контрольные тестирования проводятся в веб-ориентированной обучающей среде Moodle. Материалы каждого курса представлены модулями, соответствующими изучаемой теме математической дисциплины (рис. 1).

Дидактические материалы электронного курса. Рассмотрим некоторые особенности дидактических материалов электронного обучающего курса по дисциплине «Алгебра и геометрия» на примере модуля «Линейная алгебра». Эти материалы включают лекции, представленные в виде электронного учебника [13], содержащего теоретический материал и примеры решения учебно-познавательных задач.

Каждая лекция в электронном учебнике дополнена определенным числом интерактивных заданий, предназначенных для самостоятельной работы. Студентам предлагается решить задачи и ввести ответ с помощью панели инструментов с математическими символами (рис. 2), причем сама информационная система учитывает множество различных правильных ответов, которое может быть введено.

Например, если в задаче правильный ответ $\frac{1}{2}$, то также системой будут засчитаны как правильные следующие варианты: 0,5, 0,5, 1/2 и т. д. После завершения решения задач система Moodle проверяет ответы и выставляет оценку, показывая, какие задачи решены верно, а какие нет. При этом в задачах, на-

правленных на самостоятельное обучение, можно вернуться и исправить неправильные решения. Таким образом, реализуется аналог онлайн-задачника, в котором можно сегодня решить две задачи, а завтра «открыть книгу» и решить еще пять в соответствии с собственным графиком изучения курса и желаемым темпом изучения. Баллы, набранные студентами за задачи, суммируются, отображаясь в электронном журнале преподавателя, и формируют общую оценку, с которой студент подходит к тестированию, завершающему каждый модуль и определяющему оценку студента за весь модуль. Каждый студент также видит свои набранные баллы за отдельные задания, а преподаватель в своем электронном журнале видит оценки всей группы.

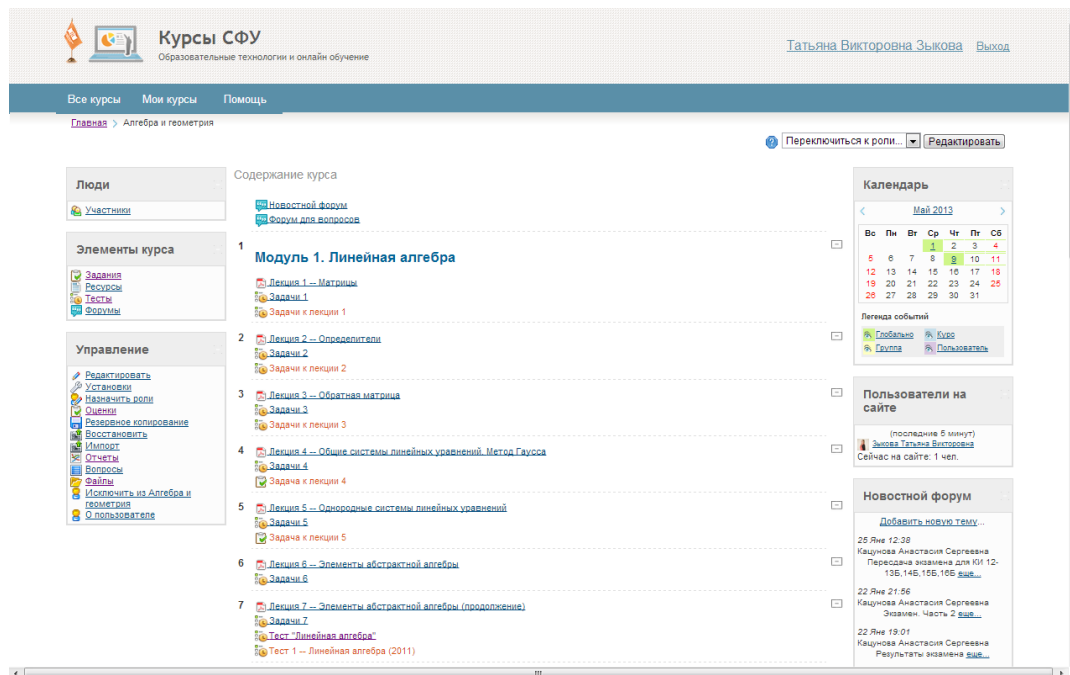


Рис. 1. Электронный обучающий курс «Алгебра и геометрия»

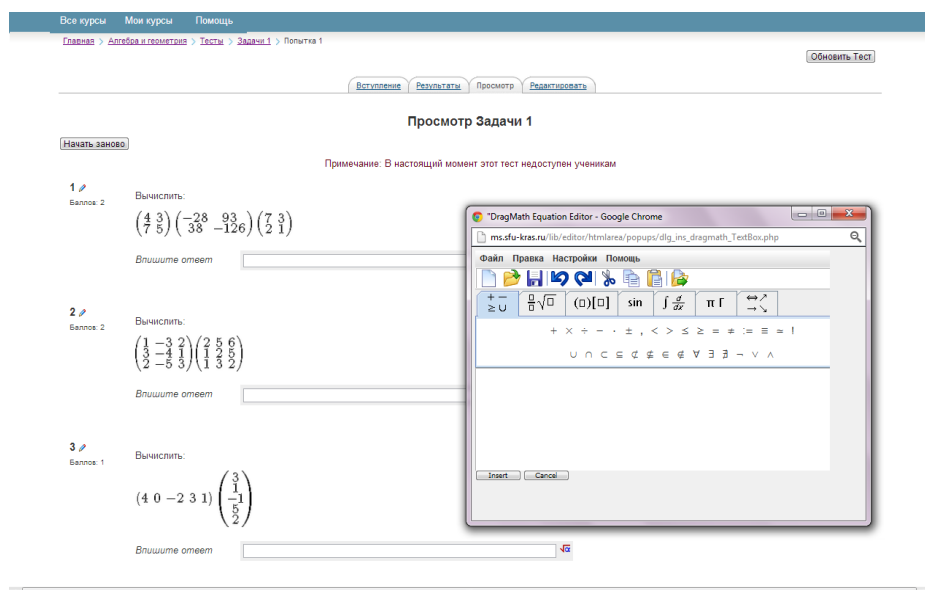


Рис. 2. Самостоятельная работа к лекции 1 курса «Алгебра и геометрия», ответ вводится с помощью панели инструментов

Статистика результатов обучения. За время внедрения электронных учебных курсов накоплены статистические данные по результатам изучения математических дисциплин студентами Института космических и информационных технологий СФУ. Они представлены в виде оценок за выполненную самостоятельную работу по разделам и модулям дисциплин, а также в виде результатов контрольных тестов по каждому модулю. Проведем их статистический анализ с целью выявления слабых мест в усвоении материалов курсов.

Первоначально проанализируем, есть ли зависимость между выполнением самостоятельной работы студентами в веб-ориентированной среде и результатами контрольного тестирования, что может говорить об эффективности применения электронных курсов в обучении студентов математическим дисциплинам. В результате анализа выявлена прямая зависимость между средней оценкой самостоятельной работы студентов и последующей оценкой за контрольный тест по данному модулю (коэффициент корреляции r колеблется от 0,8 до 0,95). Таким образом, выполнение студентами самостоятельных заданий электронного курса способствует получению более высоких результатов при тестировании.

В процессе анализа статистических данных появилась возможность также выявить проблемные темы и разделы дисциплин. Приведем примеры сравнения

данных контрольных тестирований по некоторым разделам дисциплин «Математический анализ», «Алгебра и геометрия». На представленных ниже гистограммах построены средневзвешенные значения по отдельным темам дисциплин на основании контрольных тестирований студентов. Каждый год в тестировании участвуют около 400 студентов института.

На гистограмме (рис. 3) можно увидеть, что в 2011–2012 гг. проблемной была тема «Понятие предела функции и техника его вычисления» [14; 15]. В 2013–2014 гг. этой теме стало уделяться больше внимания, что привело к общему повышению уровня ее усвоения. Возможно, вследствие этого произошло снижение показателей по теме «Частичные и односторонние пределы». В целом, такой анализ позволяет понять проблемы в обучении и своевременно уделить дополнительное внимание таким темам. Проведенный анализ теоретического материала и задач потребовал внесения корректировки в электронный курс и его модернизации.

Из гистограммы на рис. 4 можно увидеть, что степень усвоения материала модуля «Линейная алгебра» примерно одинакова по годам и по темам модуля. Это значит, что все темы модуля преподаются на должном уровне и внимание к ним преподавателя распределено правильно.

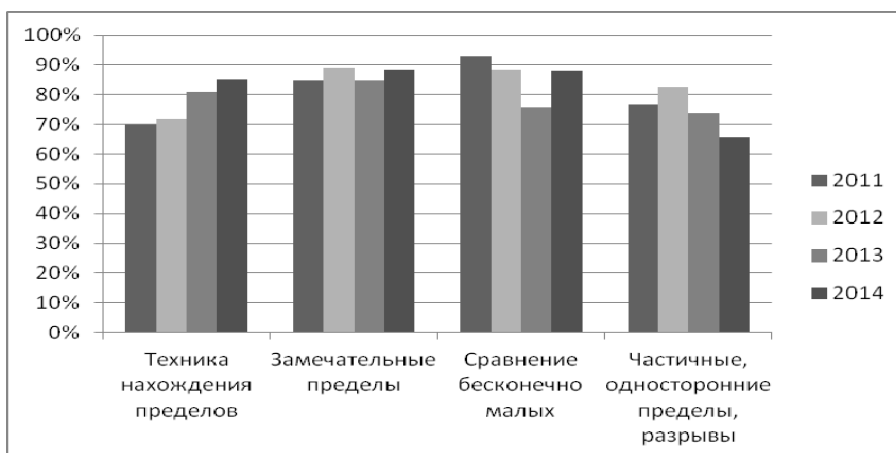


Рис. 3. Результаты контрольного тестирования по модулю «Введение в анализ» дисциплины «Математический анализ»

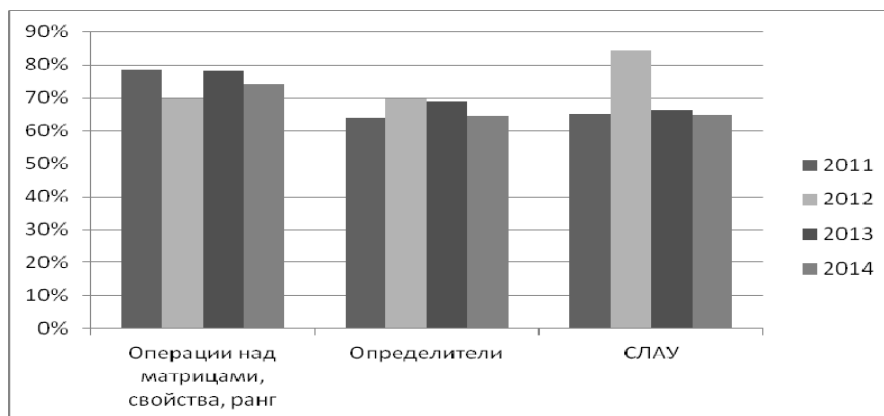


Рис. 4. Результаты контрольного тестирования по модулю «Линейная алгебра» дисциплины «Алгебра и геометрия»

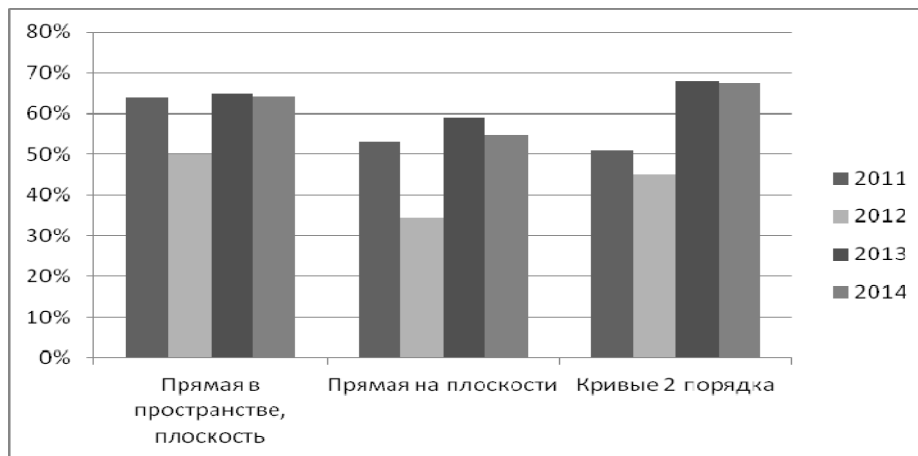


Рис. 5. Результаты контрольного тестирования по модулю «Аналитическая геометрия» дисциплины «Алгебра и геометрия»

Результаты, отраженные в гистограмме на рис. 5, можно охарактеризовать следующим образом. В 2012 г. виден более низкий уровень усвоения студентами материалов модуля «Аналитическая геометрия». Это могло быть связано с общим снижением работоспособности студентов в конце семестра, так как данный модуль является заключительным в курсе.

В целом следует отметить, что модернизация электронных обучающих курсов привела к общему повышению уровня усвоения всех разделов дисциплины.

Заключение. Как отмечалось в работе [1], использование электронной обучающей среды в обучении математике по сравнению с традиционной системой обучения даёт ряд преимуществ:

- сокращается время на выдачу и проверку заданий, система автоматически показывает студенту правильность процесса его решения задачи;
- появляется возможность варьировать задания в соответствии с уровнем подготовки студента, что позволяет ему работать над учебным материалом индивидуально, выбирать темп и глубину проработки;
- освобождается аудиторное время, которое может быть использовано для организации других форм учебной деятельности;
- достигаются максимальная объективность и оперативность оценки результатов учебного процесса;
- появляются дополнительные возможности формирования компетенций студентов как результата продуктивного сочетания в электронном курсе контекстного, междисциплинарного и предметно-информационного подходов в обучении математике.

Стоит особо отметить тот факт, что такая система позволяет постоянно отслеживать успеваемость, так как все данные о текущем состоянии обучения накапливаются еженедельно и даже ежечасно, когда студенты выполняют очередные домашние задания или проходят итоговое тестирование по модулю. Такое обучение с применением ИКТ позволяет оперативно анализировать типовые ошибки студентов, видеть динамику уровня сформированности математической компетентности через уровень формирования её индикаторов.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что интеграция традиционной и онлайн-форм обучения студентов в рамках применения электронных обучающих курсов способствует формированию математической компетентности студентов. Перспективы применения электронных обучающих курсов в обучении не только математическим, но и другим дисциплинам достаточно большие. Что касается математики, авторы видят возможность использования дополнительных мультимедийных средств, разработки различных интерактивных заданий, позволяющих использовать современные возможности онлайн-технологий, повышающих эффективность формирования математической компетентности студентов.

Библиографические ссылки

1. Spinks N., Silburn N. L. J., Birchall D. W. Making it all work: The engineering graduate of the future // A UK perspective, European Journal of Engineering Education. 2008. № 32(3). Pp. 325–335.
2. Pol A. P., Moreno J. J. M., Oliver M. P. Generic skills in higher education. Comparative study of the views of employers and academics // Psicothema. 2009. № 21(3). Pp. 433–438.
3. Badcock P. B. T., Pattison P. E., Harris K. L. Developing generic skills through university study: A study of arts, science and engineering in Australia // Higher Education. 2010. № 60(4). Pp. 441–458.
4. Croft A., Ward J. A. Modern and interactive approach to learning engineering mathematics // British Journal of Educational Technology. 2001. № 32(2). Pp. 195–207.
5. Шершнева В. А. Формирование математической компетентности студентов инженерного вуза на основе полипарадигмального подхода : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т им. акад. М. Ф. Решетнёва. Красноярск. 2011. 268 с.
6. Шершнева В. А. Как оценить междисциплинарные компетенции студентов // Высшее образование в России. 2007. № 10. С. 48–50.
7. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем М. : Филинь, 2003. 616 с.

8. Обучение математике в среде Moodle на примере электронного обучающего курса / Т. В. Зыкова, [и др.] // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева. 2012. № 1. С. 60–63.

9. Гафурова Н. В., Осипова С. И. О реализации психолого-педагогических целей обучения в информационной образовательной среде // Сибирский педагогический журнал. 2010. № 1. С. 117–124.

10. Беляев М. И. Из опыта создания электронных учебников // Вестник РУДН. Сер. «Информатизация образования». 2009. № 1. С. 11–20.

11. О дидактических материалах для электронного обучающего курса математического анализа, разработанного на основе полипарадигмального подхода / Т. В. Зыкова [и др.] // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева. 2012. № 4. С. 109–113.

12. Аветисян Д. Д. Образовательный контент для дистанционного обучения // Преподаватель. XXI век. 2009. № 1. С. 51–59.

13. Минеев Н. С. Электронный учебник – современное средство обучения студентов // Ярославский педагогический вестник. Психолого-педагогические науки. 2012. Т. 2, № 2. С. 221–224.

14. Опыт использования веб-ориентированной среды Moodle в обучении математике студентов инженерного вуза на основе полипарадигмального подхода / Т. В. Зыкова, [и др.] // Информатика и образование. 2013. № 5 (244). С. 37–40.

15. Особенности электронного обучения математике студентов инженерного вуза / Т. В. Зыкова, [и др.] // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева. 2014. № 3 (29). С. 55–61.

References

1. Spinks N., Silburn N. L. J., Birchall D. W. Making it all work: The engineering graduate of the future. *A UK perspective, European Journal of Engineering Education*, 2008, no. 32(3), p. 325–335.

2. Pol A. P., Moreno J. J. M., Oliver M. P. Generic skills in higher education. Comparative study of the views of employers and academics. *Psicothema*, 2009, no. 21(3), p. 433–438.

3. Badcock P. B. T., Pattison P. E., Harris K. L. Developing generic skills through university study: A study of arts, science and engineering In Australia, *Higher Education*, 2010, 60(4), p. 441–458.

4. Croft A., Ward J. A. Modern and interactive approach to learning engineering mathematics. *British Journal of Educational Technology*, 2001, no. 32(2), p. 195–207.

5. Shershneva V. A. *Formirovanie matematicheskoy kompetentnosti studentov inzhenernogo vuza na osnove poliparadigmalnogo podkhoda* [Formation of mathematical competence of students of engineering university based on polyparadigmatic approach]. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2011, 268 p.

6. Shershneva V. A. *Kak otsenit' mezhdistsiplinarnye kompetentsii studentov* [How to evaluate the interdisciplinary competence of students]. *Vyssheye obrazovanie v Rossii*. 2007, no. 10, p. 48–50 (In Russ.).

7. Bashmakov A. I., Bashmakov I. A. *Razrabotka komputernykh uchebnikov i obuchayushykh sistem* [Design of computer textbooks and training systems] Moscow, Filin Publ., 2003, 616 p.

8. Zykova T. V., Kytmanov A. A., Tsibulsky G. M., Shershneva V. A. [Learning mathematics in the environment Moodle for example of e-learning course]. *Vestnik KGPU*. 2012, no. 1, p. 60–63 (In Russ.).

9. Gafurova N. V., Osipova S. I. [On the implementation of psycho-pedagogical learning objectives in the information educational environment]. *Siberian pedagogical journal*. 2010, no. 1, p. 117–124 (In Russ.).

10. Belyaev M. I. [From the experience of creating electronic textbooks]. *Vestnik RUDN, seriya Informatizatsiya obrazovaniya*. 2009, no. 1, p. 11–20 (In Russ.).

11. Zykova T. V., Kytmanov A. A., Sidorova G. M., Shershneva V. A. [About teaching materials for e-learning course of mathematical analysis, developed on the basis of the polyparadigmatic approach]. *Vestnik KGPU*. 2012, no. 4, p. 109–113 (In Russ.).

12. Avetisyan D. D. Аветисян Д. Д. *Obrazovatel'nyy content dlya distantsionnogo obucheniya* [Educational content for distance learning]. *Prepodavatel'. XXI vek*. 2009, no. 1, p. 51–59 (In Russ.).

13. Mineev N. S. [Electronic textbook is a modern means of teaching students]. *Yaroslavsky pedagogichesky vestnik*. 2012, vol. 2, no. 2, p. 221–224 (In Russ.).

14. Zykova T. V., Sidorova G. M., Shershneva V. A., Tsibulsky G. M. [An experience of the use of web-based environment Moodle for learning of mathematics students of engineering university based polyparadigmatic approach]. *Informatika i obrazovanie*. 2013, no. 5 (244), p. 37–40 (In Russ.).

15. Zykova T. V., Karnaukhova O. A., Sidorova G. M., Shershneva V. A. [Features of e-learning mathematics of engineering university students]. *Vestnik KGPU*. 2014, no. 3 (29), p. 55–61 (In Russ.).

© Сидорова Т. В., Шершнева В. А., Космидис И. Ф., Зыкова Т. В., Кытманов А. А., 2014

**САМОКОНФИГУРИРУЮЩИЙСЯ ГИБРИДНЫЙ ЭВОЛЮЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ
ФОРМИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ С АКТИВНЫМ ОБУЧЕНИЕМ
ДЛЯ НЕСБАЛАНСИРОВАННЫХ ДАННЫХ**

В. В. Становов, О. Э. Семенкина

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: vladimirstanovov@yandex.ru

Описывается метод активного выбора обучающих примеров для самоконфигурирующегося гибридного эволюционного алгоритма формирования нечетких баз правил для задач классификации. Данный метод относится к методам отбора измерений, позволяющим не только снизить объем требуемых вычислительных ресурсов, но также улучшить качество получаемых классификаторов. Метод меняет вероятности выбора измерений для обучающей подвыборки в зависимости от того, насколько хорошо они классифицируются алгоритмом. Через некоторое число поколений выборка меняется и вероятности пересчитываются. Те измерения, которые не использовались ранее, и те, на которых алгоритм совершал ошибки, имели большую вероятность попасть в обучающую выборку. Вероятности выбора измерений рассчитывались с использованием процедуры, схожей с процедурой пропорциональной селекции в генетическом алгоритме. Описанная идея выбора обучающих примеров реализована для алгоритма построения нечетких классификаторов. Данный алгоритм использует комбинацию питсбургского и мичиганского подходов для построения баз правил с фиксированными термами, причем мичиганский подход используется вместе с оператором мутации. Размер баз правил не фиксирован и может изменяться в ходе работы алгоритма, а соответствующий номер класса и вес для каждого правила рассчитываются эвристически. Помимо этого в алгоритме применяется инициализация с использованием измерений выборки, для генерации более точных правил. В мичиганской части реализованы операторы добавления правил, удаления правил и замещения правил. При этом создание правил могло производиться как генетически, с использованием имеющихся в базе правил, так и эвристически, с использованием некорректно классифицированных объектов. Работоспособность алгоритма показана на ряде сложных задач классификации с множеством классов, в качестве мер качества классификации использовалась общая точность классификации и средняя точность по всем классам.

Ключевые слова: нечеткие системы классификации, активное обучение, эволюционный алгоритм, самоконфигурация, несбалансированные данные.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 128–135**SELF-CONFIGURING HYBRID EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR FUZZY CLASSIFIER DESIGN
WITH ACTIVE LEARNING FOR UNBALANCED DATASETS**

V. V. Stanovov, O. E. Semenkina

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: vladimirstanovov@yandex.ru

The paper describes an active training example selection for a self-configured hybrid evolutionary algorithm for fuzzy rule bases design for classification problems. This method is related to instance selection methods, which allow not only decreasing of required computational recourses, but also increasing the quality of the obtained classifiers. The method changes the probabilities of instances which are selected into the training subsample depending on how good they are classified by the algorithm. After several generations the sample is changed and probabilities are recalculated. Those instances which were not used before and those which were misclassified by the algorithm had higher probabilities of getting into the training sample. The probabilities of instance selection were calculated using a procedure similar to proportional selection in the genetic algorithm. The idea of training instance selection described here was implemented for the fuzzy classifiers forming. This algorithm uses the combination of Pittsburg and Michigan approach for fuzzy rule base design with fixed terms, and the Michigan approach is used together with the mutation operator. The size of the rule base is not fixed, and may change during the algorithm run, and a corresponding class number and the rule weight were calculated heuristically for every rule. Moreover, the algorithm uses an initialization procedure that

uses instances from the sample to generate more accurate rules. In the Michigan part the operators of adding rules, deleting rules and replacing rules has been implemented. The creation of new rules could be performed by genetic approach – using the existing rules, and heuristically – using those instances which were misclassified. The efficiency of the algorithm was shown on a set of complex classification problems with several classes, as an efficiency measure the overall accuracy and the average accuracy among classes was used.

Keywords: fuzzy classification system, active learning, evolutionary algorithm, self-configuration, unbalanced data.

Введение. Современные методы машинного обучения часто используют эволюционные либо бионические алгоритмы, в качестве алгоритмов формирования структуры или настройки своих компонентов, таких как искусственные нейронные сети, машины опорных векторов (support vector machines, SVM), системы на нечеткой логике, нейронечеткие системы или же их объединения в коллективы. Эволюционные и бионические алгоритмы зачастую применяются из-за сложности возникающих в процессе обучения процедур классификации, которые могут содержать большое число переменных либо переменные различных типов, множество целевых функций, множество экстремумов, плато и т. д. Для решения подобных задач лучше всего себя зарекомендовали эволюционные подходы [1; 2].

Однако использование эволюционных методов, как правило, сопряжено с необходимостью использования значительных вычислительных ресурсов. Если говорить о задачах классификации, которые являются типичными задачами анализа данных, то существует ряд подходов, позволяющих производить машинное обучение на значительных объемах данных с использованием методов сокращения данных (Data reduction). Сокращение данных может преследовать две цели: снижение числа переменных, иначе выбор информативных признаков, и снижение числа измерений. Задача отбора информативных признаков является нетривиальной задачей, для которой разработано множество подходов и методов, в том числе использующих эволюционные алгоритмы [3; 4].

Задача отбора измерений также является важной задачей, и группу методов, выбирающих некоторые измерения из их большого массива, называют отбором обучающей выборки (Training Set Selection, TSS) или же селекцией измерений (Instance Selection, IS) [5]. Суть данных методов, как правило, сводится к отбору некоторых прототипов (Prototype Selection, PS) – объектов, в определенной степени описывающих тот или иной класс.

Однако проблема отбора измерений часто связана с проблемой релевантности выбранной подвыборки, изначальной выборке данных. Удаление измерений из обучающей выборки не обязательно приводит к уменьшению информации, полезной для обучения. Более того, снижение объема выборки может помочь предотвратить переобучение в некоторых случаях, так как изначальная выборка может содержать шум. Таким образом, методы отбора измерений могут не только снизить объем требуемых вычислительных ресурсов, но и повысить качество формируемых моделей, например классификаторов. Таким образом, основной идеей данной работы является разработка таких алгоритмов выбора измерений, которые позво-

лили бы формировать более точные и качественные классификаторы, затрачивая при этом меньше вычислительных ресурсов. Некоторые предыдущие работы в данной области использовали методы распараллеливания и разбиения выборки на подвыборки случайным образом [6].

В следующих разделах мы рассмотрим примененный алгоритм построения нечетких классификаторов, опишем идею активного выбора обучающих примеров и далее приведем результаты тестирования модифицированного алгоритма.

Гибридный нечеткий эволюционный алгоритм. За основу в использованном алгоритме формирования нечетких баз правил для задач классификации был взят алгоритм, разработанный группой Х. Ишибучи и описанный в работе [6]. Данный метод использует комбинацию питсбургского и мичиганского подходов, при этом мичиганский подход применяется наряду с оператором мутации. Ниже будет приведено краткое описание метода, так как он был запрограммирован с нуля и потому отличается от изначальной идеи в некоторых аспектах.

Основная популяция эволюционного алгоритма реализует питсбургский подход, где каждый индивид является базой правил целиком. В нашей реализации индивид представлял собой двумерную матрицу, строки которой являлись правилами. Элементы строки принимали значения в диапазоне [0, 14] соответственно 15 использованным нечетким множествам. Число правил в базе не фиксировано и может меняться в ходе работы алгоритма, однако не может превышать заранее заданный верхний лимит.

Правила выглядят следующим образом:

$$R_q : \text{если } X_1 \text{ это } A_{q,1} \text{ и } X_2 \text{ это } A_{q,2} \text{ и } \dots \text{ и } X_n \text{ это } A_{q,n}$$

$$\text{тогда } X \text{ это } C_q \text{ с весом } CF_q,$$

где $X_p = (X_{p1}, X_{p2}, \dots, X_{pm})$, $p = 1 \dots m$ – выборка измерений; n – число переменных в задаче; m – число измерений; R_q – это правило; $A_{q,i}$ – нечеткое множество, C_q – номер соответствующего класса; CF_q – вес правила.

Набор нечетких множеств представляет собой 4 разбиения на 2, 3, 4 и 5 нечетких множеств, показанных на рис. 1. Помимо этих 14 множеств используется также терм игнорирования значения переменной (“Don’t care” condition, DC). Данный метод задания нечетких множеств является достаточно гибким и позволяет решать задачи с высокой точностью, не применяя процедур настройки положений термов. Тем не менее в литературе встречаются другие подходы, к примеру, 2-парное иерархическое представление.

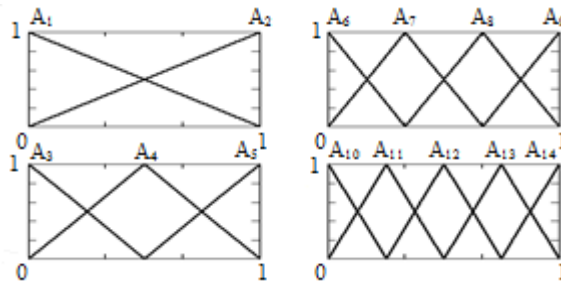


Рис. 1. Четыре нечетких разбиения, использованных в алгоритме

В качестве операторов селекции использовались ранговая и турнирная селекция с размером турнира 2, а также три типа мутации – слабая, средняя, сильная. Применялся один оператор скрещивания, специфический для данного алгоритма. Вероятность мутации зависела от размера базы правил, т. е. от числа правил следующим образом: для слабой мутации – $1/(3 \cdot |S| \cdot n)$, для средней – $1/(|S| \cdot n)$, для сильной – $3/(|S| \cdot n)$, где $|S|$ – число правил в базе, n – число переменных. При скрещивании новая база правил состояла из правил, содержащихся у родителей, при этом число правил выбиралось как случайное число в диапазоне $[1, |S_1| + |S_2|]$. Правила для заполнения нового индивида также выбирались равномерно и случайно из общего пула правил родителей. Если конечное число правил превышало верхний лимит, то несколько правил удалялись случайным образом.

Инициализация популяции производилась с использованием измерений, содержащихся в выборке. Данный шаг необходим, потому что при генерации случайных правил вероятность того, что сгенерированное правило будет описывать хотя бы часть выборки, очень мала. Поэтому для формирования базы правил случайным образом выбиралось измерение. Далее подбиралось правило, которое в наилучшей степени описывает данное измерение, при этом, если под это правило подходят несколько термов из различных разбиений, то они имеют шанс быть выбранными в правило с определенной вероятностью, зависящей от степеней принадлежности. После формирования правила половина термов в нем случайным образом изменяется на терм игнорирования значения переменной. Этот шаг необходим для получения более общих правил.

После генерации правил рассчитывается наиболее подходящий номер класса и вес нечеткого правила. Эти величины рассчитываются с использованием меры поддержки (Confidence, $Conf$) правила по выборке, позаимствованной из области оценки ассоциативных правил:

$$Conf(A_q \rightarrow Class k) = \frac{\sum_{x_p \in Class k} \mu_{A_q}(x_p)}{\sum_{p=1}^m \mu_{A_q}(x_p)},$$

где $\mu_{A_q}(x_p)$ – это степень принадлежности измерения x_p к нечеткому множеству A_q . Класс, которому соответствует наибольшее значение поддержки, устанавливается в качестве наиболее подходящего класса.

Вес правила рассчитывается также с использованием поддержки [7]:

$$CF_q = Conf(A_q \rightarrow Class q) - \sum_{k=1, k \neq C_q}^M Conf(A_q \rightarrow Class k).$$

При нечетком выводе объект классифицируется правилом-победителем, т. е. правилом, имеющим наибольшее произведение степени принадлежности на вес правила. Степень принадлежности при этом рассчитывается как произведение степеней принадлежности по всем переменным. Стоит отметить, что эвристика назначения номера класса назначает правилу тот класс, который имеет наибольшее значение поддержки, однако для несбалансированных данных значения поддержки по каждому из классов может быть смещено, так как поддержка зависит от числа измерений каждого класса. Это значит, что для классов, имеющих меньшее число измерений, значения поддержки могут быть меньше не потому, что данное правило хуже описывает этот класс, а потому что меньше измерений этого класса описывается правилом. Это приводит к тому, что значительная часть сгенерированных правил связывается с классами, имеющими большее число измерений, в то время как данные правила могут оказаться важными для описания миноритарного класса.

Чтобы избежать данного смещения, здесь мы используем модифицированную процедуру определения наиболее подходящего номера класса, использующую число измерений каждого класса в качестве веса:

$$Class q = \arg \max_k \left(\frac{Conf(A_q \rightarrow Class k)}{m_k} \cdot m \right),$$

где m_k – это число измерений класса k .

Мичиганская часть могла быть выполнена тремя способами: добавление правил, удаление правил и замещение правил. При этом каждое правило рассматривалось как индивид, а база правил – как популяция. Пригодности правилам назначались в соответствии с числом измерений, которые были корректно классифицированы правилом. При этом удалялись правила, имеющие наименьшую пригодность. Добавление новых правил производилось двумя типами: генетическим подходом и эвристическим подходом. Генетический подход подразумевал получение новых

правил из имеющихся в базе посредством применения генетических операторов, таких как селекция, скрещивание и мутация. Эвристический подход генерировал новые правила из некорректно классифицированных измерений. Замещение правил подразумевало сначала удаление нескольких правил, а затем добавление равного числа правил. При этом число правил для удаления / добавления зависело от текущего числа правил в базе.

Пригодность базы правил рассчитывалась как сумма точности на обучающей подвыборке в процентах с весом 100, числа правил в базе с весом 1 и общей длины всех правил с весом 1. На сегодняшний день множество алгоритмов использует многокритериальные подходы [8].

Так как в алгоритме использовались несколько типов селекции, мутации, а также несколько операторов в мичиганской части и типов добавления правил, и для всех них была применена процедура самонастройки. Самонастройка необходима по той причине, что различные типы операторов имеют разные свойства и меняют поведение алгоритма в процессе поиска. Заранее, до решения поисковой задачи, невозможно определить, какие из операторов будут лучшими для конкретной задачи. Применение самонастройки меняет вероятности применения операторов в процессе работы алгоритма так, что более успешные операторы получают большую вероятность быть выбранными.

В данной работе был использован подход, ранее описанный в [9; 10] и показавший свою эффективность в [11]. Суть метода заключается в поощрении тех операторов, которые позволили получить более высокую пригодность в среднем на каждом поколении. Пусть z – число операторов определенного типа. Начальные вероятности устанавливаются равными: $p_i = 1/z$. Успешность операторов определяется с использованием усредненных пригодностей:

$$AvgFit_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} f_{ij}, i = 1, 2, \dots, z,$$

где n_i – количество потомков, в формировании которых принял участие i -й тип оператора; f_{ij} – пригодность j -го потомка, построенного с помощью i -го оператора; $AvgFit_i$ – средняя пригодность решений, построенных при помощи i -го оператора.

После этого вероятность применения оператора, чье значение $AvgFit_i$ является наибольшим среди всех операторов такого типа, увеличивается на $(zK-K)/(zN)$, а вероятности применения остальных операторов уменьшаются на $K/(zN)$, где N – число поколений генетического алгоритма, K – константа, её значение устанавливалось равным 0,5.

Активный выбор обучающих примеров из выборки. Как мы отмечали во введении, сокращение данных может в некоторых случаях привести к более низкой точности на тестовой выборке. Таким образом, следовало бы разработать метод селекции измерений, который бы позволял получать как минимум столь же точные результаты, как и классический подход. Подобные подходы ранее рассматривались в [12; 13].

Метод выбора измерений, предлагаемый в данной работе, использует информацию о корректной классификации объектов выборки для выбора тех измерений, которые более сложны для классификации. Так как мы используем эволюционный подход, то существует возможность менять обучающую выборку в ходе обучения каждые несколько поколений.

На начальном этапе мы выбираем 33 % начальной обучающей выборки и формируем подвыборку, при этом все измерения имеют равную вероятность быть выбранными. После процедуры инициализации алгоритм обучается в течение 200 поколений. На каждом поколении лучший текущий индивид проверяется на всей выборке, и если он представляет собой лучшее известное решение для всей выборки, то запоминается. Лучшее известное решение всегда включается в популяцию наряду с лучшим решением для всей выборки. Стоит отметить, что, так как мы работаем с подвыборкой, то лучший текущий индивид может проявлять признаки переобучения на подвыборку, вследствие чего он может некорректно классифицировать всю имеющуюся выборку. По этой причине необходимо запоминать наилучшее найденное на текущий момент решение.

После периода адаптации длительностью в 200 поколений в наших вычислительных экспериментах мы рассчитываем точности каждого индивида на всей выборке. Это шаг является важным, так как при том, что лучшее решение для подвыборки может показывать средние результаты для всей выборки, в популяции могут присутствовать другие индивиды, которые, хотя и являются не лучшими решениями для подвыборки, представляют собой очень хорошие решения для описания всей выборки.

Для того чтобы направить процесс обучения на следующем периоде адаптации и сконцентрировать процесс обучения на «проблематичных» областях пространства переменных, необходимо изменить вероятности выбора измерений. Во-первых, необходимо выбирать те измерения, которые не были использованы на предыдущих этапах. Во-вторых, следует также выбирать измерения, которые были неверно классифицированы. Первый принцип соответствует исследованию новых имеющихся измерений, в то время как второй означает поиск и концентрацию на наиболее интересных областях пространства. После каждого периода адаптации длиной в 200 поколений необходимо заново выбрать новые измерения для формирования подвыборки.

Для реализации данной идеи каждому измерению ставится в соответствие число U_i , $i = 1, \dots, m$. В начале все U_i устанавливаются равными 1. После выбора этих измерений и обучения классификатора значения U_i для тех измерений, которые были выбраны, изменяются в соответствии с лучшим индивидом для подвыборки. Если измерение j было выбрано и классифицировано корректно, то $U_j = U_j + 1$, если же оно было классифицировано неверно, то $U_j = 1$.

После обновления значений U_i формируется обучающая выборка с использованием процедуры, подобной пропорциональной селекции в классическом генетическом алгоритме. Вероятность измерения быть выбранным p_i рассчитывается как

$$p_i = \frac{1/U_i}{\sum_{j=1..m} 1/U_j}.$$

Те измерения, которые были классифицированы корректно, увеличивают свой счетчик успешных использований в обучающей выборке. В случае, если после периода адаптации лучший индивид для подвыборки неверно классифицирует какое-либо измерение, которое было неоднократно классифицировано корректно, его счетчик устанавливается равным 1, что означает большую вероятность быть выбранным в будущем. Таким же образом те измерения, которые всегда некорректно классифицируются, всегда сохраняют большую вероятность быть выбранными. После нескольких периодов адаптации те измерения, которые неоднократно были классифицированы корректно, получают меньшие вероятности выбора. Это приводит к ситуации, когда те измерения, которые легко поддаются классификации, реже выбираются в подвыборку, так как они представляют меньший интерес для процесса обучения. Метод стремится использовать эти измерения равномерно, чтобы покрыть всю информацию, имеющуюся в обучающей выборке. После значительного числа поколений алгоритм находит проблематичные области и фокусируется на них, чтобы найти лучшее разделение классов.



Рис. 2. Изменение вероятностей выбора примеров

Чтобы лучше понять эффекты, которые возникают в результате подобной процедуры, далее приводятся два рисунка (рис. 2, 3), объясняющих изменение вероятностей выбора измерений и изменение того, какие из измерений выбираются. На рис. 2 представлен пример изменения вероятностей для случая 8 измерений. В начале все измерения имеют равные вероятности и все U_i равны 1. Выбранные измерения показаны серым цветом. После первого периода адаптации измерение 3 было классифицировано некорректно, так что значение U_3 было установлено равным 1, а измерение 6 было верно классифицировано, поэтому U_6 увеличилось на 1. После нескольких периодов адаптации значения U были обновлены в соответствии с формулой. Таким образом, измерения 1 и 7 имеют более высокую вероятность быть выбранными, чем другие.

На рис. 3 показан графический пример того, какие измерения выбираются алгоритмом и как процедура активного выбора примеров приводит к повышению

качества классификации. В примере 2 класса и 31 измерение, различные классы показаны крестиками и квадратами. Слева показано начало работы алгоритма, при котором все измерения имеют равные вероятности быть выбранными. Большие либо меньшие вероятности показаны размерами знаков. Знаки, обведенные кружками, означают выбранные для данного периода адаптации. Разделяющая поверхность, полученная к концу первого периода адаптации, некорректно классифицирует измерения 16 и 18, которые имеются в подвыборке. Справа показан следующий период адаптации, где измерения 16 и 18 не изменили размер ($U_{16} = U_{18} = 1$) и их размер равен размеру неиспользованных измерений, в то время как верно классифицированные примеры (1, 3, 7, 12, 14, 19, 20, 28, 29) получили меньший размер и соответственно меньшую вероятность.

Нижний график (рис. 3) демонстрирует ситуацию после нескольких периодов адаптации, где те измерения, которые ближе к разделяющей поверхности, получили большие вероятности быть выбранными (и они действительно выбраны на данной итерации), в то время как далекие от разделяющей поверхности измерения получили меньшие вероятности.

Меры Асс и Аве для определения качества классификации. При решении сложных задач классификации методы машинного обучения могут быть неэффективны вследствие различных свойств имеющихся данных. Одним из таких свойств является сбалансированность выборки по классам. Если один из классов представлен большим числом измерений, чем другой, то у алгоритма обучения могут быть проблемы с корректным выделением миноритарного класса. Задачи классификации со значительным дисбалансом, как правило, более сложны при решении, чем сбалансированные задачи. Несмотря на то, что на них может быть получена высокая точность классификации, это может означать, что верно классифицирован только мажоритарный класс, в то время как миноритарный класс, который часто представляет больший интерес, классифицируется неверно. Это означает, что, несмотря на высокую точность, задача остается нерешенной.

Проблема несбалансированных данных ранее рассматривалась в [14]. Наряду с общей точностью *Асс*, как мера классификации для несбалансированных данных часто применяется средняя точность по классам *Аве*. Точности на всех классах суммируются и затем делятся на число классов, что в итоге дает значение меры *Аве*. Следующие два выражения формально описывают данные меры:

$$Acc = \frac{\sum_{i=0}^k E_i}{\sum_{i=0}^k m_i}, \quad Ave = \sum_{i=0}^k \frac{E_i}{m_i \cdot k},$$

где E_i – это число ошибок классификатора на i -м истинном классе; m_k – это число измерений класса k . Далее будет показано, как активный подход к обучению может повысить не только точность классификации, но и сбалансированность по классам даже при использовании меры *Асс* в функции пригодности.

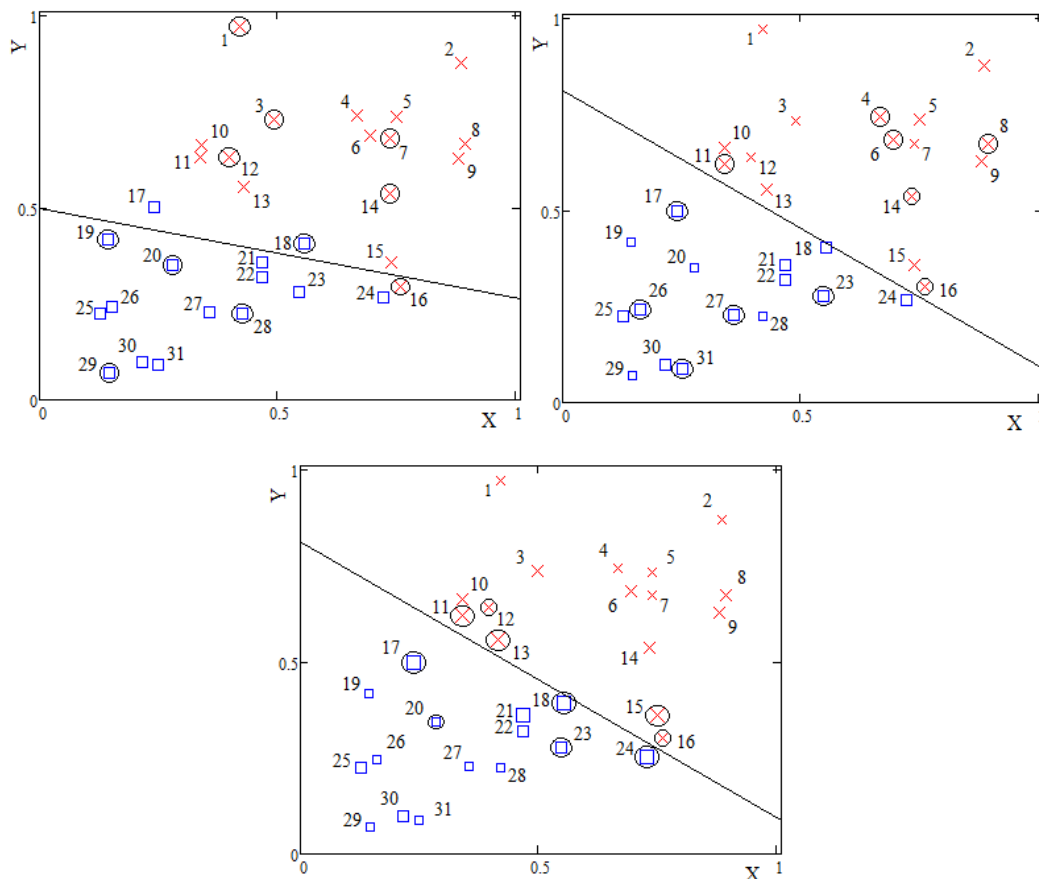


Рис. 3. Активный выбор обучающих примеров

Тестирование алгоритма и результаты. Для тестирования алгоритма было выбрано 4 задачи классификации с репозиториях KEEL и UCI [15; 16]. Данные задачи могут представлять трудности для некоторых алгоритмов, так как содержат большое число переменных, множество классов, а также несколько тысяч измерений. Задачи, на которых мы протестировали алгоритмы, следующие:

- 1) Page-blocks, 5472 измерения, 10 переменных, 5 классов;
- 2) Phoneme, 5404 измерения, 5 переменных, 2 класса;
- 3) Segment, 2310 измерений, 19 переменных, 7 классов;
- 4) Satimage, 6435 измерений, 36 переменных, 6 классов.

Табл. 1 показывает число измерений для каждого класса этих задач.

При тестировании алгоритма мы использовали следующие параметры: число индивидов – 100, число поколений – 10 000, число правил – 40, размер обучающей подвыборки – 33 % от всей выборки, длительность периода адаптации – 200 поколений. Для каждой задачи тестировалось 8 вариантов алгоритма: с активным обучением и без, с несмещенной процедурой назначения номеров классов и оригинальной, с мерой Acc и мерой Ave в функции пригодности. Для получения адекватных результатов мы использовали процедуру 10-частной кроссвалидации со стратифи-

цированным разбиением, 2 раза для каждой задачи. Стоит отметить, что время работы алгоритма с активным обучением сокращалось в 3 раза.

В табл. 2 показаны результаты для задачи Page-blocks. Следует отметить, что для данной задачи активный выбор примеров из обучающей выборки незначительно меняет поведение алгоритма обучения и получаемые в результате классификаторы. На обучающей выборке точность обоих методов практически одинакова, также как и точность на тестовой. При этом мера Ave для случая с активным обучением оказывается ниже практически во всех случаях. Следует отметить, что данная задача является наименее сбалансированной из всех.

Результаты для задачи Phoneme демонстрируют преимущество активного обучения перед классическим подходом: точность при использовании активного обучения увеличивается как для обучающей, так и для тестовой выборки, хотя в случае использования меры Acc в функции пригодности это приводит к получению менее сбалансированных классификаторов (табл. 3). При использовании меры Ave в качестве меры качества классификации, алгоритм получает в равной мере сбалансированные классификаторы, но с более высокой точностью.

Для задачи Segment, для которой все классы сбалансированы, активное обучение позволяет достичь значительного улучшения качества классификации (табл. 4). Так как эта задача сбалансирована, то значения меры Ave и Acc совпадают.

Таблица 1

Число объектов классов для всех задач

Задача/класс	1	2	3	4	5	6	7
Page-blocks	4913	329	28	87	115	–	–
Phoneme	3818	1586	–	–	–	–	–
Segment	330	330	330	330	330	330	330
Satimage	1533	703	1358	626	707	1508	–

Таблица 2

Результаты для задачи Page-blocks

Результаты без активного обучения				
Конфигурация	Асс на обуч.	Асс на тест.	Аве на обуч.	Аве на тест.
Асс+смещ.	0,965	0,960	0,647	0,623
Асс+несмещ.	0,946	0,944	0,582	0,566
Аве+смещ.	0,925	0,922	0,919	0,867
Аве+несмещ.	0,917	0,917	0,927	0,895
Результаты с активным обучением				
Асс+смещ.	0,964	0,959	0,635	0,586
Асс+несмещ.	0,964	0,960	0,660	0,663
Аве+смещ.	0,909	0,900	0,877	0,849
Аве+несмещ.	0,898	0,892	0,902	0,848

Таблица 3

Результаты для задачи Phoneme

Результаты без активного обучения				
Конфигурация	Асс на обуч.	Асс на тест.	Аве на обуч.	Аве на тест.
Асс+смещ.	0,827	0,818	0,798	0,788
Асс+несмещ.	0,819	0,812	0,783	0,774
Аве+смещ.	0,816	0,807	0,836	0,825
Аве+несмещ.	0,805	0,794	0,820	0,808
Результаты с активным обучением				
Асс+смещ.	0,837	0,826	0,738	0,767
Асс+несмещ.	0,839	0,829	0,785	0,773
Аве+смещ.	0,820	0,815	0,831	0,823
Аве+несмещ.	0,820	0,810	0,836	0,824

Таблица 4

Результаты для задачи Segment

Результаты без активного обучения				
Конфигурация	Асс на обуч.	Асс на тест.	Аве на обуч.	Аве на тест.
Асс+смещ.	0,934	0,919	0,934	0,919
Асс+несмещ.	0,933	0,918	0,933	0,918
Аве+смещ.	0,928	0,910	0,928	0,910
Аве+несмещ.	0,930	0,917	0,930	0,917
Результаты с активным обучением				
Асс+смещ.	0,967	0,942	0,967	0,942
Асс+несмещ.	0,966	0,939	0,966	0,939
Аве+смещ.	0,965	0,943	0,965	0,943
Аве+несмещ.	0,967	0,949	0,967	0,949

Таблица 5

Результаты для задачи Satimage

Результаты без активного обучения				
Конфигурация	Асс на обуч.	Асс на тест.	Аве на обуч.	Аве на тест.
Асс+смещ.	0,842	0,831	0,760	0,748
Асс+несмещ.	0,843	0,834	0,761	0,752
Аве+смещ.	0,845	0,835	0,770	0,759
Аве+несмещ.	0,843	0,836	0,769	0,760
Результаты с активным обучением				
Асс+смещ.	0,886	0,873	0,843	0,830
Асс+несмещ.	0,884	0,865	0,844	0,822
Аве+смещ.	0,878	0,863	0,860	0,845
Аве+несмещ.	0,874	0,857	0,856	0,835

Для задачи Satimage активное обучение также демонстрирует лучшие результаты, чем классический подход (табл. 5). При этом значительное улучшение наблюдается как на обучающей, так и на тестовой выборке, как при использовании меры *Acc*, так и меры *Ave* в функции пригодности. Более того, получаемые классификаторы во всех случаях значительно более сбалансированы.

Заключение. В данной работе был рассмотрен подход к сокращению данных, который позволяет не только сократить объем требуемых вычислительных ресурсов, но и повысить качество получаемых классификаторов. Представленный алгоритм активного обучения классификаторов посредством выбора обучающих примеров показал свою эффективность на ряде задач классификации, при этом формируя не только более точные в целом базы правил, но также и одинаково точные на всех классах. Дальнейшая разработка данного метода может включать модификации назначения счетчиков для измерений, изучение зависимости результатов от объема подвыборки и длины периода адаптации. Также интересным представляется применение данного подхода для других алгоритмов и методов классификации, например, для нейронных сетей [17; 18], машин опорных векторов [19], генетического программирования [20] и других методов.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект 140/14.

Acknowledgements. This work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project 140/14.

References

1. L. B. Booker, D. E. Goldberg, and J. H. Holland, Classifier systems and genetic algorithms. *Artif. Intell.* 1989, vol. 40, no. 1–3, p. 235–282.
2. Bodenhofer U., Herrera F. Ten Lectures on Genetic Fuzzy Systems. Preprints of the International Summer School: Advanced Control–Fuzzy, Neural, Genetic. 1997. Slovak Technical University, Bratislava. P. 1–69.
3. Brester C., Semenkin E. Development of adaptive genetic algorithms for neural network models multicriteria design. *Vestnik SibGAU*. 2013, no. 4 (50), p. 99–103 (In Russ.).
4. Brester Ch. Yu., Semenkin E. S., Sidorov M. Yu., Automatic informative feature extraction system for emotion recognition in speech. *Program products and systems*. 2014, no. 4 (108), p. 127–131.
5. J. R. Cano, F. Herrera, M. Lozano, Evolutionary Stratified Training Set Selection for Extracting Classification Rules with trade off Precision-Interpretability. *Data & Knowledge Engineering archive*. 2007, no. 60, Iss. 1, p. 90–108.
6. Ishibuchi H., Mihara S., Nojima Y. Parallel Distributed Hybrid Fuzzy GBML Models With Rule Set Migration and Training Data Rotation. *IEEE Transactions on fuzzy systems*. 2013, vol. 21, no. 2.
7. Ishibuchi H., T. Yamamoto, Rule weight specification in fuzzy rule-based classification systems. *IEEE Trans. Fuzzy Systems*. 2005, no. 13, p. 428–435.
8. M. Fazzolari, R. Alcalá, Y. Nojima, H. Ishibuchi, F. Herrera, A Review of the Application of Multi-Objective Evolutionary Fuzzy Systems: Current Status and Further Directions. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2013, vol. 21, no. 1, p. 45–65.
9. E. Semenkin, M. Semenkina, Self-configuring genetic algorithm with modified uniform crossover operator. in Y. Tan, Y. Shi, Z. Ji (Eds.), *Advances in Swarm Intelligence*. 2012. PT1, LNCS 7331, p. 414–421.
10. E. Semenkin, M. Semenkina, Self-Configuring Genetic Programming Algorithm with Modified Uniform Crossover. *Proc. of the IEEE Congress on Evolutionary Computation*, (CEC), Brisbane (Australia). 2012.
11. M. Semenkina, E. Semenkin, Hybrid self-configuring evolutionary algorithm for automated design of fuzzy classifier. in Y. Tan, Y. Shi, C.A.C. Coello (Eds.), *Advances in Swarm Intelligence*. 2014. PT1, LNCS 8794, p. 310–317.
12. J. R. Cano, F. Herrera, M. Lozano, Stratification for scaling up evolutionary prototype selection. *Pattern Recognition Letters*. 2005, vol. 26, Iss. 7, p. 953–963.
13. J. R. Cano, F. Herrera, M. Lozano, A Study on the Combination of Evolutionary Algorithms and Stratified Strategies for Training Set Selection in Data Mining. *Advances in Soft Computing*. 2005, no. 32, p. 271–284.
14. Bhowan U., Genetic Programming for Classification with Unbalanced Data. Victoria University of Wellington. 2012.
15. J. Alcalá-Fdez, L. Sánchez, S. García, M. J. del Jesus, S. Ventura, J. M. Garrell, J. Otero, C. Romero, J. Bacardit, V. M. Rivas, J. C. Fernández, and F. Herrera, KEEL: A software tool to assess evolutionary algorithms for data mining problems. *Soft Comput.* 2009, vol. 13, no. 3, p. 307–318.
16. Asuncion A., Newman D. UCI machine learning repository. University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences. 2007. Available at: <http://www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html>.
17. Akhmedova S. A., Semenkin E. S., Co-Operation of Biology Related Algorithms Meta-Heuristic in ANN-Based Classifiers Design. *Proceedings of the World Congress on Computational Intelligence (WCCI'14)*. 2014. P. 867–872.
18. Khritonenko D. I., Semenkin E. S. Distributed Self-Configuring Evolutionary Algorithms for Artificial Neural Networks Design. *Vestnik SibGAU*. 2013, no. 4 (50), p. 112–116 (In Russ.).
19. Akhmedova S. A., Semenkin E. S., Gasanova T., Minker W., Co-Operation of Biology Related Algorithms for Support Vector Machine Automated Design. *Engineering and Applied Sciences Optimization (OPT-i'14)*. 2014. P. 1831–1837.
20. Semenkin E., Semenkina M. Classifier Ensembles Integration with Self-Configuring Genetic Programming Algorithm Adaptive and Natural Computing Algorithms. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013, vol. 7824, p. 60–69.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ
ПРИ ТРЕХМЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТНЫХ СЦЕН**

А. А. Ткачева

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: tkacheva@mail.sibsau.ru

Рассматривается задача построения трехмерной модели естественной ландшафтной сцены на основе данных лазерного сканирования. Требования, предъявляемые к готовому программному продукту, одним из которых является совместимость с ГИС или, по крайней мере, работа с данными дистанционного зондирования Земли, имеющими географическую привязку, обязывает разработчиков в качестве исходных данных использовать данные радарной, лидарной съемки или DTM, DSM-данные различной точности, снимки с космоса, аэрофотосъемку, наземное сканирование и т. п. Все эти технологии позволяют синтезировать фотореалистичные трехмерные модели ландшафтных сцен, а также анимировать объекты в сцене. Это задача затрагивает как области компьютерной графики, так и компьютерного зрения. Реконструкция ландшафтов на основе исходного облака точек данных лазерного сканирования подразделяется на следующие подзадачи: объединение входных данных в единую систему координат, классификацию LIDAR-данных для реконструкции природного ландшафта сцены, трехмерное ландшафтное моделирование (поверхности Земли) и моделирование растений (деревьев и кустарников). Также рассматривается алгоритм классификации исходного облака точек с LIDAR на три категории: деревья и кустарники (лиственная масса), точки поверхности Земли и других объектов (антропологических объектов). Предложено выделить один пространственный признак $E(x)$, в соответствии с которым и будем относить точки к той или иной категории. Далее описывается визуализация объектов сканирования путем комбинирования L-систем и алгоритма Space Colonization на языке Python, популярного и мощного открытого лицензионного динамического языка. Визуализация выполняется с помощью стандартных инструментов графического редактора Blender. Показано, что использование динамических свойств языка позволяет строить сложные модели.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, LIDAR, трехмерное моделирование растительности, алгоритм Space Colonization, L-системы, имитационное моделирование.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 136–144**REMOTE SENSING FOR RECONSTRUCTION OF NATURAL LANDSCAPE SCENES**

A. A. Tkacheva

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: tkacheva@mail.sibsau.ru

In this paper we are going to build the three-dimensional model of the natural scene based on laser scanning data. The complex requirements of plant modeling applications are nowadays supported by high end GIS and remote sensing data gathering methods such as RADAR, LiDAR DTM and DSM data, high resolution satellite data, stereo camera images etc., as well as automated draping technologies for 3D objects. These technologies allow the creation of synthetic and photorealistic 3D landscape visualizations and simulations to display planning alternatives, scenarios and depict clearly their impact on landscape scenery. It is a task that affects both computer graphics and computer vision. The reconstruction of landscape scenes based on the original point clouds from laser scanners is divided into the following subtasks: association of input data into a single coordinate system, LIDAR data classification for reconstruction natural landscape scenes, 3d landscape modeling (the surface of the Earth), and plant modeling (trees and shrubs). We pose the problem of classification of the original point cloud with LIDAR into three categories: trees and shrubs (woodland), the surface of the ground and other objects (anthropological objects). Highlight one spatial attribute $E(x)$, according to which we will refer to the terms of this or that category. In this work, we present an adaptation of L-systems and Space Colonization algorithm to the Python language, a popular and powerful open-license dynamic language. Visualization of the script is executed by standard tools of the graphical editor Blender. We show that the use of dynamic language properties makes it possible to build complex models.

Keywords: Remote Sensing, LIDAR, three dimensional plant modeling, Space colonization algorithm, L-systems, simulating modeling.

Введение. Системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) находят эффективное применение во многих отраслях народного хозяйства: гидрометеорологии, контроле окружающей среды, геологии, сельском и лесном хозяйствах, военной разведке. Однако в исходном виде изображения, формируемые с помощью различных систем ДЗЗ, не могут быть использованы по назначению, поскольку имеют значительные геометрические искажения по отношению к объектам наблюдаемой сцены.

Методы получения данных дистанционного зондирования Земли. На данный момент наиболее популярные методы получения данных для моделирования трехмерных сцен в геоинформационных системах (ГИС) – это лазерное сканирование объектов (LIDAR-данные) и зондирование Земли с космоса (снимки с искусственных спутников Земли). Таким образом, данные ДЗЗ – это LIDAR-данные, космические снимки Земли и аэрофотоснимки. Аэрокосмические снимки представляются в виде растровых изображений, поэтому проблематика обработки и интерпретация таких данных тесно связана с цифровой обработкой изображений. Любая система ДЗЗ предусматривает совместное функционирование двух сегментов: орбитального и наземного, общая схема представлена на рис. 1.

Космический (орбитальный) сегмент – это собственно спутник с системой управления пространственного ориентирования, получения информации и передачи данных. Наземный сегмент – в данном случае это центр приема данных дистанционного зондирования Земли [1]. Упрощенную схему системы приема и

обработки данных дистанционного зондирования Земли можно увидеть на рис. 2.

Наземный сегмент обеспечивает управление полетом космических спутников, регулирование режимов работы аппаратуры передачи данных, прием результатов ДЗЗ, их хранение, обработку, распространение и сбор заявок от потребителей.

Несмотря на наличие большого количества преимуществ в использовании данных с космических снимков, существует и ряд ограничений: экономические затраты (необходимость в покупке снимков, архивные снимки в таком случае более доступны), приобретение специализированного программного обеспечения для обработки снимков и их интеграция с ГИС.

Программные продукты, использующиеся при обработке и анализе материалов дистанционного зондирования, разделяются на специальные и универсальные. Коммерческие пакеты программ, как правило, имеют универсальное ядро и настраиваемые на конкретные задачи модули. Специальные программные продукты привязаны к решению узкого класса задач и зачастую впоследствии за их счет наращивается количество модулей, связанных с универсальным ядром коммерческих программных пакетов. Для обработки данных дистанционного зондирования Земли могут использоваться любые программные средства, обеспечивающие достоверность и качество получаемых результатов. Обязательным требованием при выборе программного обеспечения является возможность работать с данными дистанционного зондирования Земли, имеющими географическую привязку.

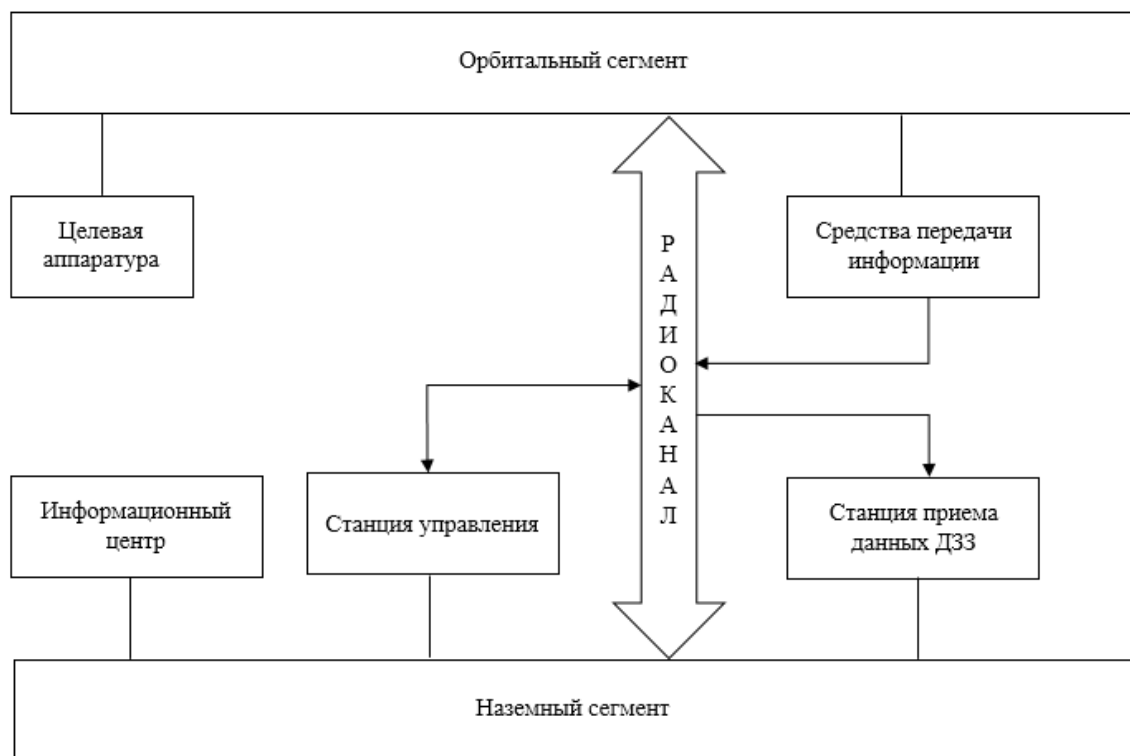


Рис. 1. Структура системы дистанционного зондирования Земли



Рис. 2. Общая схема системы приема и обработки данных ДЗЗ

Лазерное сканирование Земли. Лидары. Рассмотрим еще один вид дистанционного зондирования Земли – лидар (LIDAR – Light Identification, Detection and Ranging). Это технология получения и обработки информации дистанционного зондирования с помощью активных оптических систем (лазеров), использующих в том числе явления отражения света от поверхности Земли с проведением высокоточных измерений X , Y , Z координат. Лидар изначально использовался в приложениях воздушной лазерной съемки, он является с экономической точки зрения прекрасной альтернативой традиционной съемке с использованием фотограмметрической обработки данных. Данные лидарной съемки представляют собой набор данных, содержащих облака точек, которые могут управляться, отображаться, анализироваться и совместно использоваться с помощью ГИС. Характерной особенностью скановых изображений, формируемых в процессе полета спутника, является изменение по сложным законам степени перекрытия сканов, которая зависит от многих факторов: параметров орбиты и углов ориентации спутника; режимов работы сканера (маневры спутника и программное отклонение поля зрения датчика); рельефа местности и др. Действие этих факторов приводит к нарушению структуры изображения в виде геометрических разрывов объектов наблюдаемой сцены вдоль линии соприкосновения ска-

нов. В связи с этим остро стоит проблема получения из отдельных перекрывающихся сканов единого непрерывного изображения в заданной картографической проекции. В данной статье в качестве исходных данных рассматриваются LIDAR-данные. Основными преимуществами использования облаков точек является относительная дешевизна и оперативность их получения, а также высокая степень детализации. Лазерная съемка с наземных источников TLIDAR (Terrestrial LIDAR) имеет несколько недостатков, которых лишена LIDAR-съемка с воздуха. Это прежде всего сбор информации в «поле», требующий огромных временных и экономических затрат, а также труднодоступность некоторых участков территории. Рассмотрим основной принцип работы воздушного лидара, схематично изображенный на рис. 3.

Излучатель – полупроводниковый лазер ближнего инфракрасного диапазона, работающий в импульсном режиме. Для каждого излученного импульса регистрируется время, затраченное на распространение от источника до объекта, вызвавшего отражение, и обратно к приемнику – наклонная дальность. Также для каждого излученного импульса регистрируется текущее значение угла отклонения сканирующего элемента (зеркала, призмы, оптического клина). Величина этого угла позволяет однозначно определить направление распространения зондирующего луча (линию

визирования) в системе координат лидара, которая «жестко» связана со строительными осями сканерного блока лидара. В свою очередь, положение и ориентация системы координат лидара в геодезической (или географической) системе координат определяются благодаря присутствию на борту в составе лидара носителя навигационного комплекса. Он обеспечивает непрерывное определение трех пространственных координат положения сканерного блока X, Y, Z и трех углов его ориентации ω, φ, κ . Такой набор шести параметров пространственного положения и угловой ориентации в фотограмметрии называется элементами внешнего ориентирования. Работа бортового навигационного комплекса основана на взаимодействии приемника спутниковой системы GPS и инерциальной системы [2].

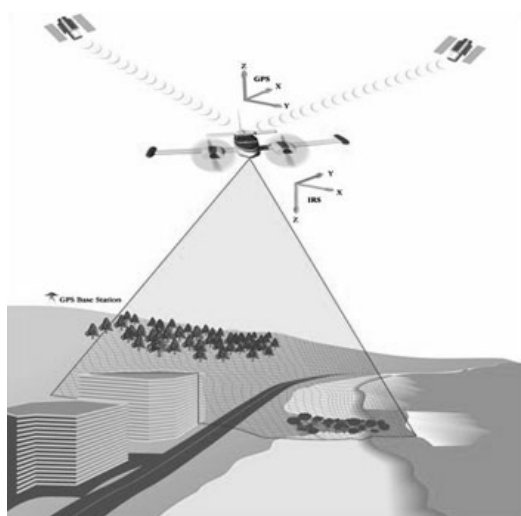


Рис. 3. Принцип работы воздушного лидара

Принципы работы с LIDAR-данными. Перейдем к рассмотрению принципов работы с LIDAR-данными. Получение трехмерных модельных сцен на основе данных лазерного сканирования – задача, решение которой затрагивает как области компьютерной графики, так и компьютерного зрения. Задача реконструкции ландшафтных сцен на основе исходного облака точек с лазерных сканеров разбивается на следующие подзадачи:

- камеральная обработка – объединение исходных данных в единую систему координат;
- классификация точек на точки земли, леса (точки лиственной массы, точки стволов деревьев) и точки антропологических объектов;
- восстановление ландшафта – поверхности земли;
- моделирование лиственной массы – деревьев и кустарников.

Для получения достаточного количества информации лазеру необходимо дважды просканировать один и тот же участок под различными углами, соответственно, возникает задача объединения полученных двух облаков точек в единое облако с новой системой координат. Для решения данной задачи использовался существующий инструментальный Envi LIDAR, демо-версия которого бесплатно предоставляется разработ-

чиками по запросу и позволяет пользователю также извлекать высотную информацию из облака точек данных лазерного сканирования.

При предварительной обработке полученного облака точек в единой системе координат будем учитывать следующие характеристики: высота каждой точки в облаке, интенсивность (плотность точек) и геометрическая информация фрагмента облака. Отметим, при нескольких проходах под различными углами исходные облака точек могут содержать как точки земли, так и самого дерева, при плотном же лесном покрове лазер «не достает» до земли и все точки относятся к кроне и при наличии антропогенных объектов часть точек также не относится к лиственной массе (рис. 4).

Рассмотрим классификацию исходного облака точек. Поставим задачу классификации исходного облака точек с LIDAR на три категории: деревья и кустарники (лесная масса), поверхность земли и иные объекты (антропологические объекты). Существующие алгоритмы классификации в большинстве своем основаны на использовании таких признаков, как высота точек, геометрические характеристики и информация с текстурных карт [3–6].

Выделим один пространственный признак $E(x)$, по которому будем относить точки к той или иной категории. Наложим двумерную сетку G (20×20 м) на исходное облако точек (рис. 5), в каждой клетке c располагается некоторое множество пространственных точек $P(c)$, которое в свою очередь разобьем на множество горизонтальных слоев $L(c)$. В таком случае фрагмент поверхности земли l_{ground} из всего множества $L(c)$ для всех c должен иметь наименьшую высоту в данной клетке c двумерной сетки G , так как предполагаем, что точки ландшафта земли – это точки с наименьшей высотой. Тогда все остальные фрагменты l_{tree} отнесем к лиственной массе. Однако не всегда фрагменты с наименьшей высотой относятся к точкам поверхности земли, возможно лазер «не пробил» плотную лиственную массу и не «дошел» до нее. Введем величину E_d , где каждому фрагменту $L(c)$ сопоставим:

$$E_d(x_l) = \begin{cases} \alpha, x_l = l_{ground}, x_l \neq x_{zero}, \\ \beta, x_l = l_{tree}, x_l = x_{zero}, \\ 0, \end{cases} \quad (1)$$

где x_l – обозначение фрагмента l ; x_{zero} – фрагмент с наименьшей высотой среди всего множества L фрагментов слоя $L(c)$ для каждой клетки c .

Далее, для того чтобы классифицировать объекты антропологической природы, введем величину E_g :

$$E_g(x_l) = \begin{cases} \gamma \times \max(1 - \frac{e(l)}{\sigma}, 0), x_l = l_{building}, \\ \gamma \times \min(\frac{e(l)}{\sigma}, 1), x_l = l_{ground}, \\ 0, x_l = l_{tree}, \end{cases} \quad (2)$$

где σ – параметр, подобранный эмпирически, равен 6 м [7]; $e(l)$ – высота между соседними слоями клетки c .

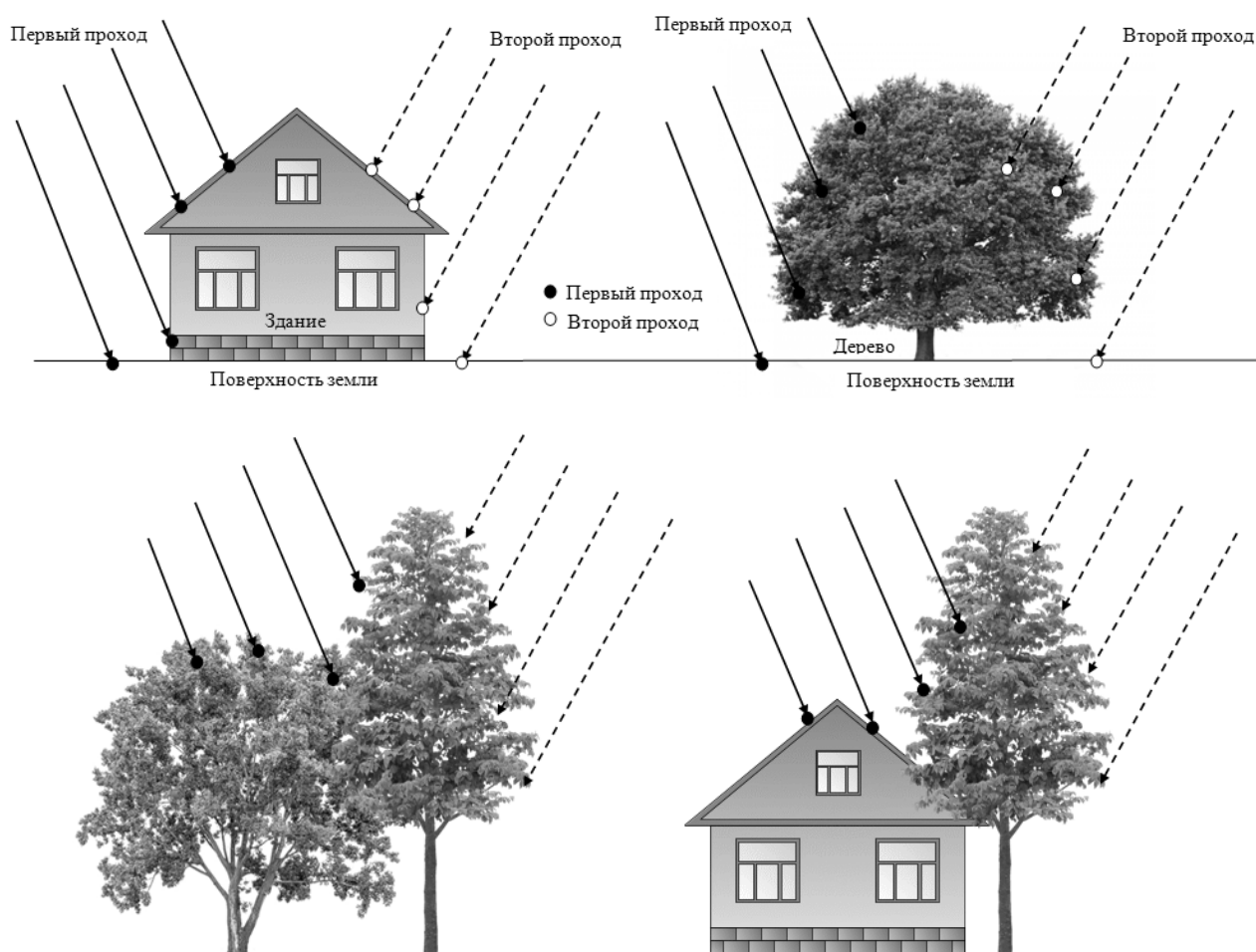


Рис. 4. Процесс сканирования ландшафтных сцен

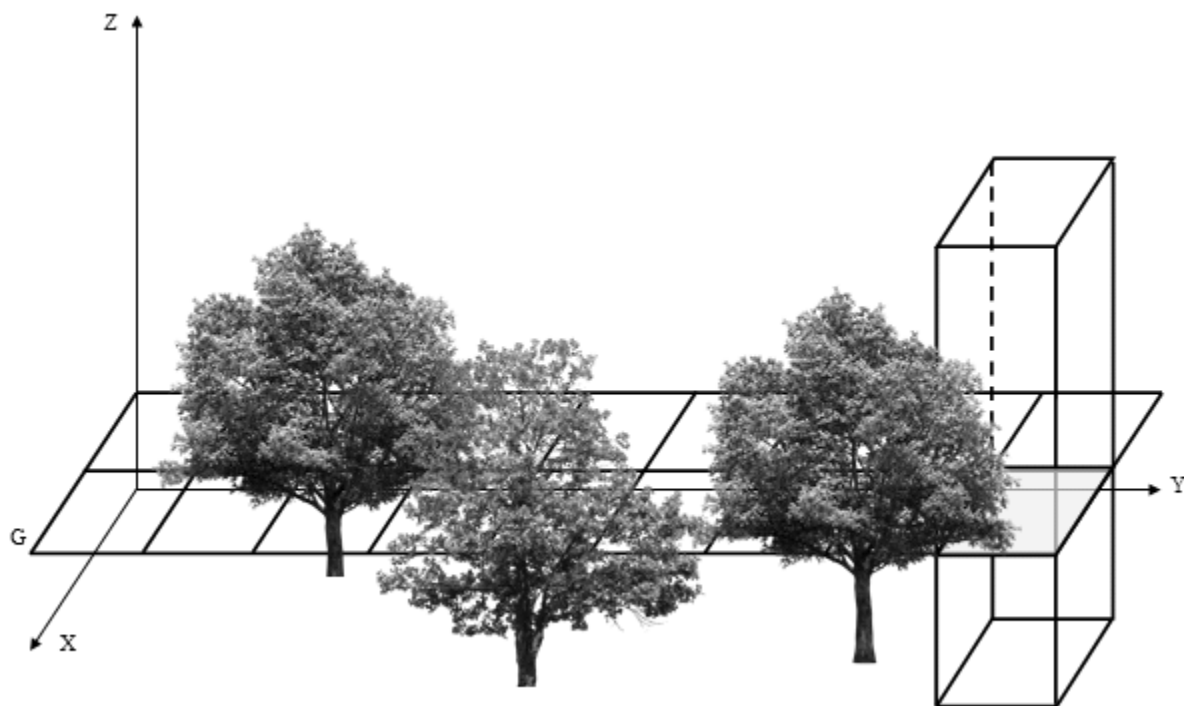


Рис. 5. Разбиение исходного облака точек на множество слоев L

Затем необходимо учесть соседство пары клеток c_1 и c_2 во всей сетке G , подсчитав величину $E_s(x_{l1}, x_{l2})$, на основе этих пар элементов всего множества слоев L строим случайное марковское поле:

$$E(x) = \sum_{l \in L} (E_d(x_l) + E_g(x_l)) + \mu \sum_{(l_1, l_2) \in N} E_s(x_{l_1}, x_{l_2}), \quad (3)$$

где N – множество всех пар (x_{l1}, x_{l2}) и $x_{l1} \neq x_{l2}$.

Задача минимизация решалась методом разреза графов, итерационное расширение областей, относящихся к различным категориям, происходило по критерию расстояния между различными фрагментами, небольшие области не учитывались и отбрасывались. Предполагалось, что это ошибочные точки, появившиеся в исходном облаке данных после работы алгоритма совмещения нескольких облаков точек в единую систему координат. Итогом работы является три подмножества облаков точек земли, растительности и антропогенных объектов.

Далее подмножество точек растительной массы необходимо разбить на отдельные объекты – деревья. Для этого из всего подмножества слоев точек растительности выбирается слой с наибольшим количеством точек. Этот слой необходимо сегментировать на отдельные области и найти центр масс данных областей, координата Z которого является координатой корня дерева, координаты X и Y – координаты точек земли для данной клетки s сетки G . Для отдельно стоящих деревьев данная задача решается однозначно и не вызывает сложностей, необходимо лишь установить максимальный порог, по которому и будет определяться привязка точки к определенному сегменту точек (рис. 6).

Однако при перекрытии крон деревьев разбиение множества точек выбранного слоя L – нетривиальная задача (рис. 7).

Исходное облако точек разбивается на кластеры по методу ближайшего соседа с использованием евклидовой метрики. Для того чтобы определить новую точку к кластеру, вычислится статистическая величина

R (формула (4)) – сравнивается усредненное расстояние между точками D с величиной ожидаемого расстояния D_{ran} :

$$R = \frac{D}{D_{ran}}, \quad (4)$$

где D – евклидово расстояние между соседними точками, деленное на общее количество точек N .

По статистике величина R принимает значения близкие к 2,17. Величина D_{ran} вычисляется по формуле (5):

$$D_{ran} = \frac{1}{2\sqrt{\frac{N}{A}}}, \quad (5)$$

где N/A – плотность точек некоторой окрестности A . На рис. 8 представлено облако точек для одного объекта.

После того как получены отдельные облака точек для каждого объекта, происходит его визуализация в трехмерном пространстве. Визуализация скрипта выполнена средствами графического редактора Blender – открытое программное обеспечение. Основная геометрия дерева: процесс ветвления осуществлялся по алгоритму Space Colonization [8–10], стохастические L -системы использовались на конечных итерациях (дорисовка мелких ветвей) перед наложением текстур на объект [11–14]. На рис. 9 представлено окно редактирования моделирования объекта в редакторе Blender. Все представленные ниже результаты выполнены с помощью динамического языка программирования Python (рис. 8–10).

Далее на полученную трехмерную модель накладываются текстуры коры и листьев. Модель ландшафтной сцены изображена на рис. 10.

Заключение. Построенные в соответствии с изложенным методом трехмерные ландшафтные сцены являются реалистичными и не требуют больших вычислительных затрат.

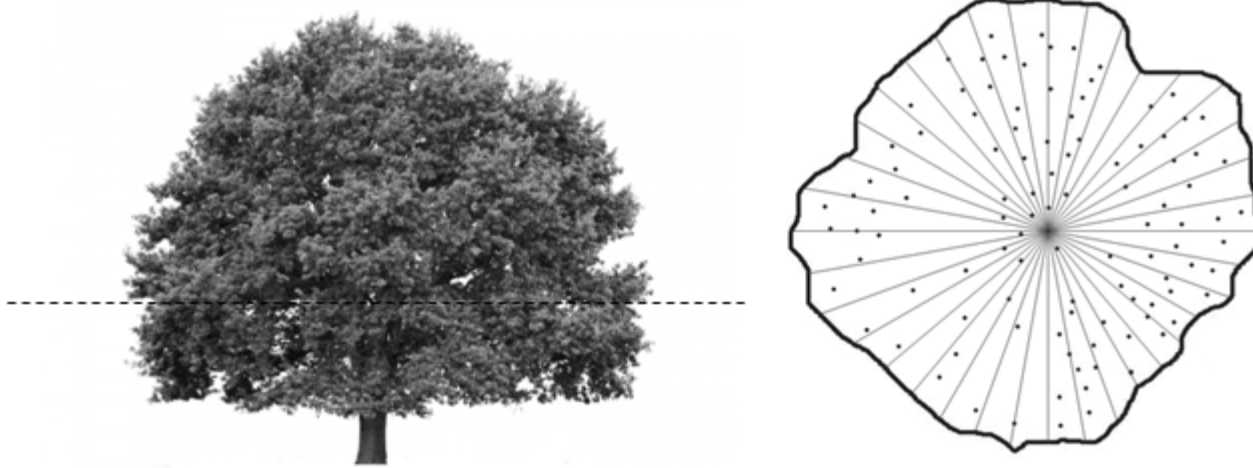


Рис. 6. Слой с максимальным количеством точек для отдельно стоящего дерева

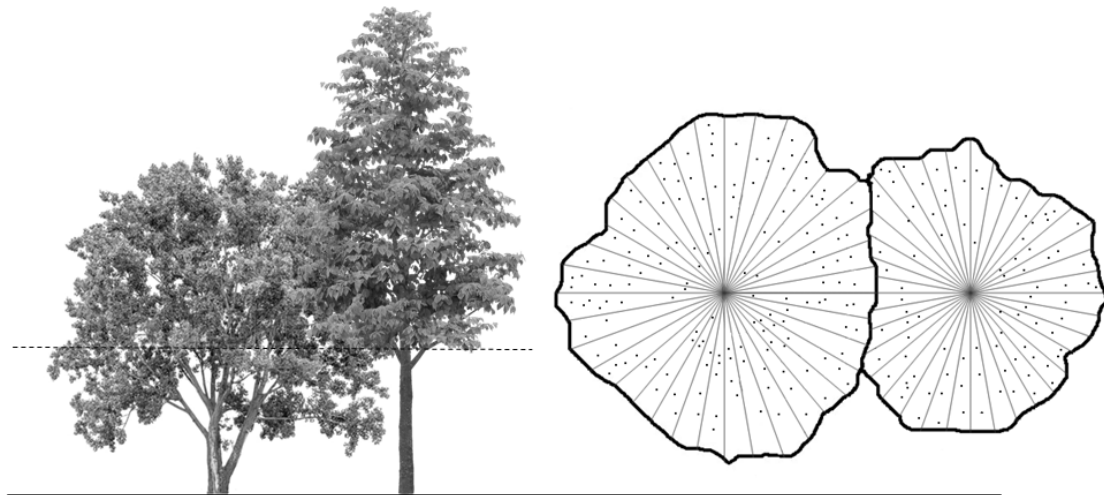


Рис. 7. Слой с максимальным количеством точек для отдельно соседствующих деревьев

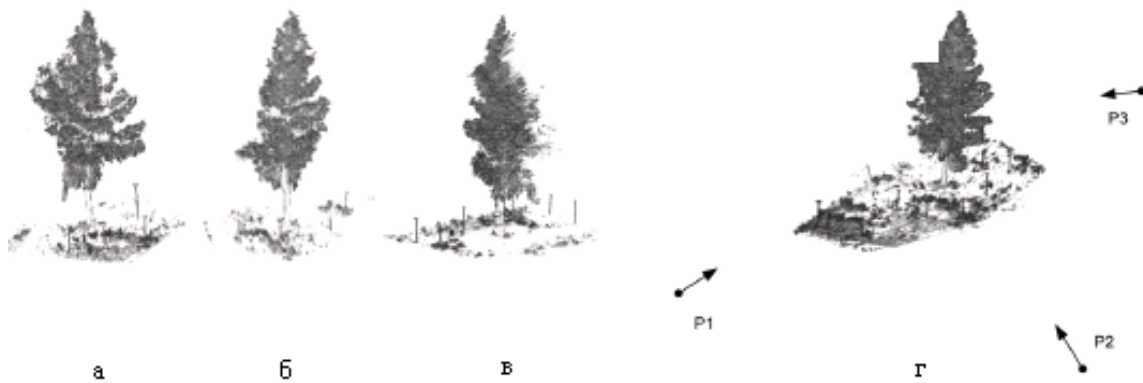


Рис. 8. Исходное облако точек на основе данных лазерного сканирования: а, б, в – данные, полученные с наземного лазерного сканера под соответствующими углами (проекции) P1, P2, P3; г – полученное облако точек в единой системе координат

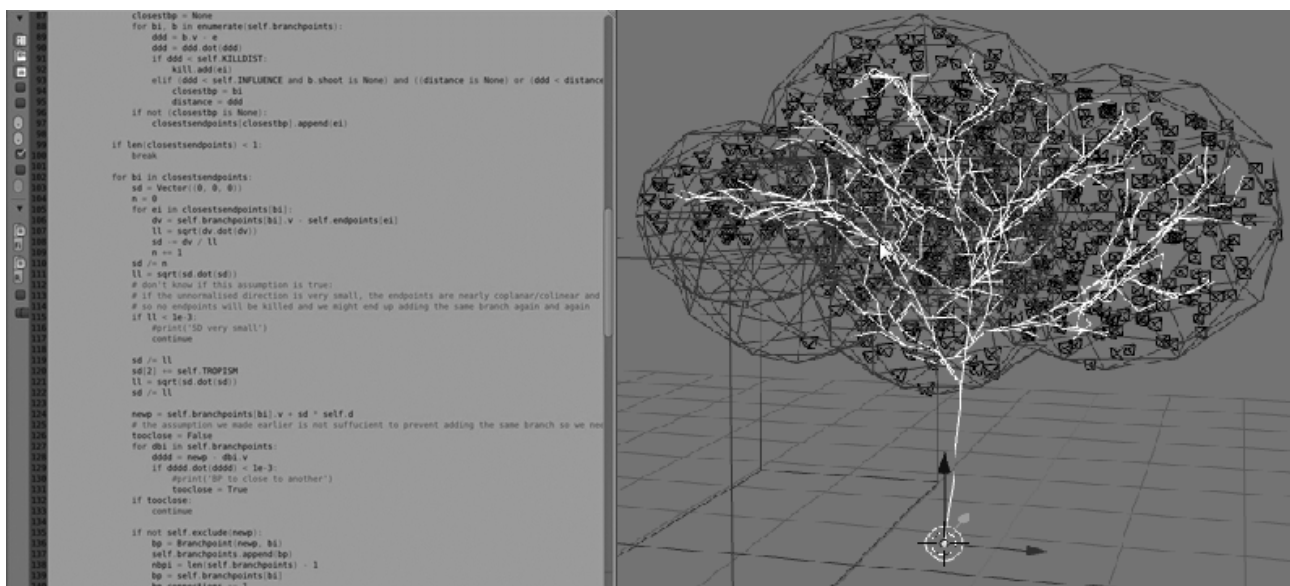


Рис. 9. Моделирование дерева в Blender с использованием Python API

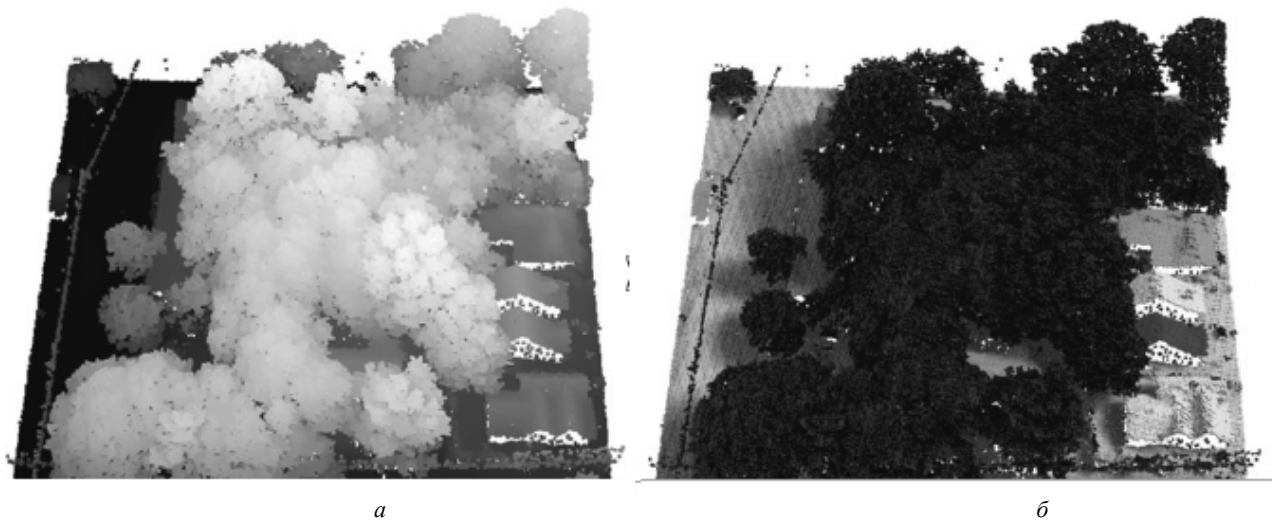


Рис. 10. Моделирование ландшафтных сцен: а – трехмерное облако точек; б – полученная модель ландшафта

Таким образом, мы рассмотрели виды дистанционного зондирования Земли, в качестве исходных данных использовались данные лидарной съемки, приведен алгоритм классификации исходного облака точек на три категории: лиственная масса, точки поверхности ландшафта и антропогенные объекты. Далее полученное облако точек, в свою очередь, разделялось на подмножества точек отдельного дерева и эти данные использовались для детального моделирования основной геометрии дерева с использованием комбинированного алгоритма Space Colonization и L-систем.

Библиографические ссылки

1. Токарева О. С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли : учеб. пособие. Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. 148 с.
2. Медведев Е. М., Данилин И. М., Мельников С. Р. Лазерная локация Земли и леса : учеб. пособие. М. : Геолидар, Геокосмос ; Красноярск : Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 230 с.
3. Verma V., Kumar R., Hsu S. 3D building detection and modeling from aerial lidar data // CVPR. 2006. P. 2213–2220.
4. Lafarge F., Mallet C. Building large urban environments from unstructured point data // ICCV. 2011. P. 1068–1075.
5. Toshev A., Mordohai P., Taskar B. Detecting and parsing architecture at city scale from range data // CVPR. 2010. P. 398–405.
6. Zhou Q.-Y., Neumann U. A streaming framework for seamless building reconstruction from large-scale aerial lidar data // CVPR. 2009. P. 2759–2766.
7. Texture-lobes for tree modelling / Y. Livny [et al.] // ACM SIGGRAPH. 2011. Article 53. P. 1–10.
8. Favorskaya M., Tkacheva A. Rendering of wind effects in 3D landscape scenes // Procedia Computer Sciences. 2013. Vol. 22. P. 1229–1238.

9. Simulating crowds based on a space colonization algorithm / A. de Lima Bicho [et al.] // Computers and Graphics. 2012. № 36. P. 70–79.

10. Runions A., Lane P. Modeling trees with a space colonization algorithm // Eurographics Workshop on Natural Phenomena. 2007. P. 63–70.

11. Ткачева А. А. Применение алгоритма Space Colonization при трехмерном моделировании сложных природных объектов // Вестник СибГАУ. 2014. Вып. 1 (53). С. 85–91.

12. Prusinkiewicz P., Lindenmayer A. The algorithmic beauty of plants. NewYork : Springer-Verlag, 1990. 256 p.

13. Interactive procedural modeling of trees on a tablet / S. Longay [et al.] // Proceedings of the Eurographics Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling. 2012. P. 107–120.

14. L-Py: an L-System simulation framework for modeling plant development based on a dynamic language / F. Boudon [et al.] // Frontiers in technical advances in plant science. 2012. P. 1–20.

References

1. Tokareva O. S. *Obrabotka i interpretatsiya dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Processing and interpretation of remote sensing data]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2010, 148 p.
2. Medvedev E. M., Danilin I. M., Melnikov S. R. *Lazernaya lokatsiya Zemli i lesa* [Laser location of land and forests]. Moscow, Geolidar, Geokosmos; Krasnoyarsk, Institute of forest named after V. N. Sukachev Publ., 2007, 230 p.
3. Verma V., Kumar R., Hsu S. 3D building detection and modeling from aerial lidar data. *CVPR*. 2006, vol. 2, p. 2213–2220.
4. Lafarge F., Mallet C. Building large urban environments from unstructured point data. *ICCV*. 2011, p. 1068–1075.

5. Toshev A., Mordohai P., Taskar B. Detecting and parsing architecture at city scale from range data, *CVPR*. 2010, p. 398–405.
6. Zhou Q.-Y., Neumann U. A streaming framework for seamless building reconstruction from large-scale aerial lidar data. *CVPR*. 2009, p. 2759–2766.
7. Livny Y., Pirk S., Cheng Z., Yan F., Deussen O., Cohen-Or D., Chen B., Texture-lobes for tree modeling. *ACM SIGGRAPH*. 2011, article 53, p. 1–10.
8. Favorskaya M., Tkacheva A. Rendering of wind effects in 3D landscape scenes. *Procedia Computer Sciences*. 2013, vol. 22, p. 1229–1238.
9. de Lima Bicho A., Rodrigues R., Musse S., Jung C., Paravisi M. Simulating crowds based on a space colonization algorithm. *Computers and Graphics*. 2012, № 36, p. 70–79.
10. Runions A., Lane P. Modeling trees with a space colonization algorithm. *Eurographics Workshop on Natural Phenomena*. 2007, p. 63–70.
11. Tkacheva A. A. [Application Space Colonization algorithm in three-dimensional modeling of complex natural objects]. *Vestnik SibGAU*. 2014, no.1 (53), p. 85–91 (In Russ.).
12. Prusinkiewicz P., Lindenmayer A. The algorithmic beauty of plants. *New York, Springer-Verlag*, 1990, 256 p.
13. Longay S., Runions A., Boudon F., Prusinkiewicz P. TreeSketch: Interactive procedural modeling of trees on a tablet. *Proceedings of the Eurographics Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling*. 2012, p. 107–120.
14. Boudon F., Pradal C., Cokelaer T., Prusinkiewicz P., Godin C. L-Py: an L-System simulation framework for modeling plant development based on a dynamic language. *Frontiers in technical advances in plant science*. 2012, p. 1–20.

© Ткачева А. А., 2014

РАЗДЕЛ
PART
2



АВИАЦИОННАЯ
И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ
ТЕХНИКА

AVIATION
AND SPACECRAFT
ENGINEERING



АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ КОЛЬЦЕВЫХ ТОКОСЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВА. А. Гришин¹, Н. А. Смирнов², А. И. Харитонов¹¹ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва»
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск, ул. Ленина, 52²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: grishin_aa@list.ru

Представлен анализ типовой конструкции современных кольцевых токосъемных устройств, применяемых в космической технике. Главной целью работы явилось определение конструктивных методов и приемов, улучшающих выходные характеристики кольцевого токосъемного устройства и позволяющих сохранить надежность функционирования устройства на протяжении всего срока активного существования космического аппарата на орбите.

Рассмотрена роль кольцевого токосъемного устройства в системе электропитания космического корабля, описаны его основные конструктивные элементы, кратко изложены принципы функционирования. Определены выходные характеристики кольцевого токосъемного устройства – величина падения напряжения на слое токосъемных колец и суммарная мощность, рассеиваемая на устройстве. Установлены факторы, влияющие на описанные выходные параметры, – изменение фактической площади контакта между токосъемными кольцами одной кинематической контактной пары, попадание частиц диэлектрического материала на контактную поверхность токосъемных колец, образование непроводящих пленок. Показано влияние осевой и радиальной неустойчивости обойм токосъемных колец на фактическую площадь контакта токосъемных колец кинематической контактной пары. Описаны причины образования частиц диэлектрического материала в процессе функционирования устройства, образования пленки диэлектрического материала на контактной поверхности токосъемных колец. Рассмотрено влияние суммарной радиальной смещающей силы на деформацию контактных колец кинематической контактной пары. Установлена связь между циклическим нагружением наружных токосъемных колец и волнообразным изменением момента проворота выходного вала устройства. Представлен и описан эксперимент по влиянию колебаний момента проворота выходного вала устройства на величину падения напряжения на токосъемных кольцах одного слоя.

В заключение сделан вывод о необходимости сглаживания пиков момента проворота для получения более ровной и стабильной характеристики изменения падения напряжения на слое токосъемных колец, снижения средней величины падения напряжения на каждом слое токосъемных колец и, следовательно, уменьшения суммарной мощности, рассеиваемой на кольцевом токосъемном устройстве. Предложено включить в будущие конструкции кольцевых токосъемных устройств решения, позволяющие добиться как осевой, так и радиальной стабильности обойм токосъемных колец в процессе функционирования устройства.

Ключевые слова: кольцевое токосъемное устройство, фактическая площадь контакта, переходное сопротивление, падение напряжения на токосъемных кольцах, суммарная рассеиваемая мощность.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 146–152**THE ANALYSIS OF THE DESIGN OF THE CURRENT COLLECTION DEVICES**A. A. Grishin¹, N. A. Smirnov², A. I. Kharitonov¹¹JSC “Information satellite systems” named after academician M. F. Reshetnev”
52, Lenin Str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: grishin_aa@list.ru

The analysis of a design modern current collection devices used in space equipment is presented in the article. The main objective of this work is determination of the constructive methods and receptions that improve the output characteristics of the current collection device, preserving the reliability of functioning of the device throughout all term of active existence of the spacecraft in an orbit.

The role of the current collection device in a spaceship power supply system is considered; the basic constructive elements of the device are described; the principles of functioning of the device are stated. The main output characteristics of the current collection device – value of the voltage drop across the layer of the collector rings and the total power disseminated on the device are defined. The factors affecting described output parameters – change the actual contact area between the collector rings one kinematic contact pairs, the penetration of particles of dielectric material on the contact surface of the collector rings, the formation of non-conductive films. It shows the influence of axial and radial instability clips collector rings on the actual contact area of collector rings one kinematic contact pair, are stated. The reasons for the formation of particles of the dielectric material during operation of the device, formation of a film of dielectric material on the contact surface of the collector rings are described. The influence of the total radial bias force on the deformation of the contact rings one kinematic contact pair is considered. The relation between the cyclic loading of the outer collector rings and wave-like change of the moment of rotation of the output shaft of the device is determined. An experiment on the effects of fluctuations in the torque of rotation of the output shaft of the device on the value of the voltage drop at the collector rings in a single layer is presented and described.

The authors conclude that smoothing the peaks of the twisting moment will provide smoother and stable characteristic changes of the voltage drop across the collector layer of the rings, to reduce the average value of the voltage drop on each layer of the collector rings and, therefore, reduce the total power dissipated on the current collection device. It is suggested to include solutions to achieve axial and radial stability clips of current collector rings in the operation of the device in the future construction of current collection devices.

Keywords: the current collection device, the actual area of contact, contact resistance, the voltage drop across the collector rings, the total disseminated power.

Введение. Одним из основных требований, предъявляемых к космическим аппаратам (КА), является обеспечение надежного функционирования в течение всего срока активного существования на орбите. Полезная нагрузка и модуль служебных систем современных искусственных спутников Земли потребляют до 15 кВт электрической мощности. Система электропитания КА предназначена для обеспечения бесперебойного автономного электроснабжения на всех этапах его существования, кроме этапа наземных испытаний, на котором используются внешние источники электропитания [1–5]; она должна обеспечивать автономное непрерывное энергопитание КА в условиях значительной неравномерности электрической нагрузки в течение витка и суток [5].

Центральное место в системе электропитания КА и системе ориентации солнечных батарей занимают устройства поворота (УП) солнечных батарей.

В проектных разработках УП солнечных батарей российских и зарубежных фирм наметилась тенденция обеспечения неограниченного угла поворота солнечных батарей с передачей электроэнергии, команд-

ной и телеметрической информации через блок токосъемных устройств [6]. В УП для транзита электрической энергии от вращающихся солнечных батарей к внутренним системам КА успешно применяются кольцевые токосъемные устройства (КТУ). Вся электрическая энергия, необходимая для функционирования КА, выработанная в солнечных батареях изделия, поступает на борт через КТУ.

В результате нестабильной работы КТУ в течение срока активного существования КА возможно увеличение падения напряжения и рассеиваемой тепловой мощности на устройстве. Для стабильной передачи электрической энергии через КТУ необходимо повышать надежность работы КТУ, его коэффициент полезного действия, от которых напрямую зависит функционирование всей энергосистемы космического аппарата и «живучесть» КА в целом.

В такой ситуации ресурс КТУ должен превышать срок активного существования КА на орбите, а само КТУ – сохранять заложенные выходные параметры в течение всего срока функционирования аппарата. Модель КТУ представлена на рис. 1 [7].



Рис. 1. Модель кольцевого токосъемного устройства

Слой токосъемных колец кольцевого токосъемного устройства состоит из следующих основных элементов:

- неподвижного внешнего токосъемного кольца (ТК);
- вращающегося внутреннего ТК;
- гибких контактных колец для передачи электрической энергии;
- диэлектрических изоляторов слоев ТК;
- диэлектрических изоляторов гибких контактных колец.

В процессе вращения солнечной батареи на неограниченный угол, передача электроэнергии от внутренних ТК к наружным осуществляется через упругие, катающиеся подобно шарикоподшипникам гибкие контактные кольца. Все контактные кольца разделены диэлектрическими изоляторами.

При изготовлении КТУ контролируются следующие основные параметры (целевые функции):

- падение напряжения на каждом слое токосъемных колец КТУ;
- суммарная тепловая мощность, рассеиваемая на КТУ.

В процессе функционирования КТУ, а именно при вращении его выходного вала, происходит колебание положения внешних ТК относительно внутренних как в осевом, так и радиальном направлениях.

Основной задачей, стоящей при изготовлении КТУ, является минимизация величин указанных целевых функций. Рассмотрение кинематики работы КТУ показало влияние на целевые функции двух факторов:

- колебание фактической площади контакта (ФПК) между ТК одной кинематической контактной пары в процессе вращения вала КТУ;
- образование непроводящих пленок на контактной поверхности ТК в процессе функционирования КТУ.

Из-за волнистости и шероховатости, полученных в результате механической обработки контактирующих поверхностей, смещения контактирующих поверхностей относительно друг друга и присутствия непроводящих пленок, реальная площадь контакта в сотни раз меньше, чем номинальная. Кроме того, под действием нагрузки различные участки площади контакта деформируются по-разному: выступы шероховатости или волны – упруго, а микровыступы – пластически [8–9].

В результате нарушения ФПК между ТК, а также образования на их контактных поверхностях непроводящих пленок, резко возрастает величина переходного сопротивления в месте контакта колец кинематической контактной пары. С возрастанием переходного сопротивления увеличивается величина падения напряжения на слое ТК и, как следствие, суммарная мощность, рассеиваемая на КТУ.

Детальное рассмотрение кинематики функционирования КТУ [10] выявило два фактора, влияющих на величину падения напряжения на слое ТК: осевое смещение внутренних и наружных ТК относительно друг друга и радиальное.

Осевое смещение внутренней и наружной обойм ТК относительно друг друга. Конструкция КТУ не предусматривает дополнительных элементов, предо-

храняющих внутреннюю обойму токосъемных колец от осевого смещения относительно наружной. Из-за различий в конструкции изоляторов внутренних и наружных токосъемных колец, различной площади их поверхности при сборке КТУ в изоляторах внутренних и наружных ТК могут формироваться различные внутренние напряжения. По окончании сборки КТУ и снятию КТУ с технологической оснастки накопленное внутреннее напряжение высвобождается и происходит смещение обойм ТК относительно друг друга. Экспериментально установлена максимальная величина осевого смещения, равная 0,1 мм.

Осевому смещению обойм ТК препятствуют контактные кольца слоев ТК: при смещении внутренней обоймы относительно наружной контактные кольца, являясь единственным связующим элементом внутренней и наружной обойм ТК, перемещаются и соприкасаются торцевой кромкой с поверхностью изоляторов соседних слоев ТК (рис. 2). В этом случае контактные кольца начинают играть роль ограничителя осевого смещения обойм токосъемных колец.

При смещении контактных колец относительно первоначального положения, выставленного при сборке КТУ, изменяется ФПК между кольцами одной контактной кинематической пары.

В результате взаимодействия торцевых кромок контактных колец с боковыми поверхностями изоляторов внутренних и наружных ТК может происходить выкрашивание материала изолятора, нарушение целостности гальванического покрытия контактных колец и попадание материала изоляторов на контактную поверхность ТК. Материал изоляторов раскатывается в процессе функционирования устройства по контактной поверхности ТК в тонкую пленку и, обладая диэлектрическими свойствами, препятствует прохождению электрического тока от внутренних ТК к наружным.

Электрический ток проходит между внутренним и наружным ТК только в отдельных точках, а не по всей площади контакта колец кинематической контактной пары [11]. В этом случае линии тока стягиваются к пятнам контакта, и вследствие этого возникает «сопротивление стягивания». Учитывая влияние непроводящих пленок, можно говорить об общем сопротивлении контакта [8].

С появлением непроводящих пленок в месте контакта ТК и изменением ФПК возрастает падение напряжения на слое токосъемных колец и увеличивается суммарная мощность, рассеиваемая на КТУ.

В настоящее время для решения проблемы механического взаимодействия контактных колец и изоляторов ТК прилагаются усилия по максимальному улучшению шероховатости поверхности контактирующих тел. Торцевая поверхность контактных колец выполняется в виде радиусов с шероховатостью поверхности не более 0,16 Ra; коническая часть изоляторов внутренних и наружных ТК полируется после окончательной механической обработки.

Для предотвращения осевого смещения ТК в конструкции КТУ применяются механические упоры, ограничивающие смещение внутренней обоймы ТК относительно наружной в пределах 0,1 мм.

Радиальное смещение наружного ТК относительно внутреннего в каждом слое. В каждом слое ТК между внутренним и наружным ТК устанавливается расчетное количество контактных колец. При установке контактных колец в зазор между внутренним и наружным ТК они приобретают форму эллипса. Расстояние между малыми полуосями эллипса зависит от фактического зазора между внутренним и наружным ТК и является непостоянным. Причина такого непостоянства кроется в суммарной смещающей силе, складывающейся из упругих сил «разжатия» всех деформированных контактных колец слоя и смещающей наружное ТК относительно внутреннего.

Сразу после сборки КТУ такая сила незначительна по причине относительно равномерного расположения контактных колец в каждом из слоев ТК. Экспериментально установлено [10], что в процессе вращения внутреннего вала КТУ происходит перераспределение контактных колец каждого слоя в один из секторов, в результате чего вектор смещающей силы может измениться, а абсолютная величина – возрасти. Под действием суммарной смещающей силы наружное ТК смещается относительно внутреннего: с одной стороны зазор между кольцами сокращается, с другой – увеличивается. С изменением зазора между внутренним и наружным ТК изменяется степень сжатия контактных колец, расстояние между малыми полуосями эллипса и, как следствие, ФПК между кольцами одной кинематической контактной пары. Максимальную деформацию испытывает контактное кольцо, занимающее центральное место – напротив действия суммарной радиальной смещающей силы.

Смещение наружного ТК относительно внутреннего в радиальном направлении ограничивается изоляторами контактных колец. В результате действия суммарной радиальной смещающей силы возникает цикличность нагружения наружного ТК за один оборот внутреннего ТК КТУ (рис. 3). Период цикла напряжений (σ_H) в точке наружного токосъемного кольца напротив действия радиальной силы равен времени

перемещения очередного изолятора контактных колец в данную точку (τ) [12–13].

При вращении внутреннего ТК и неподвижном наружном ТК, за один оборот внутреннего ТК группа контактных колец и их изоляторов повернется на

$$(1 - f_g) / 2 = 0,43 \text{ оборота,}$$

где f_g – геометрический параметр, равный 0,1367.

Таким образом, за один оборот внутреннего ТК произойдет

$$((1 + f_g) \cdot Z) / 2 = 6,24$$

циклов нагружения точки наружного ТК напротив линии действия радиальной силы, где Z – число тел качения [14].

О радиальном смещении наружного ТК относительно внутреннего, цикличности нагружения наружного ТК можно судить по связанному с ними изменению момента проворота вала КТУ по отнулевому циклу.

При проведении предварительных исследований трех образцов КТУ подтверждено наличие около 7 циклов возрастания момента проворота вала КТУ.

В ходе эксперимента одновременно отслеживалось изменение момента проворота вала КТУ и величина падения напряжения на слоях токосъемных колец на полном обороте вала КТУ.

На рис. 4 представлен график зависимости изменения напряжения датчика силы, установленного на валу КТУ (т. е. изменение момента проворота вала КТУ), за один оборот внутреннего ТК.

С цикличным изменением силы нагружения наружного ТК циклично изменяется ФПК между ТК каждого слоя и, следовательно, циклично изменяется величина падения напряжения на ТК. График зависимости падения напряжения на слое токосъемных колец за один оборот внутреннего ТК представлен на рис. 5.

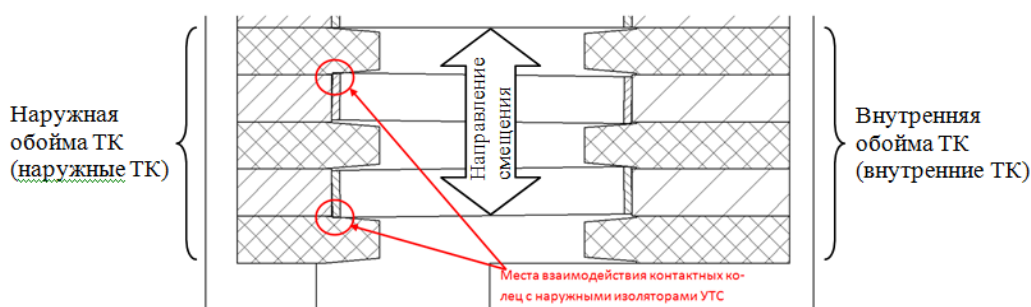


Рис. 2. Схема механического контакта токосъемных колец

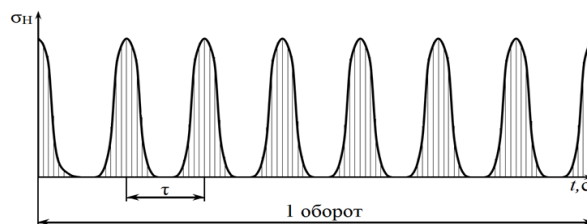


Рис. 3. График изменения нагружения точки наружного ТК за один оборот внутреннего ТК

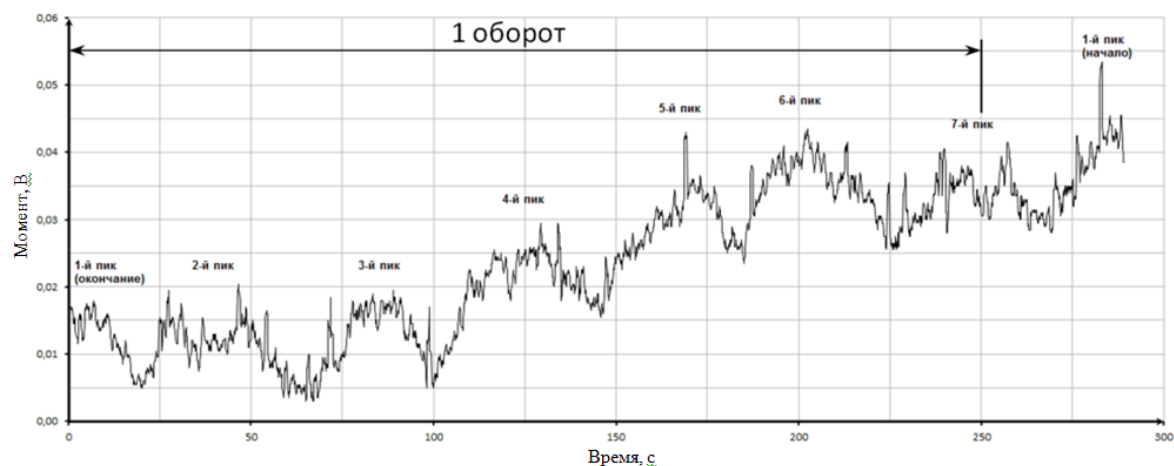


Рис. 4. График изменения момента проворота вала КТУ за один оборот внутреннего ТК

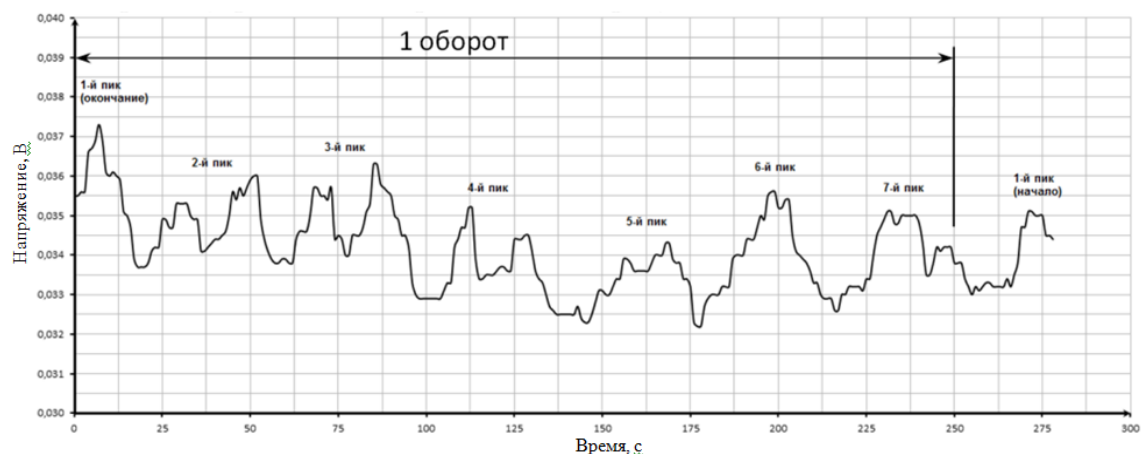


Рис. 5. График изменения величины падения напряжения на слое ТК за один оборот внутреннего ТК

Анализ характеристики изменения величины падения напряжения за один оборот вала КТУ показал наличие семи основных экстремумов (точек максимума). Некоторые волны нарастания момента проворота вала КТУ при достижении локального максимума «раздваиваются» (2-й пик, 3-й пик, 4-й пик). Вслед за изменением величины момента проворота вала КТУ меняется и величина падения напряжения на токосъемных кольцах каждого слоя; волны нарастания падения напряжения (2-й пик, 3-й пик, 4-й пик) «раздваиваются» аналогично характеристике изменения величины момента проворота вала КТУ. Возможной причиной такого изменения момента проворота вала КТУ при прохождении второго, третьего и четвертого пиков может являться проскальзывание изолятора контактных колец через зазор между внутренним и наружным ТК напротив действия суммарной радиальной смещающей силы.

Изолятор контактных колец, толкаемый соседним по направлению вращения контактным кольцом, подходит к месту минимального зазора между внутренним и наружным ТК. Первоначально зазор между внутренним и наружным ТК меньше наружного диа-

метра изолятора контактных колец. При последующем вращении вала КТУ давление на изолятор со стороны соседнего по направлению вращения контактного кольца нарастает.

Стоит отметить, что первоначально, даже при незначительной нагрузке, давление на контакте очень велико в силу малости площади контакта. Материал более мягкой неровности начинает пластически деформироваться, и в результате поверхности продолжают сближаться, приводя в контакт все больше неровностей. Этот процесс продолжается до тех пор, пока площадь контакта не станет достаточной, чтобы нести нагрузку [8].

С возрастанием контактного давления возрастает момент проворота вала КТУ. В момент, когда давление на изолятор контактных колец достаточно велико, изолятор разжимает внутреннее и наружное ТК и происходит его мгновенное проскальзывание в образовавшийся зазор. При проскальзывании изолятора снижается величина момента проворота вала КТУ (проявляется эффект подкручивания вала КТУ, отмеченный при экспериментах), изменяются зазоры между внутренним и наружным ТК и, как следствие,

происходит резкое изменение эллипсности всех контактных колец слоя.

Очевидно, что величина падения напряжения на ТК связана с волнообразным изменением момента проворота вала КТУ: с возрастанием величины момента проворота вала КТУ увеличивается величина падения напряжения на слое токосъемных колец.

Возрастание общего уровня величины момента проворота вала КТУ при движении от четвертого пика к пятому является следствием осевого смещения внутренней обоймы ТК относительно наружной (в процессе функционирования устройства) и контакта механического упора, установленного в середине внутренней обоймы ТК, с последующим изолятором наружных токосъемных колец. Данное изменение момента проворота вала КТУ на величину падения напряжения на ТК существенного влияния не оказывает.

Экспериментально установлено, что величина пиковых значений момента проворота вала КТУ снижается после продолжительного функционирования устройства, однако средний уровень падения напряжения на ТК не всегда снижается.

Причиной снижения величины момента проворота является прикатка контактных колец каждой кинематической пары. В процессе вращения внутренних ТК, из-за постоянного зажатия изоляторов контактных колец как между внутренним и наружным ТК (проскальзывания изоляторов контактных колец в момент их максимального зажатия), так и между контактными кольцами, происходит прикатка изоляторов контактных колец. При работе устройства на контактных поверхностях ТК образуется кольцевое пятно контакта, а наружный диаметр изоляторов контактных колец истирается.

Пятно контакта на поверхности ТК не свидетельствует о прикатке контактной пары, а является следствием их взаимодействия с изоляторами контактных колец.

Применение изоляторов контактных колец из мягких материалов (например, фторопласт-4) позволяет предохранить контактную поверхность ТК от повреждений в процессе функционирования устройства, однако в результате истирания материала самих изоляторов на контактной поверхности ТК образуется диэлектрическая пленка, препятствующая протеканию тока.

В большинстве случаев перенос материала полимерного изолятора контактных колец на сопряженную контактную поверхность ТК происходит уже после первых фрикционных актов. В зависимости от условий трения может образовываться сплошная пленка, но чаще – отдельные фрагменты перенесенного материала. При этом толщина слоя продуктов переноса может изменяться от единиц до десятков нанометров [15–16].

Предотвращение радиального смещения наружных токосъемных колец относительно внутренних позволит решить проблему как истирания изоляторов контактных колец, так и формирования необходимого пятна контакта на ТК одной кинематической контактной пары.

В дальнейшем для лучшего понимания причин радиального смещения наружных ТК относительно внутренних необходимо рассчитать суммарную смещающую силу, определить направление вектора ее действия. В контексте формирования пятна контакта между кольцами одной кинематической пары предстоит определить оптимальную геометрию ТК, количество контактных колец в слое ТК для передачи необходимой электрической энергии с минимальными потерями.

Заключение. Таким образом, предотвращение осевого и радиального смещения обойм ТК, сглаживание пиков момента проворота позволит получить более ровную и стабильную характеристику изменения падения напряжения на слое ТК, снизить среднюю величину падения напряжения на каждом слое ТК и, следовательно, уменьшить суммарную мощность, рассеиваемую на КТУ. В конструкцию КТУ в будущем следует внести такие решения, которые позволят добиться как осевой, так и радиальной стабильности обойм токосъемных колец в процессе функционирования КТУ. Подобные решения повысят надежность работы КТУ и коэффициент его полезного действия на протяжении всего срока активного существования космического аппарата.

Библиографические ссылки

1. Вентцель Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988. 208 с.
2. Графодатский О. С., Ислаев Ш. Н. Взаимодействие спутников связи с окружающей средой. Томск: РАСКО, 1993. 208 с.
3. Космические аппараты / В. Н. Бобков [и др.] // М.: Воениздат, 1983. 319 с.
4. Тестоедов Н. А. Космические вехи: сб. науч. тр. / ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Красноярск, 2009. 704 с.
5. Чеботарев В. Е., Косенко В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения: учеб. пособие. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2011. 488 с.
6. Система ориентации солнечных батарей [Электронный ресурс] // Wikipedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_ориентации_солнечных_батарей (дата обращения: 21.11.2014).
7. Santoro C., Hayes R., Herman J. Brushless slipring for high power transmission // 13th European Space Mechanisms and Tribology Symposium – ESMATS 2009 (23–25 September, Vienna). Austria. 2009.
8. Мышкин Н. К., Концин В. В., Браунович М. Электрические контакты. Долгопрудный: Интеллект, 2008. 560 с.
9. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 1. 8-е изд. М.: Машиностроение, 2001. 920 с.
10. Гришин А. А., Смирнов Н. А., Харитонов А. И. Анализ причин «сбегания» контактных колец кольцевого токосъемного устройства в процессе его функционирования // Решетневские чтения: материалы XVIII Междунар. науч. конф. (11–14 нояб. 2014,

г. Красноярск) : в 3 ч. / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2014. С. 387–389.

11. Теоретические основы электротехники [Электронный ресурс]. URL: <http://toe-kgeu.ru/eea/542-eea> (дата обращения: 28.11.2014).

12. Иванов М. Н. Детали машин : учебник для вузов. М : Высш. шк., 2000. 383 с.

13. Детали машин : учебник для вузов / Л. А. Андриенко [и др.]. М : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 544 с.

14. Галахов М. А., Бурмистров А. Н. Расчет подшипниковых узлов. М : Машиностроение, 1988. 272 с.

15. Свириденко А. И., Чижик С. А., Петроковец М. И. Механика дискретного фрикционного контакта. Минск : Наука и техника, 1990. 272 с.

16. Мышкин Н. К., Белый А. В., Холодилов О. В. Трение и износ. Гомель : Ин-т механики металлополимерных систем им. В. А. Белого, 1981. 686 с.

References

1. Venttsel' E. S. *Issledovanie operatsii. Zadachi, printsipy, metodologiya* [Operations research. Objectives, principles, methodology]. Moscow, Nauka Publ., 1988, 208 p.

2. Grafodatskii O. S., Islyayev Sh. N. *Vzaimodeistvie sputnikov svyazi s okruzhayushchei sredoi* [Interaction communication satellites with the environment]. Tomsk, RASKO Publ., 1993, 208 p.

3. Bobkov V. N., Raushenbakh B. V., Feoktistov K. P. *Kosmicheskie apparaty* [Spacecraft]. Moscow, Voenizdat Publ., 1983, 319 p.

4. Testodov N. A. *Kosmicheskie vekhi* [Cosmic milestones]. Krasnoyarsk, The Joint-stock Company Academician M. F. Reshetnev "Information Satellite Systems", 2009, 704 p.

5. Chebotarev V. E., Kosenko V. E. *Osnovy proektirovaniya kosmicheskikh apparatov informatsion-nogo obespecheniya* [Principles of design of spacecraft information support]. Krasnoyarsk, Siberian State Aerospace University named after Academician M. F. Reshetnev Publ., 2011, 488 p.

6. Wikipedia *Sistema orientatsii solnechnykh batarei* [The orientation system of solar panels]. (In Russ.). Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%E8%F1%F2%E5%EC%E0_%EE%F0%E8%E5%ED%F2%E0%F6%E8%E8_%F1%EE%EB%ED%E5%F7%ED%FB%F5_%E1%E0%F2%E0%F0%E5%E9 (accessed 21.11.2014).

7. Santoro C., Hayes R., Herman J. Brushless slipring for high power transmission. 13th European Space Mechanisms and Tribology Symposium – ESMATS 2009, Vienna, Austria 23–25 September 2009.

8. Myshkin N. K., Kontsin V. V., Braunovich M. *Elektricheskie kontakty* [Electrical contacts]. Dolgoprudnyi, Intelkt Publ., 2008, 560 p.

9. Anur'ev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya* [Reference designer-mechanical engineer] Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001, 920 p.

10. Grishin A. A., Smirnov N. A., Kharitonov A. I. [The analysis of the reasons of "consolidation" of contact rings of the current collection devices during its operation]. *Materialy XVIII Mezhdunar. nauch. konf. "Reshetnevskie chteniya"*. Krasnoyarsk, 2014, no. 1, p. 387–389. (In Russ.).

11. Toe-kgeu *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki* [Theoretical foundations of electrical engineering]. (In Russ.). Available at: <http://toe-kgeu.ru/eea/542-eea> (accessed 28.11.2014).

12. Ivanov M. N. *Detali mashin* [Machine parts]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 2000, 383 p.

13. Andrienko L. A., Baikov B. A., Ganulich I. K. *Detali mashin* [Machine parts]. Moscow, MGTU im. N. E. Bauman, 2002, 544 p.

14. Galakhov M. A., Burmistrov A. N. *Raschet podshipnikovyykh uzlov* [Calculation of bearing assemblies]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 272 p.

15. Sviridenko A. I., Chizhik S. A., Petrokovets M. I. *Mekhanika diskretnogo friktsionnogo kontakta* [Mechanics of discrete frictional contact]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1990, 272 p.

Myshkin N. K., Belyi A. V., Kholodilov O. V. *Trenie i iznos* [Friction and wear]. Gomel', Gos. nauch. uch. Institut mekhaniki metallopolymernykh sistem im. V. A. Belogo, 1981, 686 p.

© Гришин А. А., Смирнов Н. А., Харитонов А. И., 2014

**ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ
БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ТИПА «СИСТЕМА НА КРИСТАЛЛЕ»
ДЛЯ СВЕРХМАЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

В. Х. Ханов, Т. В. Бородин, А. Н. Антамошкин

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: hanov@sibsau.ru

Представлен обзор технических решений, предназначенных для использования современных технологий электронного космического приборостроения применительно к разработке бортовых комплексов управления для сверхмалых космических аппаратов типа CubeSat. В качестве перспективных рассмотрены технология «система на кристалле» и сетевая технология SpaceWire. Отмечается широкая мировая практика применения и преимущества использования данных технологий. Приводятся конкретные технические решения, использующие данные технологии, анализируется возможность и целесообразность их применения для проектирования бортового комплекса управления сверхмалого космического аппарата, учитывая его критические особенности по размерам, массе, энергопотреблению. Делается вывод о перспективности создания бортового комплекса управления для сверхмалого космического аппарата на основе интеграции в одном кристалле FPGA открытого IP-ядра процессора LEON 3 и маршрутизирующего коммутатора SpaceWire, определяющего сетевую архитектуру сверхмалого космического аппарата.

Ключевые слова: бортовой комплекс управления, система на кристалле, программируемые логические интегральные схемы, сетевая архитектура, сверхмалые космические аппараты.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 153–166**REVIEW OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR DEVELOPING OF A CONTROL
AND DATA HANDLING AS A SYSTEM ON A CHIP FOR ULTRA SMALL SPACECRAFT**

V. Kh. Khanov, T. V. Borodina, A. N. Antamoshkin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: hanov@sibsau.ru

An overview of the technical solutions for the use of modern technologies of electronic Space Device Engineering applied to development of board control and data handling for ultra-small satellites of the CubeSat is presented. As promising technologies, a system on a chip and network technology SpaceWire is considered. The wide world application and benefits of using these technologies are noticed. Specific technical solutions of using these technologies are shown. The possibility and expediency of their application for the design of on-board control and data handling for ultra-small spacecraft, given its critical features of size, weight, power consumption, are analyzed. The conclusion about the prospects of creating an onboard control and data handling for ultra-small spacecraft based on the integration in a single FPGA chip of open IP-core LEON 3 and routing switch SpaceWire, defining the network architecture of ultra-small spacecraft, is given.

Keywords: board control and data handling, system on a chip, programmable logic integrated circuits, network architecture, ultra small spacecraft.

Введение. Разработка сверхмалых космических аппаратов (СМКА) является относительно новым направлением развития космонавтики. СМКА жестко ограничены по габаритам, массе, энергопотреблению и сроку эксплуатации, поэтому при их проектировании преобладает подход максимального упрощения проекта. С другой стороны, общепризнано, что во многих случаях предназначением СМКА является

отработка перспективных технологий перед их применением на полноразмерных космических аппаратах. Подобным проектом является проект космического аппарата SibCube [1], разрабатываемый студентами и преподавателями СибГАУ. Одной из целей проекта является применение при создании SibCube новых в электронном космическом приборостроении технологий, к числу которых относится использование

технологии «система на кристалле» (СнК) для бортовых комплексов управления и сетевых принципов взаимодействия бортовой аппаратуры на основе технологии SpaceWire. В связи с этим представленный обзор отражает применение тех или иных технических решений на основе данных технологий применительно к СМКА класса CubeSat, имеющих жесткие ограничения по габаритам, массе и энергопотреблению.

Применение технологии СнК при создании бортовой аппаратуры космических систем. Одним из приоритетных направлений развития электронного космического приборостроения бортовых систем управления и сбора данных является технология «система на кристалле».

Термин СнК (System on Chip, SoC) имеет несколько понятий и рассматривается и как процесс, и как конечный продукт [2]. С одной стороны, это новый способ проектирования сложных полупроводниковых устройств, который основывается на том, что отдельные компоненты, входящие в изделие, рассматриваются подобно кубикам конструктора. Само же изделие получается путем соединения таких «кубиков» при помощи стандартных интерфейсов и протоколов. Благодаря стандартизации способов соединений, возможностям расширенного конфигурирования итогового изделия, сокращается время его разработки и повышаются гарантии получения требуемого результата, так как исчезают ошибки, связанные с адаптацией отдельных блоков к требованиям заказанной системы [3]. Кубиками конструктора являются так называемые сложнотехнологические блоки, или, как принято в англоязычной литературе, IP-блоки (Intellectual Property).

С другой стороны, это СБИС нового класса, в полной мере удовлетворяющие данному способу проектирования [4; 5]. Такими СБИС в первую очередь являются заказные интегральные схемы класса ASIC и программируемые логические интегральные схемы типа FPGA. В последнее время появились специализированные SoC FPGA, в которых в одном кристалле содержится высокопроизводительный процессор в виде hard IP-блока, например ARM, и собственно доступная для перепрограммирования FPGA. К таким SoC FPGA, например, относится семейство SmartFusion2 компании MicroSemi [6].

Наконец, СнК – это законченный продукт, электронная схема, выполняющая функции целого устройства и размещенная в одной интегральной схеме [5]. СнК, как правило, содержит IP-блоки высокопроизводительного процессора, внутрикристалльной шины и большого набора контроллеров периферии.

Технология СнК в полной мере отвечает основным требованиям электронного космического приборостроения – минимизации массы, габаритов и энергопотребления бортовой аппаратуры. Вследствие этого она получила широкое распространение при проектировании бортовых систем в основном в двух направлениях: разработка устройств обработки данных для систем полезной нагрузки и разработка бортовых систем управления.

Приведем несколько примеров построения систем для полезной нагрузки. В работе [7] представлены результаты разработки устройства обработки данных для камеры наблюдения поверхности Венеры космического аппарата Venus Express. Устройство обработки данных является СнК на основе радиационно стойкой FPGA Xilinx Virtex-I и процессорного ядра LEON2. КА Venus Express, запущенный в конце 2005 г., по-прежнему штатно функционирует и передает на Землю снимки Венеры. В этой же работе представлены результаты разработки нового устройства обработки данных, реализующего к тому же алгоритм сжатия изображений JPEG2000. Новое устройство также является СнК и использует более совершенные технологии: радиационно стойкую FPGA Xilinx Virtex-II и процессорное ядро LEON3.

В проекте AGGA (Advanced GPS/GLONASS ASIC) реализован обработчик цифровых сигналов GPS/GLONASS. AGGA-4 является СнК на основе IP-ядра LEON3 и специального блока ЦОС GNSS (Global Navigation Satellite Systems) [8]. На основе СнК в проекте CWICOM (CCSDS Wavelet Image COMpression) реализован алгоритм компрессии изображений в соответствии со стандартом CCSDS 122.0 [9]. CWICOM реализован в виде ASIC для космического применения. Радиационная стойкость по накопленной дозе – 300 крад. И подобных примеров множество.

Однако СнК чаще всего находят применение при проектировании On Board Computers (OBC), т. е. бортовых компьютеров (БК), и так называемых устройств Control and Data Handling (CDH) – устройств контроля и обработки данных, что соответствует, в первом приближении, отечественному термину «бортовой комплекс управления» (БКУ). Структурно CDH отличается от OBC тем, что в нем кроме процессорного ядра устанавливается ядро ТМ/ТК (кодер/декодер телеметрии/телекоманд) и, возможно, несколько увеличивается набор IP-блоков периферии, которая используется для сбора данных о процессах, происходящих в системах КА. Эти данные используются в том числе и как источник телеметрической информации (ТМ), передаваемой на Землю. Поэтому можно считать, что набор IP-блоков периферийных интерфейсов соответствует телеметрической системе, как это принято в отечественном электронном космическом приборостроении. Следовательно, CDH в целом соответствует функционалу отечественных БКУ. Отличие состоит лишь в том, что в отечественных БКУ, например применяемых в КА «Глонасс-М», имеются альтернативные источники формирования так называемой аппаратной телеметрии и имеется устройство контроля за работой БКУ, так называемый блок управления БКУ.

Примерами систем CDH, выполненных по технологии СнК, являются проекты, выполняемые при поддержке ESA: ShipSat, SCOC1, SCOC3, COLE [10]. Наиболее успешным является проект SCOC3 (Spacecraft Controller On Chip), выполняемый компанией EADS Astrium (с 2014 г. Airbus Defence and Space). Он заключается в создании CDH, объединяющей БК, систему ТМ/ТК в соответствии с системой стандартов CCSDS и систему сбора данных. Astrium выполнила системный проект, использовала ранее

разработанные IP-блоки ESA и разработала новые [11]. Ранние версии проекта использовали FPGA. В конечном воплощении проект реализован в виде специализированной СБИС ASIC ATC18RNA компании ATMEL. В качестве процессора используется LEON3FT. Интегральная схема ATC18RNA производится с 2009 г., с 2010 г. – в летном исполнении. С 2012 г. началась летная история ATC18RNA. Впервые она использована на КА SPOT6 [12]. В настоящее время порядка 8 КА используют платформу SCOC3.

Таким образом, СнК системы прочно заняли свое место в электронном космическом приборостроении.

Софт-процессоры для космического применения. Системообразующими компонентами СнК являются внутрикристалльная шина и процессорное ядро. При выборе внутрикристалльной шины для проектов типа CDH даже уровня СМКА по сути других альтернатив кроме шины AMBA не существует. Другие шины, такие как CoreConnect, Avalon, WishBone и др., имеют не такое широкое распространение, как AMBA, соответственно, не все разработчики IP-блоков в полной мере их поддерживают. Это обстоятельство сковывает разработчиков CDH в выборе необходимых IP-блоков. Для шины AMBA данной проблемы не существует, она уже давно стала общепринятым способом стандартизации взаимодействия IP-блоков.

При выборе процессорного ядра некоторая вариативность существует, поэтому можно определить критерии выбора:

- процессор должен быть предназначен для космоса, т. е. иметь архитектуру типа Radiation Hardening by Design (RHBD), т. е. специально разработанную с учетом защиты от ионизирующего излучения космического пространства [13], и иметь летную историю;
- IP-блок процессора должен быть открытым и свободно распространяемым, потому как стоимость БКУ и соответственно СМКА не должна быть высокой;
- IP-блок процессора должен распространяться как soft-блок для FPGA, потому как все hard IP являются коммерческими.

Для большинства миссий СМКА не требуется возможностей сбоеустойчивости (Fault Tolerant, FT), поэтому обычно процессоры для СМКА относятся к типу Single COTS Processor with no Fault Tolerance, если пользоваться классификацией, представленной в [13]. Однако есть примеры использования и FT-процессоров для СМКА. Подобные технологии использует, например, компания Space Micro [14] в серии своих отказоустойчивых ОВС Proton. Такие компьютеры могут понадобиться, например, при планировании гарантированного срока активного существования СМКА на орбите от двух лет и более. Поэтому RHBD IP-ядра процессоров нашли бы свое применение для СМКА. Однако все RHBD IP-ядра процессоров являются закрытыми и коммерческими. При этом обычно имеется открытой свободно распространяемая не FT-версия этого процессора, что дает возможность внести в него доработки, которые частично превращают его в FT-версию в той мере, которая может потребоваться для конкретной миссии

СМКА. Примером этого подхода являются разработки Ramon Chip [15]. Отрабатывая собственную технологию RadSafe создания RHBD бортовых компьютеров, они использовали открытое IP-ядро LEON3 при выполнении проекта GR702RC. В дальнейшем, работая уже совместно с Aeroflex Gaisler, применили LEON3FT для создания двухядерной СБИС СнК типа ASIC GR712RC.

Теперь, приняв данные критерии, выбор становится очевидным – только IP-ядра LEON2/3. Другие IP-ядра не удовлетворяют критериям выбора. Одни, как IP-ядра ARM, не являются RHBD, а создание RHBD-ядра находится пока на стадии исследований [16]. Другие, как, например, IP-блоки процессоров i8051, Nios, MicroBlaze, никогда не будут RHBD, они просто не для этого предназначены. Ядра, не являющиеся RHBD, можно использовать для создания RHBD-компьютеров, применяя технологию Triple Modular Redundancy. Например, hard процессорное ядро PowerPC 750FX компания Maxwell использует для создания RHBD-компьютеров [17], однако технология внутрикристалльного дублирования и троирования ядер, не являющихся RHBD, для создания FT-компьютера не приемлема для СМКА – слишком затратная по ресурсам. IP-ядра MIPS в основном являются hard, а открытые IP-ядра MIPS являются процессорами начальной сложности без летной истории и не являются RHBD. Известны примеры, когда IP-ядра MIPS используются для создания космических процессоров, но эти процессоры типа Radiation-Hardened (RH), в которых защита от ионизирующего излучения обеспечивается специальными топологическими решениями. Например, это процессоры Harris RH3000 [18] и Honeywell RH32 [19], основанные на архитектуре MIPS 3000. К таким же RH-процессорам относится RAD-750 архитектуры PowerPC компании BAE Systems [20].

Таким образом, среди всего множества процессорных ядер для реализации СнК только LEON2 или LEON3 и соответствующие им FT-версии [21–23] удовлетворяют всем критериям выбора. Оба процессора основаны на архитектуре SPARC v.8 и по сути отличаются только глубиной конвейера: у LEON2 он 5-ступенчатый, а у LEON3 7-ступенчатый. LEON2/LEON2FT поддерживает ESA, развитием LEON3/LEON3FT занимается Aeroflex Gaisler. LEON2 и LEON3 – открытые IP-ядра, LEON2FT и LEON3FT – закрытые.

Для использования в CDH для СМКА можно сказать, что LEON2 и LEON3 равнозначны. Может быть, только LEON3 в FPGA-реализации требует несколько больше ресурсов, чем LEON2. Однако знакомство с открытым VHDL-кодом определяет выбор LEON3: его код проще, понятнее и лучше структурирован. Это обстоятельство объясняется просто: разработкой LEON2 по заказу ESA также занималась компания Gaisler, а потом она оставила проект LEON2 и стала разрабатывать LEON3, естественно, изменив архитектуру и выполнив глубокий рефакторинг кода. Рефакторинг процессора LEON2 с момента его разработки не производился.

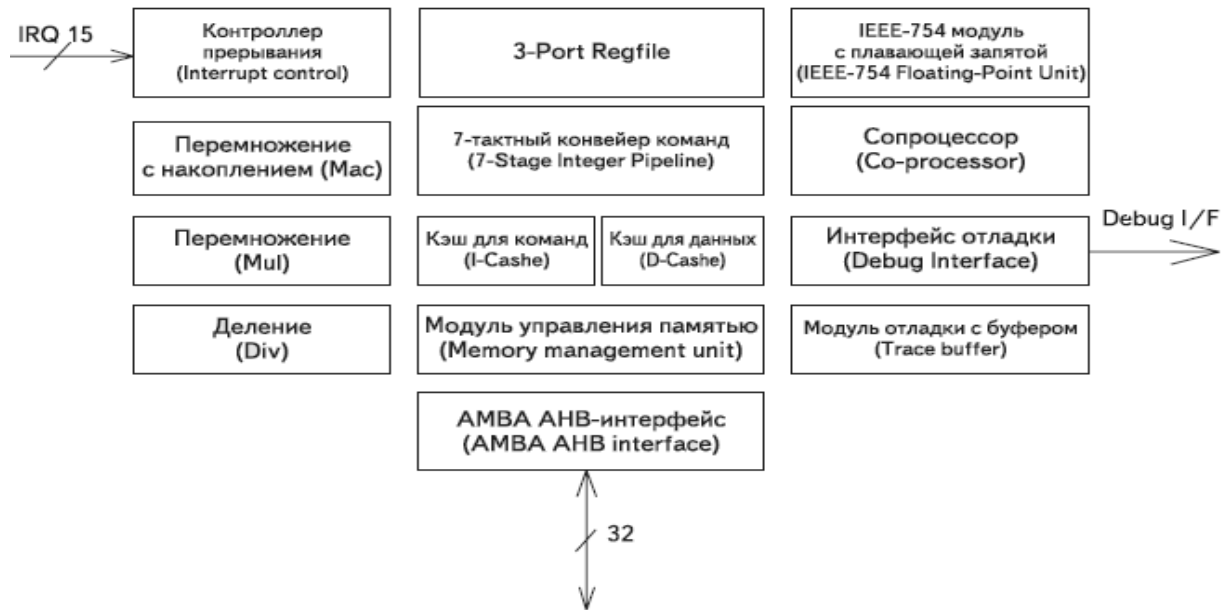


Рис. 1. Структура процессора LEON3

Структура процессора LEON3 показана на рис. 1. LEON3 использует расширенный семитактовый конвейер. Процессор поддерживает полную SPARC v.8 систему команд, включая команды перемножения, деления и перемножения с накоплением. Дополнительный IEEE-754 модуль обеспечивает поддержку операций с плавающей запятой с одинарной и двойной точностью. Кэш-система поддерживает мультимножества с четырьмя наборами по 256 кбит в наборе.

Таким образом, в большей степени целям построения цифровой платформы СМКА удовлетворяет IP-ядро LEON3.

Типы перепрограммируемых FPGA. Элементарной базой СнК-проекта для СМКА могут быть перепрограммируемые ПЛИС типа FPGA промышленного уровня от производителей, выпускающих, кроме того, аналогичные (pin to pin) FPGA уровня military и space. Это гибкое, простое и дешевое решение, одновременно открывающее простой путь портирования проекта в радиостойкую элементную базу для тех СМКА, чья миссия этого потребует. Таких производителей два: компания Xilinx, выпускающая одноименные FPGA, и компания Microsemi, выпускающая ПЛИС Actel, причем FPGA Xilinx – типа sram, а Actel – типа flash. Преимущества FPGA типа flash хорошо известны: отсутствие задержки между подачей питания и переходом микросхемы в рабочее состояние при загрузке конфигурации, низкий уровень потребления в статическом режиме, отсутствие ошибок программирования при загрузке конфигурации, высокая радиационная стойкость [24]. К тому же ПЛИС Microsemi в недавнее время были более доступны для отечественных разработчиков бортовых систем и вследствие этого и отмеченных выше достоинств получили в России большое распространение.

Впрочем, и FPGA Xilinx вполне удовлетворяют требованиям к проектированию аппаратуры СМКА, к тому же FPGA Xilinx, как показывает практически

опыт, ресурсно несколько более ёмкие и позволяют синтезировать более производительные проекты. Тем не менее остановим свой выбор на Actel FPGA типа flash.

Сетевые технологии для космического применения. Взаимодействие бортовой аппаратуры (БА) образует двухэлементную иерархию интерфейсов: интерфейсы верхнего уровня обеспечивают взаимодействие систем между собой, а интерфейсы нижнего уровня обеспечивают взаимодействие систем с периферийным оборудованием.

Интерфейсы нижнего уровня – это относительно простые последовательные интерфейсы CAN, RS232, SPI, I2C и др. Интерфейсы верхнего уровня гораздо сложнее, но их по сути всего два: MIL-STD-1533B (мультиплексный канал обмена, ГОСТ Р 52070–2003) и SpaceWire.

Интерфейс MIL-STD-1533B [25] успешно эксплуатируется на зарубежных и отечественных КА, но его низкая скорость обмена 1 Мбит/с, высокое энергопотребление, а также ряд других технических ограничений сдерживают развитие бортовой коммуникационной инфраструктуры.

Ситуация изменилась с появлением технологии SpaceWire. SpaceWire – это перспективная системообразующая технология для высокоскоростной коммуникации и комплексирования бортовых систем аэрокосмических аппаратов. SpaceWire разрабатывалась в соответствии с требованиями аэрокосмических применений, таких как высокие скорости передачи информации, малые задержки доставки сообщений, устойчивость к отказам и сбоям, низкое энергопотребление, компактная реализация в СБИС, поддержка систем реального времени и системных функций бортовых комплексов [26].

Сеть SpaceWire состоит, в общем случае, из некоторого числа узлов (nodes) и маршрутизирующих коммутаторов (routing switches). На рис. 2 представлена

обобщенная структура сети SpaceWire. Каждый узел имеет хост-устройство (host), которое может быть инициатором или точкой назначения передачи данных. Хост-устройством может быть процессор, блок памяти, датчик, исполнительное устройство и т. д.

Каналы связи (линки, links) представляют собой средства для передачи пакетов данных от одного узла к другому.

Узлы могут быть непосредственно связаны линками или соединены посредством маршрутизирующих коммутаторов. Маршрутизирующие коммутаторы связывают множество узлов и предоставляют возможность маршрутизации пакета от одного узла к другому. Маршрутизирующие коммутаторы позволяют адресовать узлы, находящиеся в одной подсети, или узлы, находящиеся в разных подсетях, посредством региональной логической адресации.

Таким образом, с помощью технологии SpaceWire можно создавать: структуры из узлов, связанные прямыми линками, без использования маршрутизирующих коммутаторов; локальную вычислительную сеть, узлы которой связаны через маршрутизирующие коммутаторы; вычислительную сеть уровня Интранет, объединяющую с помощью маршрутизирующих коммутаторов несколько подсетей.

Последний вариант, по крайней мере, на сегодняшний момент является избыточным для создания бортовой сети КА, особенно малых и сверхмалых. Первый вариант, по сути, нивелирует практически все возможности SpaceWire как именно сетевой технологии. Наибольший интерес вызывает второй вариант, позволяющий создать полноценную сетевую архитектуру взаимодействия БА, соответствующую текущим потребностям.

В настоящее время действующими стандартами SpaceWire являются:

– ECSS-E-ST-50-12C «SpaceWire – соединения, узлы, маршрутизаторы и сети». Базовый стандарт,

регламентирующий базовые уровни стека SpaceWire. Стек описан до сетевого уровня. Текущая версия появилась 31.07.2008 г. [27];

– ECSS-E-ST-50-52C «SpaceWire – протокол доступа к удаленной памяти» [28]. Протокол может быть использован для конфигурирования сети, управления узлами, а также для передачи данных из узлов SpaceWire. Таким образом, RMAP может использоваться для реализации транспортного уровня в соответствии с описанием уровней модели OSI. Текущая версия появилась 05.02.2010 г.;

– ECSS-E-ST-50-53C «SpaceWire – CCSDS протокол передачи пакетов». Определяет инкапсуляцию пакета CCSDS в пакет SpaceWire, его передачу через сеть SpaceWire и выделение CCSDS пакета на узле-получателе. Текущая версия появилась в 2010 г. [29];

– ECSS-E-ST-50-51C «Идентификация SpaceWire-протокола». Определяет метки идентификации протоколов транспортного уровня OSI. Текущая версия появилась в 2010 г. [30].

Система стандартов SpaceWire не описывает транспортный и выше уровни OSI. По сути, она предлагает воспользоваться своим сетевым уровнем (и, естественно, уровнями ниже по стеку) уже существующих протоколов, в частности, пакетам CCSDS – стандарт ECSS-E-ST-50-53C. Кроме того, имеются нормативные документы для других протоколов, использующих технологию SpaceWire для передачи своих пакетов:

– SMCS-ASTD-PS-001 Issue 1.1, 24 July 2009. Serial Transfer Universal Protocol STUP SpaceWire Protocol – Protocol Specification, EADS Astrium ASE4 [31];

– 417-R-RTP-0050 Version 2.1, 16 January 2008. Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), GOES-R Series, GOES-R Reliable Data Delivery Protocol (GRDDP), NASA Goddard Spaceflight Centre [32].

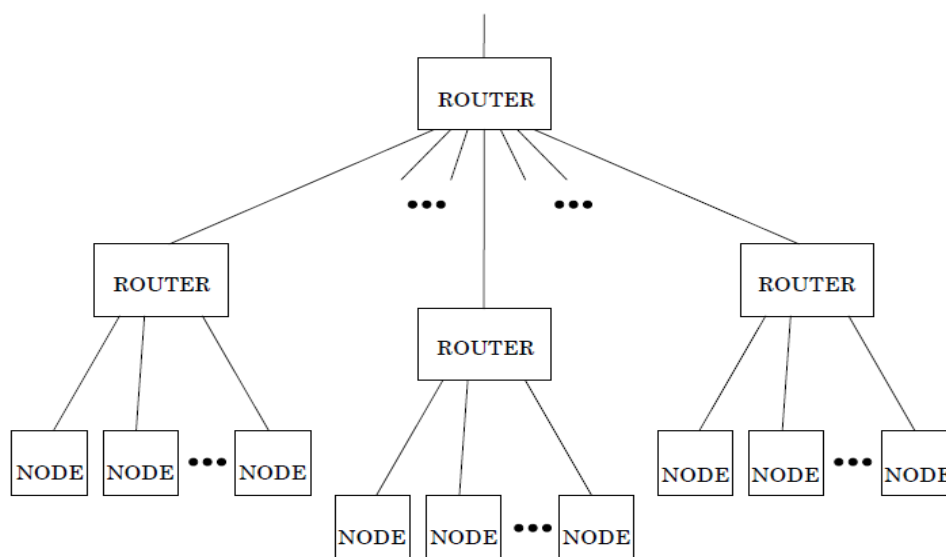


Рис. 2. Обобщенная структура сети SpaceWire [25]

Стандарт ECSS-E-ST-50-51C определяет схему назначения идентификаторов протоколов транспортного уровня. Так, для CCSDS-пакета определен идентификатор 2, для Serial Transfer Universal Protocol – 239.

Отсутствие транспортного уровня и инкапсуляция в пакет SpaceWire пакета прикладного уровня (или потока данных Octet String) соответствуют рекомендациям CCSDS по организации передачи данных между приложениями в космических системах, а именно, CCSDS 133.0-B1 [33]. Этот документ определяет концепцию CCSDS Space Packet transfer Protocol (протокол передачи космических пакетов). Данная концепция рассматривает любую сеть, в том числе и сеть SpaceWire, как средство передачи пакетов, сформированных на прикладном уровне. На рис. 3 представлена конфигурация протокола CCSDS Space Packet transfer Protocol.

Протокол CCSDS Space Packet transfer Protocol односторонний, т. е. узел-инициатор может только послать пакет на узел-приемник. Протокол определяет всего два примитива (полностью следуя рекомендациям CCSDS 133.0-B1): требование узла-инициатора отправки пакета с данными до узла назначения; индикация приложения пользователя на узле-приемнике, что пакет прибыл. Достоверность доставки решается сетью SpaceWire.

В отличие от ECSS-E-ST-50-53C протокол SMCS-ASTD-PS-001 двунаправленный и поддерживает для любого узла как команду записи (отправки пакета) данных, так и чтения (получения пакета с данными). Протокол 417-R-RTP-0050 можно классифицировать как протокол надежной доставки сообщений. Но, так или иначе, технология SpaceWire образует сеть для доставки пакетов от узла-отправителя до узла-назначения.

Протокол RMAP является протоколом (идентификатор ECSS-E-ST-50-51C – 1), который в первую очередь предназначен для выполнения служебных операций, связанных с конфигурированием сети и управлением узлами. Кроме того, он может быть использован в качестве протокола обмена данными между узлами сети (хост-устройствами). Для достижения необходимого уровня надежности и управляемости применение его является обязательным для космиче-

ских систем. В этом случае, учитывая отсутствие работ по реализации прикладного уровня в соответствии с нормативными документами CCSDS, NASA, Astrium, целесообразно реализовать прикладной уровень на базе RMAP, который определяется и как служебный, и как основной протокол передачи данных.

Архитектура бортовых комплексов управления. Рассмотрим варианты построения архитектуры БКУ, созданные на базе технологии «система на кристалле», а также использующие сетевые принципы взаимодействия с бортовой аппаратурой КА.

Одним из первых проектов построения ОВС с применением технологии СнК стал проект ChipSat [34]. Проект финансировался ESA. Структурная схема ОВС–СнК представлена на рис. 4.

ОВС–СнК содержала две подсистемы: процессорный модуль на базе архитектуры LEON2 и подсистему ТМ/ТК, разработанную на основе рекомендаций стандартов CCSDS. Внутрикристалльная шина – AMBA. В качестве интерфейса сопряжения ОВС–СнК с БА использовался CAN. Для вычисления сложных математических функций использовался IP-блок CORDIC. Разработанный экспериментальный образец базировался на XILINX Virtex XCV800 FPGA.

Развитие направления СнК-систем нашло отражение в следующих проектах ESA: SCOC1, SCOC3, COLE. Проект SCOC выполнялся много лет и прошел несколько стадий развития. Конечный вариант структурной схемы SCOC3, реализованный в ASIC ATC18RNA, представлен на рис. 5 [35].

Архитектура SCOC3 содержит 3 подсистемы: процессорную подсистему, подсистему ТМ/ТК в соответствии с рекомендациями стандартов CCSDS и подсистему сбора данных. SCOC3 содержит большое количество периферийных интерфейсов для сбора данных. Поэтому архитектура SCOC3 двухшинная: используются две шины AMBA. Причина заключается в том, что шина AMBA поддерживает только 16 адресов устройств, которые к ней подключены. К тому же некоторым устройствам может понадобиться не один, а, например, два адреса шины AMBA, что вызывает дефицит адресов при большом количестве периферийных устройств, который решается при двухшинной архитектуре.

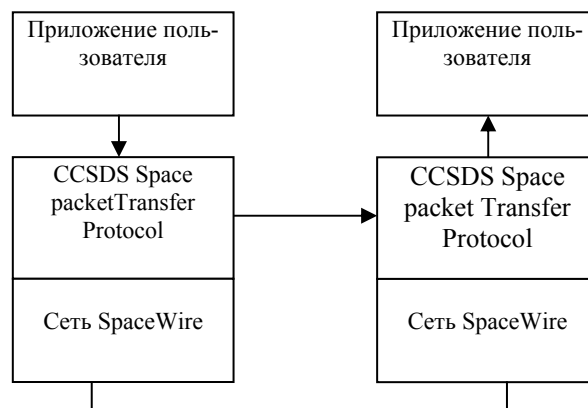
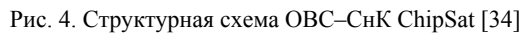


Рис. 3. Конфигурация протокола CCSDS Space Packet transfer Protocol



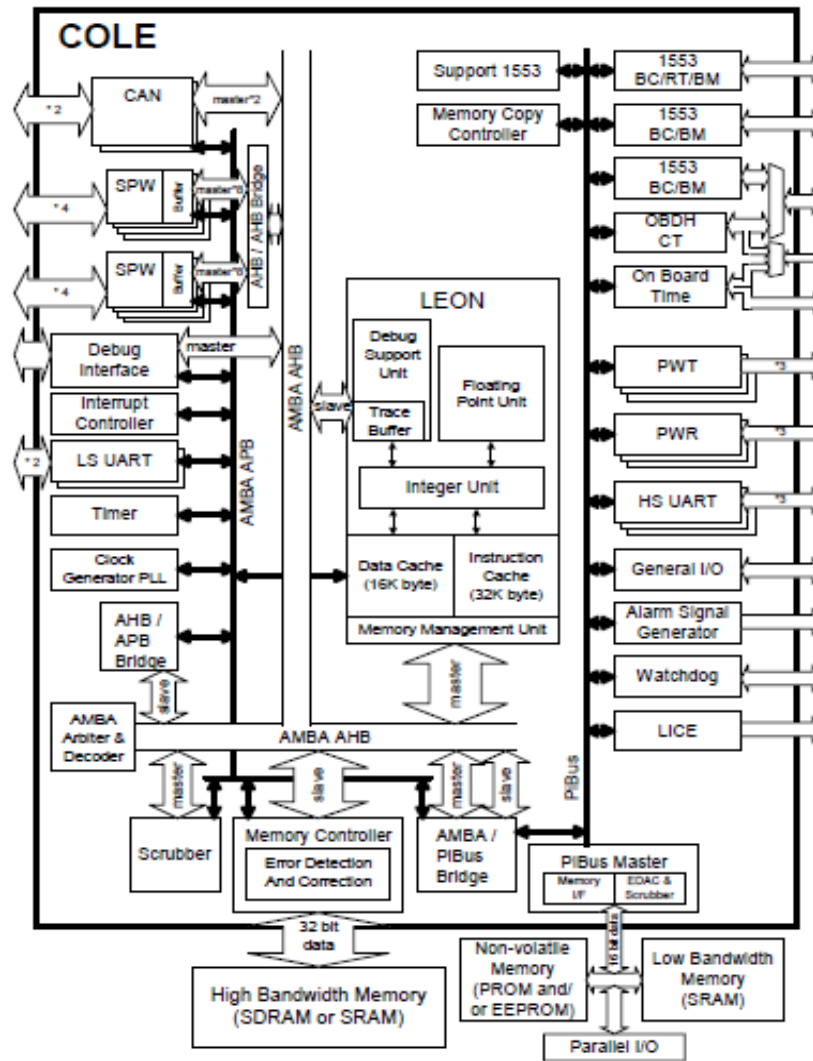


Рис. 6. Структурная схема CDH-СнК COLE [35]

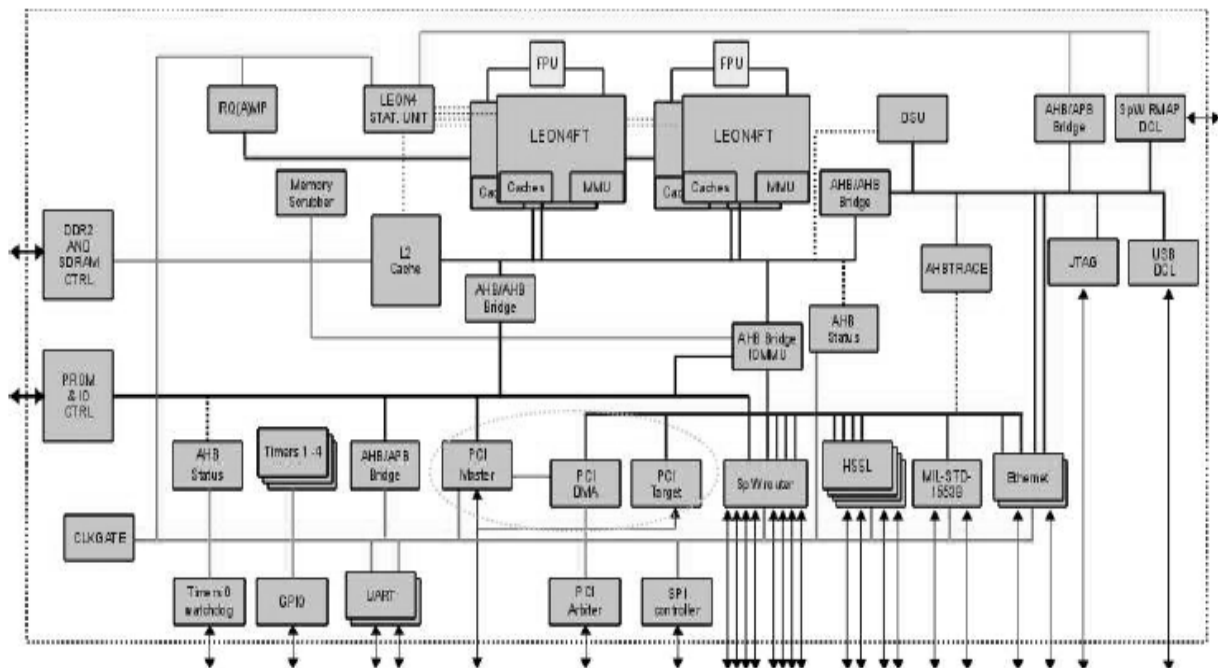


Рис. 7. Структурная схема процессора NGMP [37]

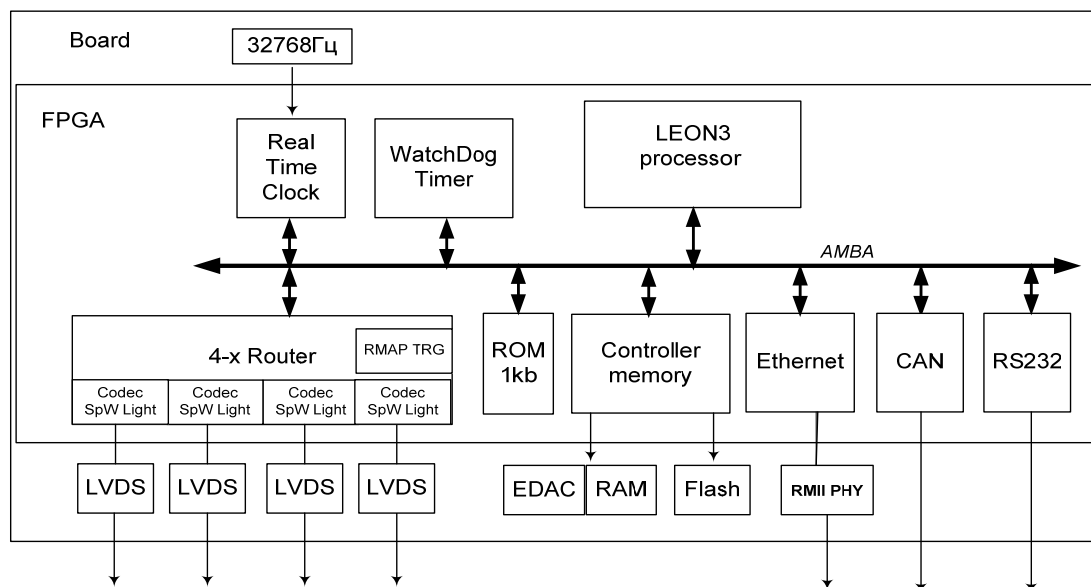


Рис. 8. Структурная схема процессора бортового компьютера МКА «ТаблетСат-Аврора» [37]

В проекте COLE (COCOS (COmputerCORESupport) I/O + LEON2-FT processor = COLE) технология СнК используется для создания масштабной системы сбора данных с помощью множества разнообразных интерфейсов: 3 MIL-STD-1553B, 3 высокоскоростных UART, 2 низкоскоростных UART, 8 SpW, 2 CAN и др. [36]. Архитектура COLE (рис. 6) также двухшинная: кроме шины AMBA дополнительно используется шина PBus, к которой подключены многие низкоскоростные устройства и периферийные интерфейсы.

В качестве перспективной рассматривается архитектура СнК процессора с 4 IP-ядрами LEON4 проекта NGMP (Next Generation Microprocessor) [37]. Архитектура NGMP представлена на рис. 7. Возможности данного процессора явно избыточны для БКУ, поэтому он позиционируется как процессор для полезной нагрузки. Для решения задач полезной нагрузки на каждые 2 ядра LEON4 используется одно FPU.

Среди отечественных ОВС и CDH СнК-разработок можно отметить процессорный модуль, используемый на отечественном МКА «ТаблетСат-Аврора» (рис. 8) [38].

Проект реализован в FPGA Microsemi A3PE3000. Процессор собран на открытых IP-ядрах, в том числе открытым LEON3, или компонентах, разработанных авторами работы. Отличием данного проекта является включение в СнК маршрутизирующего коммутатора. Коммутатор имеет 4 внешних порта и один внутренний порт конфигурации, осуществляемой по протоколу RMAP. Маршрутизирующий коммутатор создает сетевую инфраструктуру взаимодействия БА по сети SpW. Это является важным достоинством представленной схемы применительно к СМКА, который имеет очень жесткие габаритные требования. В этом же проекте маршрутизирующий коммутатор, определяющий сетевую инфраструктуру, интегрирован в процессор, что позволяет экономить пространство СМКА.

Вообще развитие технологии SpW является трендом электронного космического приборостроения.

В настоящее время за границей наблюдается широкое внедрение SpW в бортовые космические системы.

Общая структура бортовой вычислительной среды на основе SpW представлена в работе [39] (рис. 9).

В состав бортовой аппаратуры входят: центральный бортовой компьютер (ЦБК), бортовая аппаратура обработки сигналов и изображений (БАОСИ), бортовая аппаратура командно-измерительной системы (БАКИС), система трансляции команд и распределения питания (СТКРП), бортовое синхронизирующее координатно-временное устройство (БСКВУ), система спутниковой навигации (ССН), система управления движением (СУД), бортовая система телеметрических измерений (БСТИ).

Представленная структура обобщенно представляет SpW как некоторую шину, к которой подключается БА, не конкретизируя сетевую инфраструктуру. Более определенно сетевая инфраструктура для малого космического аппарата представлена в [40]. В данной работе инфраструктура взаимодействия определяется термином «сетевая архитектура» как топология соединений подсистем БКУ. На рис. 10 представлена архитектура типа «двойная звезда», обеспечивающая резервируемую архитектуру БКУ. Сетевую инфраструктуру определяет связка двух маршрутизирующих коммутаторов: основного и резервного, к каждому из которых подключен свой полукомплект устройств БКУ – соответственно основной и резервный. Устройство из каждого полукомплекта подключено не только к своему маршрутизирующему коммутатору, но и к другому.

Устройствами, входящими в каждый полукомплект, являются:

- модуль бортового компьютера, реализующий основные вычислительные и управляющие действия на борту МКА;
- модуль низкочастотной части командно-измерительной системы (НЧКИС), предназначенный, с одной стороны, для сбора телеметрических данных

от систем КА, преобразования их в телеметрические пакеты и передачи пакетов в высокочастотную часть командно-измерительной системы (ВЧ КИС) для их передачи по радиоканалу; с другой стороны, для приема от ВЧ КИС телекоманд управления, их дешифрации и передачи по адресуемым системам КА, в основном в БК;

– модуль преобразования интерфейсов имеет чисто технологическую функцию; он предназначен для преобразования некоторого множества интерфейсов, используемых системами космического аппарата (UART, CAN и др.), к интерфейсу SpaceWire; кроме того, он может принимать аналоговые сигналы с датчиков и передавать сигналы на исполнительные устройства (ИУ);

– модуль питания предназначен для стабилизации напряжения, поступающей в БКУ от внешней бортовой питающей сети.

Структурная схема БКУ представлена на рис. 11. На каждой печатной плате устройства располагаются два устройства: основное и резервное. Таким образом, рассмотренный подход реализует аппаратное резервирование, что для СМКА не является приемлемым ввиду жестких требований на массогабаритные показатели КА типа CubeSat.

В работе [41] представлена структурная схема БКУ для перспективного искусственного спутника Луны (рис. 12). Данная схема реализует резервирование сетевой инфраструктуры, используя 4 маршрутизатора SpW и дополнительные линки.

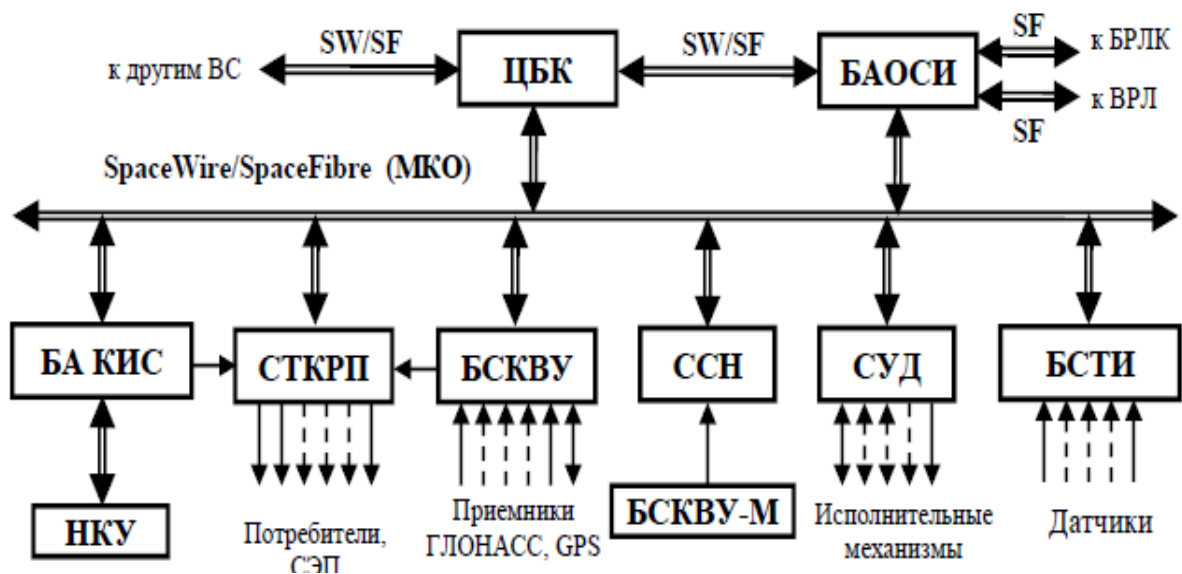


Рис. 9. Общая структура бортовой вычислительной среды [39]

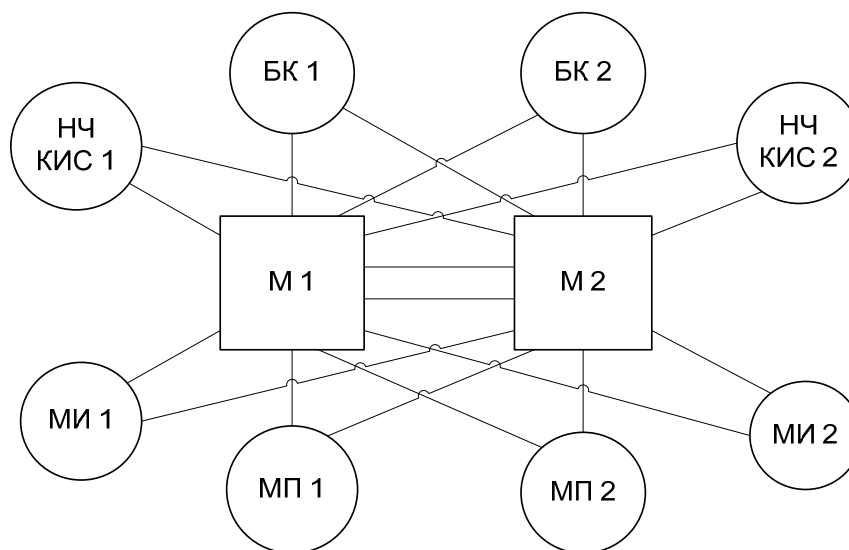


Рис. 10. Резервируемая архитектура БКУ типа «двойная звезда» [40]

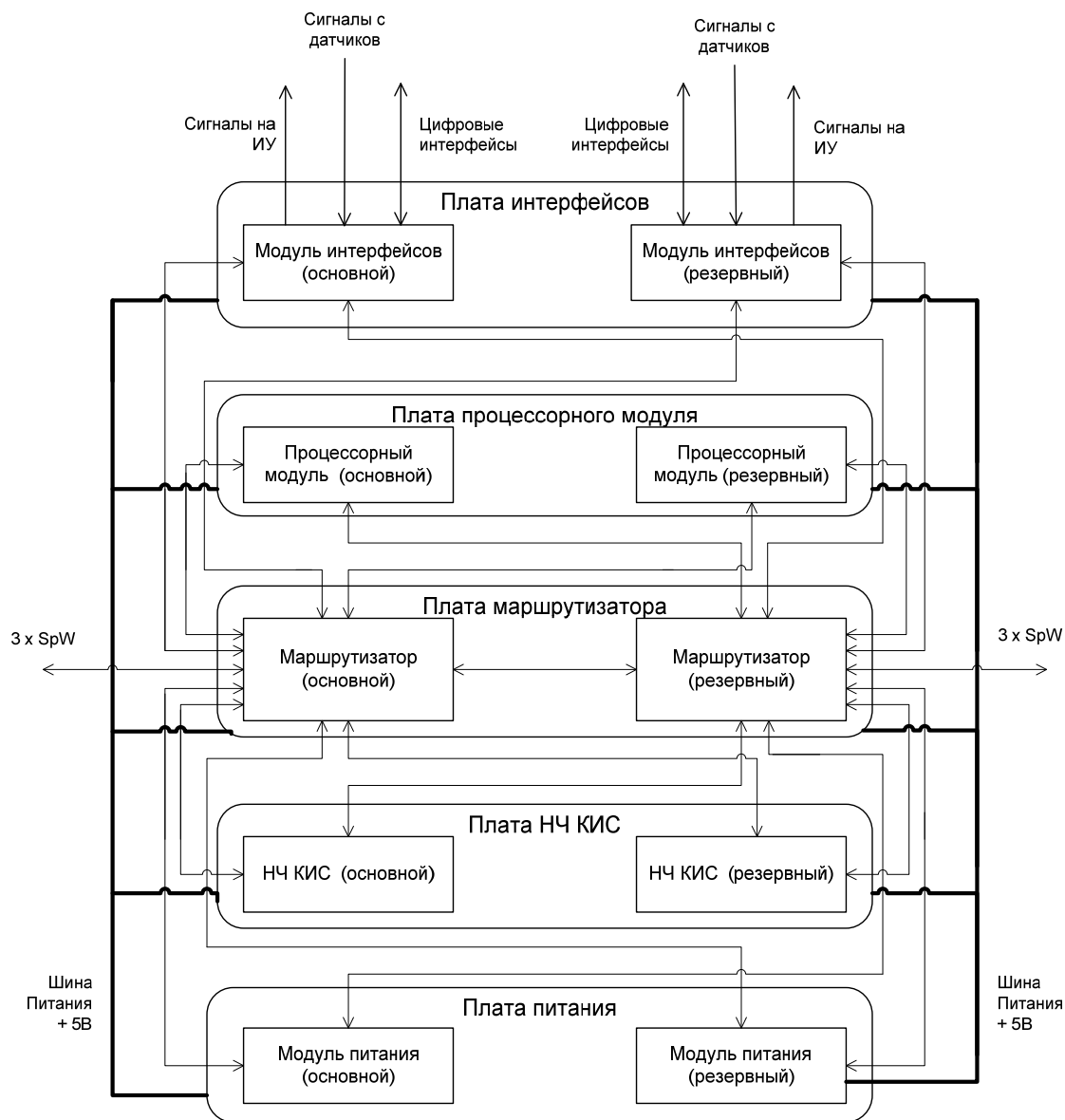


Рис. 11. Структурная схема БКУ [40]

При отказе одного маршрутизатора сохраняются альтернативные пути передачи информации и тем самым сохраняется работоспособность системы в целом. Однако для СМКА подобное избыточное резервирование сетевой инфраструктуры неприемлемо, так как оно требует увеличения количества устройств, реализующих резервирование (т. е. маршрутизаторов). Впрочем, вследствие малых размеров СМКА резервирование линков – единственный способ повышения надежности сети.

Заключение. Рассмотренные технологии (и система на кристалле, и сеть SpaceWire) имеют широкое распространение в космическом приборостроении, технических решений на их базе великое множество. Данные технические решения в основном рассчитаны на полноразмерные КА, но в то же время часть из них пригодна для разработки бортового комплекса управления сверхмалого космического аппарата. К ним можно отнести: собственно использование технологий «система на кристалле» и SpaceWire; применение в качестве основной элементной базы FPGA типа

flash; применение внутрикристалльной шины AMBA 2.0 и открытого IP-ядра процессора LEON 3, дополненного механизмами сбоеустойчивости; интеграцию маршрутизирующего коммутатора SpaceWire в систему на кристалле; использование сетевой архитектуры информационного взаимодействия подсистем СМКА на основе технологии SpaceWire; резервирование линков SpaceWire. Данные технические решения вполне реализуемы для СМКА типа CubeSat, несмотря на жесткие ограничения КА данного типа по габаритам, массе, энергопотреблению.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.574.21.0041 от 19.06.2014 г., уникальный идентификатор RFMEFI57414X0041.

Acknowledgment. This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in accordance with the agreement № 14.574.21.0041, unique identifier RFMEFI57414X0041.

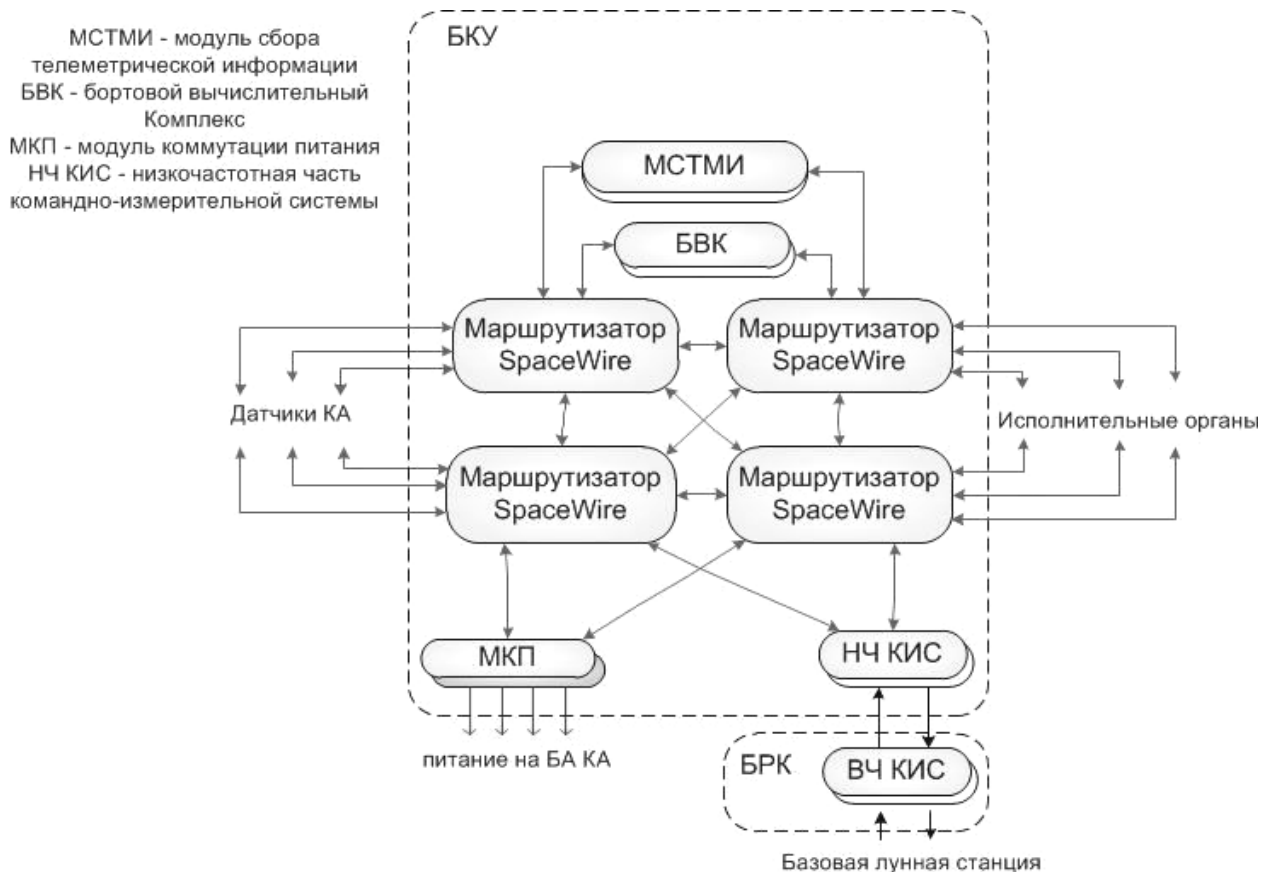


Рис. 12. Структурная схема БКУ для искусственного спутника Луны [41]

Библиографические ссылки

1. Проект SibCube [Электронный ресурс]. URL: <http://sibcube.sibsau.ru>.
2. Zhen. D. Reconfigurable System-on-a-Chip Based Platform for Satellite On-Board Computing. Surrey Space Centre School of Electronics and Physical Sciences University of Surrey Guildford. Surrey GU2 7XH. UK, 2005. P. 191.
3. Системы на кристалле. Интервью с разработчиком [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.intel.com/business/community/?automodule=blog&blogid=7605&showentry=3000>.
4. Евтушенко Н., Немудров В., Сырцов И. Методология проектирования систем на кристалле. Основные принципы, методы, программные средства // Электроника: наука, технология, бизнес. 2003. № 6. С. 7–11.
5. Немудров В., Мартин Г. Системы на кристалле. Проектирование и развитие. М.: Техносфера, 2004. 216 с.
6. Первые в мире ПЛИС с разнородными сигналами [Электронный ресурс]. URL: <http://www.actel.ru/12-plis/51-fusion>.
7. Reconfigurable System-on-Chip Data Processing Units for Space Imaging Instruments / B. Fiethe [et al.] // Design, Automation and Test in Europe Conference and Exposition. 2007. P. 997–982.
8. AGGA-4 – Core device for GNSS space-receivers of the next decade / J. Roselló Guasch [et al.]. NAVITEC, 2008. 8 p.
9. CWICOM Final Presentation [Электронный ресурс]. URL: http://amstel.estec.esa.int/tecedm/website/conferences/PresentationDays/CWICOM_Final.pdf.
10. SOC Development Activities [Электронный ресурс]. URL: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Microelectronics/SOC_Development_Activities.
11. Platform Data Handling [Электронный ресурс]. URL: <http://www.space-airbusds.com/en/equipment/scoc3.html>.
12. SCOC3 – A brand-new heart for space missions [Электронный ресурс]. URL: <http://microelectronics.esa.int/finalreport/SCOC3-FinalPresentation-2012-12-05.pdf>.
13. Ginosar R. Survey Space Processors. DASIA, 2012. P. 5.
14. Space Micro's Space Heritage [Электронный ресурс]. URL: <http://www.spacemicro.com/products.html>.
15. Ramon-chips. Conference papers and presentations [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ramon-chips.com/ramon%20conferences.html>.
16. Emre Ozer. ARM Microcontrollers for Space Applications. R&D, 2010. 16 p.
17. Designing a single board computer for space using the most advanced processor and mitigation technologies / L. Longden [et al.]. Maxwell Technologies, 2012. 17 p.
18. Harris Corporation Awarded Contract By Ball Aerospace For NPP Satellite On-Board Processors [Электронный ресурс]. URL: http://govcomm.harris.com/news/view_pressrelease.asp?act=lookup&pr_id=1129.
19. Honeywell RH32 [Электронный ресурс]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/RH-32>.

20. RAD750 [Электронный ресурс]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/RAD750>.
21. LEON [Электронный ресурс]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/LEON>.
22. Осипенко П. Микропроцессоры для космических применений // Электронные компоненты. 2010. № 1. С. 66–69.
23. Опыт разработки СБИС типа СнК на основе встроенных микропроцессорных ядер / В. Стещенко [и др.] // Компоненты и технологии. 2008. № 10. С. 67–72.
24. Котельников Е. Программируемая логика Actel // Электронные компоненты. 2010. № 9. С. 88–93.
25. MIL-STD-1553 [Электронный ресурс]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/MIL-STD-1553>.
26. Шейнин Ю., Солохина Т., Петричкович Я. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределенных комплексов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2006. № 6. С. 64–74.
27. ECSSE-ST-50-12C SpaceWire – Links, nodes, routers and networks. 2008. 129 p.
28. ECSS-E-ST-50-52C SpaceWire – Remote memory access protocol. 2010. 109 p.
29. ECSS-E-ST-50-53C SpaceWire – CCSDS packet transfer protocol. 2010. 21 p.
30. ECSS-E-ST-50-51C SpaceWire protocol identification. 2010. 15 p.
31. SMCS-ASTD-PS-001. Serial Transfer Universal Protocol STUP SpaceWire Protocol – Protocol Specification. EADS Astrium ASE4. 2009. Iss. 1.1. 7 p.
32. 417-R-RTP-0050. Version 2.1. Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), GOES-R Series. GOES-R Reliable Data Delivery Protocol (GRDDP) / NASA Goddard Spaceflight Centre. 2008. 18 p.
33. Space Packet Protocol, Blue Book. CCSDS 133.0-B-1. Space Packet Protocol. Blue Book, 2003. 49 p.
34. A System-on-a-Chip for Small Satellite Data Processing and Control (“ChipSat”) / Surrey Space Centre. 2003. 5 p.
35. Koebel F., Coldefy J.-F. SCOC3: a space computer on a chip. EDAA, 2010. 5 p.
36. P. Sinander. The COLE System-On-Chip. ESTEC Noordwijk. SAAB SPACE, 2007. 11 p.
37. Quad Core LEON4 SPARC V8 Processor. LEON4-NGMP-DRAFT. Data Sheet and User’s Manual. 378 p.
38. Шахматов А. В., Чекмарев С. А. Процессорный модуль типа «система на кристалле» для малого КА «ТаблетСат-Аврора» // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем : научн.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «ИСС». 2014. С. 104–106.
39. Гришин В. Ю., Ракитин А. В., Костров В. В. Облик перспективного вычислительного комплекса космического базирования с гибкой архитектурой для обработки сигналов // Космическая радиолокация. 2013. С. 52–57.
40. Концепция создания бортового комплекса управления для малых космических аппаратов / В. Х. Ханов [и др.] // Вестник СибГАУ. 2012. № 5 (45). С. 144–149.
41. Иванов М. А., Кириллов К. Ю. Бортовой комплекс управления для искусственного спутника Луны // Исследования наукограда. 2014. № 1. С. 4–11.

References

1. *Proekt SibCube* [Project SibCube]. (In Russ.) Available at: <http://sibcube.sibsau.ru>, (accessed 21.11.2014).
2. D. Zheng. Reconfigurable System-on-a-Chip Based Platform for Satellite On-Board Computing. Surrey Space Centre School of Electronics and Physical Sciences University of Surrey Guildford, Surrey GU2 7XH, UK, 2005. P. 191.
3. Sistemi na kristalle. Interv'u s razrabotchikom. [System-on-chip. Developer interview] (In Russ.) Available at: <https://ru.intel.com/business/community/?auto-module=blog&blogid=7605&showentry=3000> (accessed 21.11.2014).
4. Evtushenko N., Nemudrov V., Sircov I. [Methodology of designing systems on chip. Basic principles, methods, software]. *Electronica: Nauka, Tehnologiya, Biznes*, 2003, no. 6, p. 7–11. (In Russ.).
5. Nemudrov V., Martin G. *Sistemi na kristalle. Proektirovanie i razvitie* [System-on-chip. Design and development]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2004. 216 p.
6. *Pervie v mire PLIS c raznarodnimi signalami* [The world's first FPGAs with heterogeneous signals] (In Russ.) Available at: <http://www.actel.ru/12-plis/51-fusion> (accessed 24.11.2014).
7. Fiethe B., Michalik H., Dierker C., Osterloh B., Zhou G.. Reconfigurable System-on-Chip Data Processing Units for Space Imaging Instruments. Design, Automation and Test in Europe Conference and Exposition, 2007. P. 997–982.
8. Roselló Guasch J., Weigand R., Lopez Risueño G., Silvestrin P. AGGA-4 – Core device for GNSS space-receivers of the next decade. NAVITEC, 2008. 8 p.
9. CWICOM Final Presentation. Available at: https://amstel.estec.esa.int/tecedm/website/conferences/PresentationDays/CWICOM_Final.pdf (accessed 21.11.2014).
10. SOC Development Activities. Available at: http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering/Microelectronics/SOC_Development_Activities (accessed 21.11.2014).
11. Platform Data Handling. Available at: <http://www.space-airbusds.com/en/equipment/scoc3.html> (accessed 1.12.2014).
12. SCOC3 – A brand-new heart for space missions. Available at: <http://microelectronics.esa.int/finalreport/SCOC3-FinalPresentation-2012-12-05.pdf> (accessed 26.11.2014).
13. R. Ginosar, Survey Space Processors. DASIA, 2012. P. 5.
14. Space Micro's Space Heritage. Available at: <http://www.spacemicro.com/products.html> (accessed 21.11.2014).
15. Ramon-chips. Conference papers and presentations. Available at: <http://www.ramon-chips.com/ramon%20conferences.html> (accessed 1.12.2014).
16. Emre Ozer, ARM Microcontrollers for Space Applications. R&D, 2010. 16 p.

17. Longden L., Thibodeau C., Hillman R., Layton Ph., Dowd M. Designing a single board computer for space using the most advanced processor and mitigation technologies. Maxwell Technologies, 2012, 17 p.
18. Harris Corporation Awarded Contract By Ball Aerospace For NPP Satellite On-Board Processors. Available at: http://govcomm.harris.com/news/view_pressrelease.asp?act=lookup &pr_id=1129 (accessed 1.12.2014).
19. Honeywell RH32. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/RH-32> (accessed 18.11.2014).
20. RAD750. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/RAD750> (accessed 24.11.2014).
21. LEON. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/LEON> (accessed 19.11.2014).
22. Osipenko P. [Microprocessors for space applications]. *Elektronnie komponenti*, 2010, no. 1, p. 66–69 (In Russ.).
23. Steshenko V., Rutkevich A., Bumagin A. et al. [Experience in development of VLSI SoC type based on embedded microprocessor cores]. *Komponenti i tehnologii*, 2008, no. 1, p. 67–72 (In Russ.).
24. Kotelnikov E. [Programmable logic Actel]. *Elektronnie komponenti*, 2010, no. 9, p. 88–93 (In Russ.).
25. MIL-STD-1553. Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/MIL-STD-1553> (accessed 17.11.2014).
26. Sheinin Y., Solohin T., Petrichkovich J. [SpaceWire technology for parallel systems and distributed systems onboard]. *Electronica: Nauka, Tehnologiya, Biznes*, 2006, no. 6, p. 64–74 (In Russ.).
27. ECSSE-ST-50-12C SpaceWire – Links, nodes, routers and networks, 2008, 129 p.
28. ECSS-E-ST-50-52C SpaceWire – Remote memory access protocol, 2010, 109 p.
29. ECSS-E-ST-50-53C SpaceWire – CCSDS packet transfer protocol, 2010, 21 p.
30. ECSS-E-ST-50-51C SpaceWire protocol identification 2010, 15 p.
31. SMCS-ASTD-PS-001 Issue 1.1, 2009. Serial Transfer Universal Protocol STUP SpaceWire Protocol – Protocol Specification, EADS Astrium ASE4. 7 p.
32. 417-R-RTP-0050 Version 2.1, 2008. Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), GOES-R Series, GOES-R Reliable Data Delivery Protocol (GRDDP), NASA Goddard Spaceflight Centre. 18 p.
33. Space Packet Protocol, Blue Book. CCSDS 133.0-B-1. Space Packet Protocol, Blue Book, 2003. 49 p.
34. A System-on-a-Chip for Small Satellite Data Processing and Control (“ChipSat”), Surrey Space Centre, 2003. 5 p.
35. F. Koebel, J.-F. Coldefy. SCOC3: a space computer on a chip. EDAA, 2010. 5 p.
36. P. Sinander. The COLE System-On-Chip. ESTEC Noordwijk, SAAB SPACE, 2007. 11 p.
37. Quad Core LEON4 SPARC V8 Processor, LEON4-NGMP-DRAFT, Data Sheet and User’s Manual. 378 p.
38. Shahmatov A. V., Chekmarev S. A. [Processor module type system on a chip for small spacecraft “TabletSat-Aurora”]. *Trudi nauch.-tehn. konferencii molodih specialistov OAO ISS “Razrabotka, proizvodstvo, ispitaniya i ekspluatatsiya kosmicheskikh apparatov i sistem”*, 2014, p. 104–106 (In Russ.).
39. Grishin V. Y., Rakitin A. V., Kostrov V. V. [The face of prospective space-based computing system with a flexible architecture for signal processing]. *Kosmicheskaja radiolokatsiya*, 2013, no. 1, p. 52–57 (In Russ.).
40. Khanov V. Kh., Vergasov M. Y., Chekmarev S. A., Shahmatov V. A., Lukin F. A. [The concept of creating onboard control complex for small spacecraft]. *Vestnik SibGAU*. 2012, no. 5 (45), p. 144–149 (In Russ.).
41. Ivanov M. A., Kirillov K. Y. [Board control system for an artificial satellite of the Moon]. *Issledovania naukoigrada*, 2014, no. 1, p. 4–11 (In Russ.).

РАЗДЕЛ
PART
3



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ
И МАТЕРИАЛЫ

TECHNOLOGICAL
PROCESSES
AND MATERIALS



**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО СТЫКУ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
С ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТЬЮ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ**А. А. Дружинина¹, В. Д. Лаптенко², А. В. Мурыгин²¹ Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

² Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: druzhininasasha@rambler.ru

Влияние остаточной намагниченности свариваемых деталей на точность позиционирования электронного пучка по стыку соединения является сложной научно-технической проблемой по достижению высокого качества сварных соединений в аэрокосмической отрасли, судостроении и энергетике. В результате анализа магнитных полей остаточной намагниченности получены математическая модель их распределения в пространстве «электронно-лучевая пушка – свариваемое изделие» и количественные характеристики отклонений пучка электронов от стыка соединения. Для получения математической модели используется известный в литературе метод представления остаточной намагниченности в виде эквивалентного поля проводника с током. Адекватность моделирования проверена сравнительной оценкой экспериментальных и расчетных данных. Предложены метод и функциональная схема системы автоматической компенсации влияния магнитных полей на точность позиционирования электронного пучка по стыку соединения при электронно-лучевой сварке. Для контроля отклонения пучка от оптической оси электронно-лучевой пушки используется коллимированный рентгеновский датчик, размещенный на электронно-лучевой пушке, коллимационная щель которого наведена на оптическую ось пушки. Информация рентгеновского датчика обрабатывается по методу синхронного детектирования с частотным выделением сигналов первой и второй гармоник частоты сканирования электронного пучка поперек стыка соединения. Для этого используется технологическое сканирование электронного пучка поперек и вдоль стыка соединения, позволяющее помимо обеспечения измерения отклонения пучка электронов расширить возможности повышения качества сварки за счет управления распределением энергии по пятну нагрева. Автоматическая компенсация действия магнитных полей остаточной намагниченности свариваемого изделия позволяет уменьшить погрешность позиционирования электронного пучка по стыку соединения в корне шва в 20–30 раз.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, магнитное поле, остаточная намагниченность.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 168–173**IMPROVEMENT OF THE POSITIONING ACCURACY ALONG THE JOINT CONNECTION
OF DETAILS WITH THE RESIDUAL MAGNETIZATION IN ELECTRON BEAM WELDING**А. А. Дружинина¹, В. Д. Лаптенко², А. В. Мурыгин²¹ Siberian Federal University

79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

² Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev

31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

E-mail: druzhininasasha@rambler.ru

The effect of residual magnetization of the welded parts on the accuracy positioning of the electron beam along the joint connection is a complicated scientific and technical problem to achieve the high quality of welded joints in the aerospace industry, shipbuilding and power engineering. As a result of analysis of the magnetic fields of residual magnetization the authors obtained the mathematical model of their distribution in the space between the electron beam gun and the workpiece and also the quantitative characteristics of deflection of the electron beam from the joint connection were obtained. For obtaining the mathematical model, the authors use a method which is widely known in the literature. This method is based on the representation of residual magnetization as equivalent field of conductor with current. Comparative evaluation of experimental and calculated data confirms the adequacy of the modeling. The authors have developed a method and a functional diagram of the automatic compensation of the effect of magnetic fields on the accuracy of positioning of the electron beam along the joint connection in the process of electron beam

welding. The system of automatic compensation includes a collimated X-ray sensor, which is designed for monitoring deflection of the electron beam from the optical axis of the electron beam gun. The X-ray sensor is placed on the electron beam gun. The collimation slit of X-ray sensor is aimed at the optical axis of the gun. The method of synchronous detection is used to process information from the X-ray sensor. Thus the signals of the first and second harmonics of the scanning frequency of the electron beam across the joint connection are allocated. The method of synchronous detection uses the technological scanning of electron beam across and along the joint connection. The technological scanning allows to provide the measurement of deflection of the electron beam and to expand opportunities to improve weld quality by controlling the distribution of energy in the heating spot. Automatic compensation of the action of magnetic fields of residual magnetization of welded product can reduce the positioning error of the electron beam on the joint connection in the weld root in 20–30 times.

Keywords: electron-beam welding, magnetic field, residual magnetization.

Введение. Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) используется в 30 странах мира в основных отраслях промышленности. Наибольшее широкое применение этот вид сварки получил в автомобильной, авиационной, космической отраслях, судостроении, ядерной энергетике, где к качеству сварных соединений предъявляют высокие требования [1].

Точное совмещение электронного пучка со стыком свариваемых деталей является необходимым условием получения качественного сварного соединения при электронно-лучевой сварке. При этом ось пучка должна находиться в той же плоскости, что и поверхность стыка, а также должна быть совмещена со стыком по всей глубине свариваемого изделия. В противном случае возможно смещение шва.

Несмотря на значительные достижения в разработке автоматических систем слежения за стыком соединения, проблема совмещения электронного пучка со стыком по всей глубине свариваемого изделия остается актуальной из-за наличия в некоторых случаях магнитных полей, отклоняющих электронный пучок от стыка и приводящих к смещению сварного шва, что влечет за собой появление несправов.

Известно, что отклонение электронного пучка может быть вызвано остаточной намагниченностью свариваемых изделий, намагниченностью оснастки, воздействием различных электромагнитных устройств, воздействием тока термо-ЭДС, возникающего при сварке разнородных материалов [2].

Применяют различные способы уменьшения влияния магнитных полей [3–8]: размагничивание изделия, экранирование электронного пучка, компенсация магнитного поля в зоне сварки. Наиболее приемлемым способом защиты пучка электронов от магнитного поля является его компенсация в зоне сварки. Для этого необходимо измерить продольную составляющую магнитного поля в пространстве «пучка – свариваемое изделие».

Влияние магнитного поля помехи на траекторию пучка электронов можно оценить, используя формулы для расчета угла наклона ψ траектории пучка и отклонения x пучка электронов от оси электронно-лучевой пушки [9]:

$$\psi = \frac{e}{mV} \int_0^z B(z) dz, \quad x = \frac{e}{mV} \int_0^z \int_0^z B(z) dz dz, \quad (1)$$

где $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ – заряд электрона, Кл; V – скорость движения электронов, м/с; $B(z)$ – закон распределения

магнитной индукции в рабочем пространстве по оси Z ; m – масса электрона, рассчитываемая по формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},$$

где $m_0 = 9,109 \cdot 10^{-31}$ – масса покоя электрона, кг; $c = 2,977 \cdot 10^8$ – скорость света, м/с.

Математическая модель магнитных полей термоэлектрических токов, возникающих при сварке разнородных материалов, представлена в работе [10] и может быть использована для оценки отклонения электронного пучка от стыка свариваемых деталей вследствие действия этих полей.

Возникает необходимость в математическом описании закона распределения магнитной индукции в рабочем пространстве при сварке изделий с остаточной намагниченностью.

Математическая модель распределения магнитной индукции полей остаточной намагниченности. В литературе [11; 12] магнитное поле намагниченных тел представляют как результат взаимодействия магнитных полей эквивалентных проводников с током. В частности, поле поляризованного по оси намагниченного диска представляется как поле эквивалентного кольцевого проводника с током, а поле стержневого магнита представляется как результирующее поле совокупности круговых токов эквивалентной цилиндрической обмотки с током. Подобный подход широко используется в современной электротехнике.

Магнитное поле, создаваемое намагниченным веществом, можно описать введением макроскопических «молекулярных токов», отличных от тока проводимости. Вектор объемной плотности молекулярных токов j' определяется соотношением

$$j' = \text{rot} M. \quad (2)$$

Сила молекулярного тока I' через произвольную поверхность S , опирающуюся на контур L , определяется интегральным соотношением, следующим из (2):

$$I' = \int_S j' dS = \oint_L M dl.$$

В отличие от тока проводимости, молекулярный ток через полную площадь любого сечения намагниченного тела равен нулю.

Поле магнитной индукции $B'(r)$, создаваемое намагниченным веществом, эквивалентно полю, создаваемому молекулярными токами $j'(r)$ в вакууме. При этом полный вектор магнитной индукции B определяется эффективной плотностью тока j_Σ , равной сумме плотности токов проводимости и молекулярных токов: $j_\Sigma = j + j'$.

С введением молекулярных токов дифференциальное и интегральное уравнения магнитостатики можно записать в виде

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} B &= \mu_0 j_\Sigma, \\ \oint_L B dl &= \mu_0 \int_S j_\Sigma dS = \mu_0 I_\Sigma, \end{aligned}$$

где $I_\Sigma = I + I'$ – величина эффективного тока через поверхность S , опирающуюся на контур L .

Магнитное поле, создаваемое намагниченным телом с фиксированным распределением намагниченности $M(r)$, можно найти, заменив намагниченное тело эквивалентным распределением молекулярных токов. Индукция магнитного поля рассчитывается по найденному распределению молекулярных токов аналогично методам нахождения индукции магнитного поля токов в вакууме [12].

При ЭЛС наибольшую опасность представляет намагниченность, направленная вдоль линии сварки, поскольку электронный пучок в данном случае отклоняется поперек стыка. Такая намагниченность наблюдается в магнитном поле прямого тока, протекающего поперек стыка свариваемых деталей.

Предположим, что свариваемое изделие имеет однородную намагниченность и молекулярные токи направлены поперек стыка сварного соединения. По закону Био-Савара-Лапласа индукция магнитного поля бесконечно длинного прямого проводника с током находится по формуле

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, \quad (3)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; I – сила тока, А; r – расстояние от оси прямого проводника с током до заданной точки пространства, м.

Если ток распределен равномерно по сечению прямого цилиндрического проводника, радиус сечения которого равен R , то индукция магнитного поля внутри проводника с током определяется выражением

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r.$$

Отсюда индукция магнитного поля на поверхности проводника ($r = R$)

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} R = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}.$$

Таким образом, выражение (3) можно переписать в следующем виде:

$$B = \frac{B_0 \cdot R}{r}.$$

Такой же результат получается, если проводник имеет квадратное сечение.

Если началом координат является электронно-лучевая пушка, расстояние от которой до свариваемого изделия равно l , то закон распределения магнитной индукции в рабочем пространстве по оси Z будет определяться выражением

$$B(z) = B_0 \frac{R}{R + (l - z)}, \quad (4)$$

где B_0 – величина магнитной индукции на поверхности свариваемого изделия вблизи стыка и в свариваемом изделии.

Выражение (4) описывает закон изменения магнитной индукции в пространстве «электронно-лучевая пушка – свариваемое изделие».

Для оценки точности полученной модели распределения магнитной индукции в рабочем пространстве «электронно-лучевая пушка – свариваемое изделие» произведено сравнение экспериментальных значений $H_z(z)$ (см. таблицу) напряженности магнитного поля, измеренных цифровым измерителем магнитных полей с феррозондовым датчиком, со значениями, рассчитанными по формуле

$$H(z) = \frac{B(z)}{\mu_0}$$

с учетом (4) при толщине изделия 50 мм ($R = 25$ мм). Расчеты показывают, что средняя ошибка аппроксимации не превышает 5 %.

Подставляя выражение (4) в формулы (1) и интегрируя по z , получим выражения для определения угла наклона ψ траектории луча и отклонения x пучка электронов от оси электронно-лучевой пушки:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{e}{mV} \int_0^z B(z) dz = \frac{e}{mV} \int_0^z B_0 \frac{R}{R + (l - z)} dz = \\ &= \frac{e}{mV} B_0 R [\ln(R + l) - \ln(R + (l - z))], \end{aligned} \quad (5)$$

Экспериментальные и расчетные значения напряженности магнитного поля

z , мм	0	10	20	30	40	55	105	155	195
$H_z(z)$, А/м	342	254	202	160	133	105	61	47	38
$H(z)$, А/м	342	244,3	190	155,5	131,5	106,9	65,8	47,5	38,9

$$x = \frac{e}{mV} \int_0^z \int_0^z B(z) dz dz = \frac{e}{mV} \int_0^z B_0 \frac{R}{R + (l - z)} dz dz =$$

$$= \frac{e}{mV} B_0 R [z + (R + l - z) \ln(R + l - z) + (z - R - l) \ln(R + l)]. \quad (6)$$

Зная величину отклонения луча от оси электронно-лучевой пушки, нетрудно рассчитать значение индукции поля намагниченности на поверхности изделия вблизи стыка.

Так, в работе [13] рассмотрены поля остаточной намагниченности при электронно-лучевой сварке стали типа АБ толщиной 150 мм. Отклонение луча от оси шва в результате действия полей остаточной намагниченности достигало 15 мм. Используя формулу (6) при $R = 75$ мм, $l = 250$ мм и ускоряющем напряжении $U = 60$ кВ, получим $B_0 = 1,2$ мТл.

Система автоматической компенсации смещения луча, вызванного действием полей остаточной намагниченности. Для управления процессом сварки в условиях действия полей остаточной намагниченности наиболее простым способом является компенсация магнитных полей путем введения магнитного поля встречной направленности с помощью электромагнитных устройств. На рисунке представлена функциональная схема системы автоматической компенсации влияния поля остаточной намагниченности свариваемого изделия.

Устройство содержит электронно-лучевую пушку 1, формирующую электронный пучок, фокусирующую систему 2 и источник тока фокусировки 3, отклоняющие катушки 4 и 5 отклонения электронного пучка по поверхности свариваемого изделия в координатах y и x , генератор 7 сканирования пучка, рентгеновский датчик 8 с щелевым коллиматором, избирательный усилитель 9, демодулятор 10, избирательный усилитель 11 второй гармоники частоты сканирования, выпрямитель 12, усилитель 13 с регулируемым коэффициентом усиления, интегратор 14, электромагнит 15, блок 16 наведения пучка на стык сварного соединения, электропривод 17 перемещения пушки.

Электронно-лучевой пушкой формируется сфокусированный электронный пучок. С помощью генератора сканирования и отклоняющих катушек осуществляется технологическое сканирование пучка, которое помимо обеспечения измерения отклонения электронного пучка от стыка позволяет расширить возможности повышения качества сварки за счет управления распределением энергии по пятну нагрева [14]. Рентгеновский датчик контроля влияния магнитных полей на электронный пучок закреплен на электронно-лучевой пушке так, что проекция коллимационной щели на поверхности свариваемого изделия параллельна стыку соединения и совпадает с оптической осью пушки.

В процессе сканирования электронного пучка поперек стыка в выходном сигнале рентгеновского датчика 8 появляется гармоническая составляющая частоты сканирования, амплитуда которой пропорцио-

нальна смещению электронного пучка от оптической оси пушки, вызванному действием магнитных полей в промежутке «пушка – свариваемое изделие», а фаза этой гармонической составляющей указывает на направление смещения.

Гармоническая составляющая рентгеновского датчика усиливается избирательным усилителем 9 и преобразуется в напряжение постоянного тока в демодуляторе 10, на опорный вход которого подается сигнал с генератора 7 с частотой сканирования пучка поперек стыка. Сигнал на выходе демодулятора пропорционален отклонению электронного пучка от оси пушки в соответствии с математической моделью, представленной в работе [15].

Кроме того, в выходном сигнале рентгеновского датчика присутствует составляющая с частотой второй гармоники частоты сканирования. Вторая гармоника максимальна при совмещении электронного пучка с оптической осью пушки. Она характеризует чувствительность рентгеновского датчика и увеличивается при возрастании тока пучка. Эта составляющая усиливается избирательным усилителем 11 второй гармоники, преобразуется в напряжение постоянного тока на выходе выпрямителя 12 и поступает на вход регулировки коэффициента усиления усилителя 13. Регулировка коэффициента усиления производится с целью стабилизации коэффициента усиления контура управления во всем диапазоне сварочных токов. Усиленный сигнал через интегратор 14 поступает на электромагнит, который создает в свариваемом изделии компенсирующее магнитное поле, противоположное полю остаточной намагниченности свариваемого изделия. Использование интегратора позволяет ликвидировать отклонение электронного пучка от оптической оси электронно-лучевой пушки.

Совмещение электронного пучка со стыком свариваемого изделия осуществляется с помощью блока наведения пушки на стык сварного соединения и электропривода перемещения электронно-лучевой пушки. При этом плоскость стыка сварного соединения должна быть параллельна оптической оси пушки.

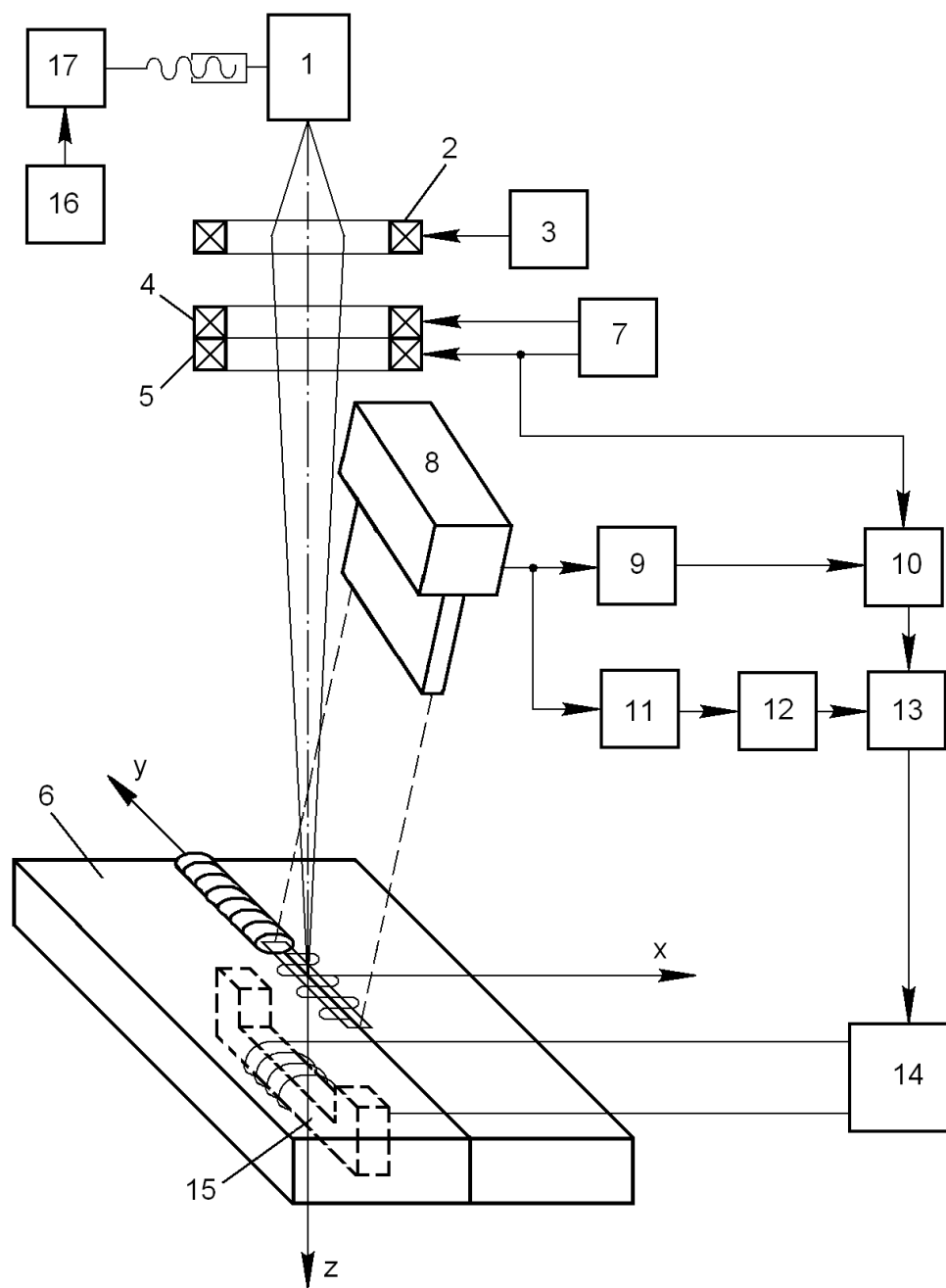
Полная компенсация влияния магнитного поля достигается, если компенсирующее магнитное поле имеет такой же закон изменения индукции $B(z)$, только направлено встречно. Это достигается выбором конфигурации электромагнита.

Точная компенсация положения электронного пучка относительно стыка соединения достигается в точке, находящейся в середине глубины канала проплавления, в связи с тем, что интенсивность рентгеновского излучения усредняется по каналу проплавления.

Автоматическая компенсация действия магнитных полей остаточной намагниченности свариваемого изделия позволяет уменьшить погрешность позиционирования электронного пучка по стыку соединения в корне шва в 20–30 раз.

Заключение. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Представлена модель распределения магнитного поля от остаточной намагниченности изделия в промежутке «электронно-лучевая пушка – изделие».



Функциональная схема системы автоматической компенсации влияния поля остаточной намагниченности

2. Предложена функциональная схема системы автоматической компенсации отклонения пучка электронов под действием магнитного поля помехи.

3. Автоматическая компенсация позволяет уменьшить отклонение пучка от стыка соединения до величин, обеспечивающих высокое качество сварных соединений.

Библиографические ссылки

1. Вихман В. Б., Козлов А. Н., Маслов М. А. Преимущества и недостатки электронного луча при сварке

по сравнению с лазером и электрической дугой // Технологии и оборудование «ЭЛС-2014»: доклады III Санкт-Петербургской Междунар. науч.-техн. конф. (24–26 июня 2014, г. Санкт-Петербург) / под ред. В. Б. Вихмана; СПб. гос. политехн. ун-т. СПб., 2014. С. 4–19.

2. Назаренко О. К. Отклонение пучка электронов при ЭЛС // Автоматическая сварка. 1982. № 1. С. 33–39.

3. Децик В. Н., Децик Н. Н., Нестеренко В. М. Проблемы борьбы с остаточной намагниченностью при ЭЛС ротора газового нагревателя // Электронно-лучевая сварка. М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1986. С. 107–110.

4. Непорожный В. Ю. Устройство для компенсации остаточного магнитного поля при электронно-лучевой сварке толстолистовых сталей // Автоматическая сварка. 1984. № 3. С. 68–70.
5. Стенд для размагничивания конструкций перед сваркой / Ф. Б. Черепнин [и др.] // Автоматическая сварка. 1981. № 3. С. 58–61.
6. Furner A. J. Electron beam welding thick section precipitation hardening steel // Weld J. 1981. № 1. P. 18–66.
7. High power electron beam welding of thick steel plates. Method for elimination beam deflection caused / H. Kihara [et al.] // Weld. World. 1984. Vol. 22, № 516. P. 126–136.
8. A study on occurrence and prevention of defects of EBW / K. Watanabe [et al.] // J. Jap. Weld Soc. 1975. Vol. 44, № 2. P. 121–127.
9. Управление электронно-лучевой сваркой / В. Д. Лаптенко [и др.] ; под ред. В. Д. Лаптенка ; Сиб. аэрокосмич. акад. Красноярск, 2000. 234 с.
10. Compensation of the effect of magnetic fields on the electron beam position in the process of electron beam welding / V. Laptenok [et al.] // Elektrotechnika & Elektronika E+E. 2014. Vol. 49, No 5–6. P. 62–67.
11. Путилов К. А. Курс физики. Т. II. М. : ГИТТЛ, 1954. 592 с.
12. Электричество и магнетизм. Методика решения задач / А. С. Жукарев [и др.] // М. : МГУ, 2010. 436 с.
13. Разработка технологии электронно-лучевой сварки сталей с остаточной намагниченностью / Н. В. Александров [и др.] // Технологии и оборудование «ЭЛС-2014» : доклады III Санкт-Петербургской Междунар. науч.-техн. конф. (24–26 июня 2014, г. Санкт-Петербург) / под ред. В. Б. Вихмана ; СПб. гос. политехн. ун-т. СПб., 2014. С. 141–149.
14. Экспериментальные исследования по оптимизации технологии электронно-лучевой сварки алюминиевых сплавов / Ю. Н. Серегин [и др.] // Технологии и оборудование «ЭЛС-2011» : доклады Санкт-Петербургской Междунар. науч.-техн. конф. (23–26 мая 2011, г. Санкт-Петербург) / под ред. В. Б. Вихмана ; СПб. гос. политехн. ун-т. СПб., 2011. С. 71–80.
15. Метод контроля влияния магнитных полей при электронно-лучевой сварке по рентгеновскому излучению из зоны обработки / А. А. Дружинина [и др.] // Вестник СибГАУ. 2012. № 5 (45). С. 158–163.
3. Decik V. N., Decik N. N., Nesterenko V. M. [The problems of combating residual magnetization of the rotor of the gas heater in EBW]. *Jelektronno-luchevaya svarka*. Moscow, 1986, p. 107–110 (In Russ.).
4. Neporozhnyj V. Yu. [Device for compensating residual magnetic field during electron beam welding of thick steel plates]. *Avt. Svarka*. 1984, no. 3, p. 68–70 (In Russ.).
5. Cherepnin F. B., Krepyshchev V. N., Drozdov V. G. [Stand for demagnetization constructions before welding]. *Avt. Svarka*. 1981, no. 3, p. 58–61 (In Russ.).
6. Furner A. J. Electron beam welding thick section precipitation hardening steel. *Weld J*. 1981, no. 1, p. 18–66.
7. Kihara H., Minehisa S., Sacabata N., Shibuya X. High power electron beam welding of thick steel plates. Method for elimination beam deflection caused. *Weld. World*. 1984, vol. 22, no. 516, p. 126–136.
8. Watanabe K., Shida T., Susuki H., Okamura H. A study on occurrence and prevention of defects of EBW. *J. Jap. Weld Soc*. 1975, vol. 44, no. 2, p. 121–127.
9. Laptenok V. D., Murygin A. V., Seregin Yu. N., Braverman V. Ya. *Upravlenie jelektronno-luchevoj svarkoj* [Control of electron beam welding]. Krasnoyarsk, SAA Publ., 2000, 234 p.
10. Laptenok V., Druzhinina A., Murygin A., Seregin Yu. Compensation of the effect of magnetic fields on the electron beam position in the process of electron beam welding. *Elektrotechnika & Elektronika E+E*. 2014, vol. 49, no 5–6, p. 62–67.
11. Putilov K. A. *Kurs fiziki* [Physics course]. Moscow, GITTL Publ., 1954, 592 p.
12. Zhukarev A. S., Ivanov S. A., Kirov S. A. *Jelektrichestvo i magnetizm. Metodika resheniya zadach* [Electricity and Magnetism. Technique of the decision the exercises]. Moscow, MGU Publ., 2010, 436 p.
13. Aleksandrov N. V., Blank E. D., Vovchenko N. V. [Development of technology of electron beam welding of steels with residual magnetization]. *Doklady III Sankt-Peterburgskoj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii “Tehnologii i oborudovanie JeLS-2014”* [Reports III St. Petersburg International Scientific and Technical Conference “Technologies and equipment EBW-2014”]. St. Petersburg, 2014, p. 141–149 (In Russ.).
14. Seregin Yu. N., Laptenok V. D., Uspenskij N. V., Nikitin V. P. [Experimental studies on the optimization of the technology of electron beam welding of aluminum alloys]. *Doklady Sankt-Peterburgskoj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii “Tehnologii i oborudovanie JeLS-2011”* [Reports III St. Petersburg International Scientific and Technical Conference “Technologies and equipment EBW-2011”]. St. Petersburg, 2011, p. 71–80 (In Russ.).
15. Druzhinina A. A., Laptenok V. D., Murygin A. V., Seregin Yu. N. [Method for monitoring of impact of magnetic fields in the process of electron-beam welding by x-ray radiation from treatment area]. *Vestnik SibGAU*. 2012, no. 5(45), p. 158–163 (In Russ.).

References

1. Vihman V. B., Kozlov A. N., Maslov M. A. [Advantages and disadvantages of electron beam as compared to laser and electric arc during the welding]. *Doklady III Sankt-Peterburgskoj mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii “Tehnologii i oborudovanie JeLS-2014”* [Reports III St. Petersburg International Scientific and Technical Conference “Technologies and equipment EBW-2014”]. St. Petersburg, 2014, p. 4–19 (In Russ.).
2. Nazarenko O. K. [Deflection of the electron beam in EBW]. *Avt. Svarka*. 1982, no. 1, p. 33–39 (In Russ.).

**ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСОВ НАСОСОВ
ТУРБОНАСОСНОГО АГРЕГАТА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Г. Г. Крушенко

Институт вычислительного моделирования СО РАН
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50
E-mail: genry@icm.krasn.ru

Описаны способы и средства, направленные на повышение качества корпусных деталей турбонасосного агрегата (ТНА) жидкостного ракетного двигателя, которые представляют собой детали, отливаемые из алюминиево-кремниевого сплава, наружная поверхность которых оформляется стенками литейной формы, а внутренняя – песчаным стержнем. При этом одной из проблем, связанных с литьем деталей из алюминиевых сплавов, в том числе и из алюминиево-кремниевых сплавов, является пористость, источником которой служит водород. Образующиеся в процессе кристаллизации металла поры ослабляют сечение отливок, что снижает их механические свойства и ухудшает эксплуатационные характеристики ТНА. Другим дефектом отливок из алюминиевых сплавов является наличие рассеянных или сосредоточенных пустот, что связано с недостатком питания жидким металлом затвердевающего сплава.

Описаны мероприятия, направленные на предотвращение и устранение негативного влияния газовой усадочных дефектов в корпусных отливках ТНА, в результате реализации которых повысилось качество и уменьшилось количество забракованных корпусов: переводили получение отливок с литья в землю на литье в кокиль; на песчаных стержнях устанавливали «холодильники», которые усиливали теплоотвод от кристаллизующегося металла; рабочие поверхности кокиля покрывали специальным огнеупорным покрытием, что обеспечивало уменьшение теплоотвода и теплопередачу в направлении от нижней части кокиля к верхней; разработано устройство для охлаждения нижней части кокиля сжатым воздухом и нагрева верхней части электронагревателями; был создан температурный режим кокиля, обеспечивающий направленное затвердевание отливок корпуса.

Ключевые слова: корпус турбонасосного агрегата, литье, повышение качества.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 174–179**THE EVOLUTION OF MANUFACTURE TECHNOLOGY
OF PUMP BODIES TURBO-PUMP ASSEMBLY LRE**

G. G. Krushenko

Institute Computational Modeling SB RAS,
50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation
E-mail: genry@icm.krasn.ru

The article describes the methods and tools aimed at improving the quality of body parts turbo-pump assembly (TNA) liquid-propellant rocket engine, which represent parts molded from aluminum-silicon alloy, the outer surface of which is issued by the walls of the mold, and the inner – sand core. One of the problems associated with the casting of aluminum alloys, including aluminum-silicon alloys, is the porosity, the source of which is hydrogen. Pores, formed during crystallization of the metal, weaken the cross-section castings, which reduce their mechanical properties and affect the operational characteristics of TNA. Another defect casting of aluminum alloys is the presence of scattered or concentrated voids, due to the shortage of supply of liquid metal solidified alloy.

The activities, aimed at prevention and elimination of the negative influence of the gas-shrinkage defects in case castings TNA, the implementation of which has improved the quality and reduced the number of defective buildings: transferred obtaining castings from casting in the sand form of the in the metallic form; on a sand cores installed "refrigerators", which increased the dissipation heat from the crystallizing metal; working surfaces of the die was covered with a special refractory coating, which ensured the reduction of dissipation and heat transfer in the direction from the lower part to the upper die; developed device for cooling the lower part of the die with compressed air, and heating the upper part of the heaters was established temperature of the die, providing the directional solidification of the casting of the case TNA, are described.

Keywords: case turbo-pump assembly, casting, improving quality.

Введение. В жидкостных ракетных двигателях (ЖРД) подача необходимого количества компонентов топлива – горючего и окислителя – с заданным давлением в камеру сгорания осуществляется насосами, которые приводятся во вращение газовой турбиной. В совокупности насосы с газовой турбиной образуют единый энергетический узел – турбонасосный агрегат (ТНА) (рис. 1), который является одним из основных агрегатов ЖРД [1].

По своим характеристикам и, в частности, по удельной мощности ТНА значительно превосходят параметры энергетических машин авиационных и автомобильных двигателей или других энергетических установок наземной техники. Например, турбина ракетного двигателя РД170 имеет мощность $\sim 270\,000$ л. с., что составляет более 30 % мощности ДнепрогЭС, построенной в 30-е годы XX века. При этом собственная масса ТНА этого двигателя равна ~ 1900 кг, а $m_{\text{отн}}$ (отношение массы в граммах к мощности в л. с.) $= 7$ г/л. с., тогда как $m_{\text{отн}}$ автомобильных двигателей внутреннего сгорания составляет 1500...2000 г/л. с., воздушно-реактивных двигателей – 200...400 г/л. с. [1].

По условиям эксплуатации комплектующие ТНА детали делятся на подвижные (вращающиеся), к которым, в частности, относится вал с расположенными на нем рабочими колесами (ротор), и неподвижные – корпуса, внутри которых располагается ротор (рис. 1) [2].

Вращающиеся детали ТНА работают в исключительно жестких динамических условиях – скорость вращения ротора достигает 60 000 об/мин, вибрация находится в диапазоне частот от 10 до 10 000 Гц, число включений – от 4 до 20 000, числа циклов термомеханического, вибрационного, аэрогидродинамического нагружения – от 10 до 10^9 , скорость движения жидких компонентов топлива – до 200 м/с [3; 4]. Корпуса ТНА работают под высоким внутренним давлением, достигающим сотен атмосфер. Кроме того, они воспринимают и часть нагрузок, возникающих при вращении ротора. Мероприятия по повышению качества рабочих колес ТНА подробно описаны в работе [5]. В настоящей работе описаны способы и средства, направленные на повышение качества корпусных деталей ТНА, которые представляют собой отливку, наружная поверхность которой оформляется стенками литейной формы, а внутренняя – песчаным стержнем.

Для литья корпусов применяли доэвтектический алюминиево-кремниевый сплав, который характеризуется высокими технологическими и физико-механическими характеристиками, гарантирующими надежность их работы в сложнагруженных условиях эксплуатации [3]. При этом одной из проблем, связанных с литьем деталей из алюминиевых сплавов, в том числе и из алюминиево-кремниевых сплавов, является пористость (пустоты в теле отливок, форма которых близка к глобулярной) [6], источником которой служит водород [7], поглощаемый расплавом из атмосферы и водородосодержащих соединений (формовочная смесь, шихтовые материалы, рафинирующие средства, футеровка печных агрегатов и др.) [8].

Образующиеся в процессе кристаллизации поры ослабляют сечение отливок, что снижает их механические свойства [9] и ухудшает эксплуатационные характеристики, например, герметичность – важнейшую характеристику корпусов ТНА. Даже минимальные отличия плотности сплава оказывают достаточно ощутимое влияние на уровень механических свойств отливок, что было установлено, например, в работе [10] на доэвтектическом алюминиево-кремниевом сплаве АК9ч (8,0–10,5 % Si; 0,17–0,30 % Mg; 0,20–0,50 % Mn; ост. – Al) при плотности отливок (определяли методом гидростатического взвешивания) $\rho = 2564$ кг/м³, временном сопротивлении $\sigma_b = 235$ МПа, относительном удлинении $\delta = 5,0$ %, тогда как при $\rho = 2575$ кг/м³ σ_b повысилось до 260 МПа (на 10,4 %), а δ – до 5,6 % (на 12,0 %), а при $\rho = 2658$ кг/м³ σ_b повысилось до 275 МПа (на 17,0 %), а δ – до 8,2 % (на 64,0 %). При этом плотность повысилась только на 0,43 %.

Проблема пористости решается путем введения в расплав хлорсодержащих соединений, например, хлористого магния MnCl_2 , гексахлорэтана C_2Cl_6 и др. [11; 12]. В результате взаимодействия этих соединений с водородом образуются пары HCl , которые улетучиваются из расплава. Существуют и другие средства и способы дегазации алюминиевых расплавов, такие, например, как продувка хлором или азотом [13], вакуумирование [14], обработка током [15], ультразвуком [16] и др. В данной работе дегазацию расплава производили гексахлорэтаном.

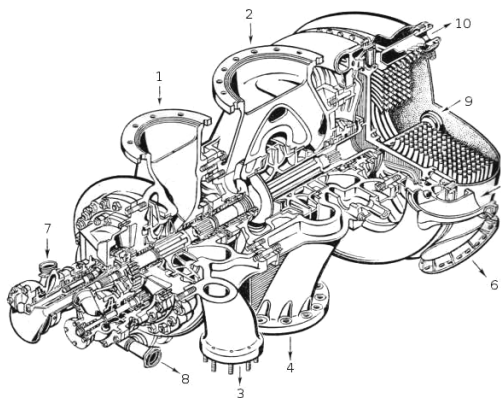


Рис. 1. ТНА ЖРД: корпус насоса горючего: 1 – подвод; 3 – отвод; корпус насоса окислителя: 2 – подвод; 4 – отвод [1]

Другим дефектом отливок из алюминиевых сплавов являются так называемые «усадочные» дефекты, присутствующие в виде рассеянных или сосредоточенных пустот, что связано с недостатком питания жидким металлом затвердевающего металла [17; 18]. При этом в усадочные пустоты может выделяться и присутствующий в жидком металле водород, образуя так называемые газово-усадочные пустоты [19].

Обеспечение надлежащего питания отливок производится разными способами, что можно проиллюстрировать на примере освоения литья корпусов ТНА из алюминий-кремниевых сплавов, близкого по составу к американскому сплаву А356 (6,3–7,3 % Si; 0,25–0,45 % Mg; 0,2 % Ti), который также характеризуется склонностью к образованию усадочных дефектов [18].

Технология литья корпусов ТНА в песчано-глинистые формы. На начальном этапе освоения корпуса ТНА отливали в песчано-глинистые формы, спецификой применения которых является медленный отвод тепла от кристаллизующегося металла, что нарушает правило направленного затвердевания металла и вызывает появление усадочных дефектов в тепловых узлах отливок в виде раковин и пористости. Выявление и возможное исправление таких дефектов особенно важно при использовании литых деталей в составе изделий, работающих в сложнагруженных условиях эксплуатации. Одним из эффективных способов обнаружения дефектов является рентгенография [20]. Рентгеновским излучением можно просвечивать отливки с толщиной стенки в несколько десятков миллиметров. Прошедшее через деталь излучение попадает на фотопленку, засвечивая ее. Если в отливке имеется дефект, то излучение меньше поглощается в этом месте и, следовательно, сильнее засвечивает пленку, создавая на ней черное пятно, свидетельствующее о внутреннем дефекте.

С целью оценки соответствия качества корпусов требованиям технической документации их после выбивки стержней и отрезания литниково-питающей системы подвергали 100-процентному рентгенопросвечиванию [21]. При этом внутрь отливки помещается рентгеновская пленка, предварительно вложенная в пакет из непрозрачной для света черной бумаги, причем его располагают так, чтобы он полностью прилегал к внутренней стенке детали, что осуществляется с применением разных методов фиксирования. Просвечивание производилось с помощью промышленного рентгеновского острофокусного аппарата РУП-200. Режим просвечивания (длительность экспозиции и мощность излучения) подбирается в зависимости от толщины стенки отливки.

После просвечивания пленка проявляется и изучается на предмет наличия дефектов, фиксирующихся в виде темных пятен. Для уточнения места нахождения дефекта на то место отливки, где он обнаружен в виде темного пятна, с помощью пластилина прикрепляется свинцовая «метка» (крестик), и это место повторно просвечивается. Ввиду того, что рентгеновские лучи не проходят сквозь свинец, метка фиксируется на пленке в виде белого крестика. Иногда приходится выполнять эту операцию несколько раз. После уста-

новления точных координат и контуров дефекта металл в этом месте вырубается на нужную глубину до плотного металла, место вырубки зачищается и производится его заварка по аналогичной технологии [22], затем деталь снова просвечивают с целью гарантии устранения дефекта.

Заварку вырубленных мест производили без подогрева отливок с применением аргонодуговой сварки плавящимися электродами, которые с целью получения мелкокристаллической (модифицированной) структуры отливали из этого же сплава в холодные чугунные изложницы, причем сечение электродов имело овальную форму (большая ось – 10 мм, меньшая – 5 мм), что позволяло более точно формировать завариваемое место.

При заварке сквозных дефектов, а также дефектов, после удаления которых толщина стенки отливки не превышает 3 мм, применяли подкладки из материала отливки, а также из смеси песка с жидким стеклом. После заварки и удаления подкладок производили зачистку и подварку отливки с обратной стороны стенки. При отработке технологии измерялась электропроводимость заваренных мест и литого материала отливки с целью проверки адекватности химического состава наплавленного материала. Количество и площади допускаемых таким способом исправлений строго ограничиваются приемной документацией.

Затем отливки проходили весь цикл технологических операций как в литейном цехе (термическая обработка), так и в механических цехах (обработка резанием), после чего проходили испытания на герметичность, результаты которых являлись окончательным контролем для пропуска детали на сборку.

Аналогичная технология применяется для выявления и устранения литейных дефектов в кокильных отливках (рис. 2) корпуса коробки перемены передач (transmission case casting) автомобилей, производимых фирмой Nissan Casting Australia Pty Ltd. (NCAP) [23] из сплава системы Al–Si–Mg, близкого по составу к сплавам корпусов ТНА.



Рис. 2. Отливка корпуса коробки передач автомобиля фирмы Nissan Casting Australia Pty Ltd. (NCAP) [23]

Технология литья корпусов ТНА в металлическую форму. Однако ввиду достаточно больших затрат по заварке дефектов корпусов, отливаемых в песчано-глинистые формы, а также относительно большого количества отливок с неисправимыми дефектами, было принято решение перевести их на литье в металлическую форму (кокиль) [24], для реализации чего был изготовлен механизированный кокиль

с вертикальным разъемом полуформ с помощью гидравлики. При этом проектирование, изготовление кокиля и освоение по сути новой технологии, причем в сжатые строки, оказалось достаточно трудоемким мероприятием. Однако в результате стало возможным повысить качество отливок как за счет увеличения скорости охлаждения металла, что приводит к формированию мелкокристаллической структуры отливки и, как результат, получению отливок с более высокими механическими свойствами [25], так и за счет уменьшения брака по засорам формовочной смесью.

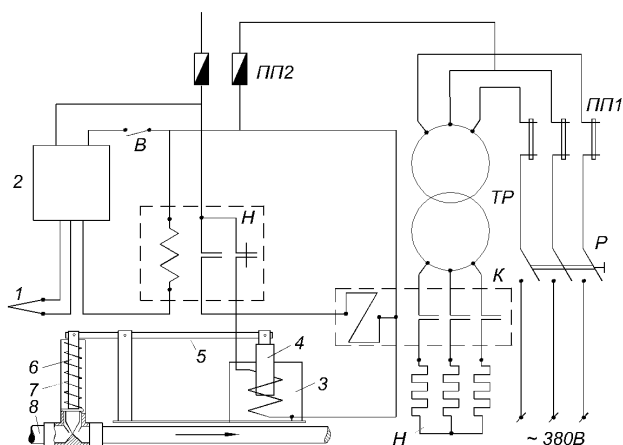


Рис. 3. Схема включения автомата регулирования температуры кокиля в цепь электронагревателя: 1 – терморезистор; 2 – пирометрический прибор; 3 – соленоид; 4 – сердечник соленоида; 5 – рычаг; 6 – шток; 7 – пружина; 8 – трубка подачи воздуха; ПП1 и ПП2 – плавкие предохранители; Р – рубильник; Тр – трансформатор; К – катушка контактора; Н – электронагреватель [27]

Кроме того, изучение рентгеновских пленок позволило установить закономерности распределения усадочных дефектов в отливках, после чего с целью предупреждения их возникновения были выполнены приведенные ниже мероприятия:

- на песчаных стержнях, которые оформляют внутреннюю полость отливки, устанавливали так называемые «холодильники» – металлические пластины, повторяющие конфигурацию поверхности стенки, назначение которых заключается в усилении теплоотвода от кристаллизующегося металла;

- для покраски рабочих поверхностей кокиля применили хорошо себя зарекомендовавшую при литье из алюминиево-кремниевых сплавов деталей двигателей летательных аппаратов огнеупорную краску (оксид цинка ZnO – 5,76 %; диоксид титана TiO_2 – 3,85 %; черный графит – 1,92 %; жидкое стекло Na_2SiO_3 – 11,54 %; вода – 76,9 %) [26] и способ ее нанесения с увеличением слоя от нижней к верхней части кокиля, что обеспечивало уменьшение теплоотвода и теплопередачи в направлении от нижней его части к верхней;

- с помощью принудительного охлаждения нижней части кокиля сжатым воздухом (схема устройства и принцип работы поясняется на рис. 3. [27]) и нагрева

верхней части электронагревателями был создан температурный режим кокиля – от более низкой температуры в его нижней части к более высокой – в верхней.

Заключение. В результате выполнения ряда мероприятий, которые заключаются в замене песчано-глинистой формы на металлическую, установке на песчаный стержень «холодильников», окраске рабочей поверхности формы специальной огнеупорной краской и в применении охлаждения формы сжатым воздухом, было создано направленное затвердевание металла в форме при литье корпусов ТНА из алюминиево-кремниевого сплава, что привело к повышению качества и уменьшению количества забракованных деталей.

Библиографические ссылки

1. Турбонасосные агрегаты ЖРД конструкции НПО «Энергомаш» / В. К. Иванов [и др.] // Конверсия в машиностроении. 2006. № 1. С. 15–21.
2. Технология производства жидкостных ракетных двигателей / В. А. Моисеев [и др.]. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 381 с.
3. Прочность и ресурс ЖРД / Н. А. Махутов [и др.]. М. : Наука, 2011. 525 с.
4. Karimi H., Nassirharand A., Mohseni M. Modeling and simulation of a class of liquid propellant engine pressurization systems // Acta Astronautica. 2010. Vol. 66, iss. 3–4. P. 539–549.
5. Крушенко Г. Г., Резанова М. В. Повышение качества рабочих колес и уменьшение припусков на обработку резанием вала ТНА ЖРД // Вестник БГТУ. 2014. № 21. С. 119–121.
6. Ammar H. R., Samuel A. M., Samuel F. H. Porosity and the fatigue behavior of hypoeutectic and hypereutectic aluminum-silicon casting alloys // International Journal of Fatigue. 2008. Vol. 30, iss. 6. P. 1024–1035.
7. Чернега Д. Ф., Бялик О. М. Водород в литейных алюминиевых сплавах. Киев : Тэхніка, 1972. 148 с.
8. On-line prediction of the melt hydrogen and casting porosity level in 319 aluminum alloy using thermal analysis / A. Mitrasinovic [et al.] // Materials Science and Engineering: A. 2006. Vol. 428, iss. 1–2. P. 41–46.
9. Porosity reduction and mechanical properties in die engine blocks / M. A. Irfan [et al.] // Materials Science and Engineering: A. 2012. Vol. 535. P. 108–114.
10. Влияние положения в форме литых испытательных образцов на механические свойства алюминиевых сплавов / З. А. Василенко [и др.] // Проблемы прочности. 1992. № 1. С. 80–82.
11. Крушенко Г. Г., Кузнецов А. Н., Гуревич В. А. Оценка рафинирующей способности флюсов // Цветная металлургия. 1973. № 6. С. 41–43.
12. Influences of different degassing processes on refining effect and properties of 4004 Al alloy / Wang Liping [et al.] // CHINA FOUNDRY Research & Development. 2013. Vol. 10, № 2. P. 104–107.
13. Макаров Г. С. Рафинирование алюминиевых сплавов газами. М. : Металлургия, 1983. 120 с.

14. Вакуумирование алюминиевых сплавов / М. Б. Альтман [и др.]. М. : Metallurgiya, 1977. 240 с.
15. Воздействие постоянного электрического тока на эффект модифицирования и свойства сплава АЛ2 / Г. Г. Крушенко [и др.] // Литейное производство. 1974. № 12. С. 17–18.
16. Крушенко Г. Г., Иванов А. А. Виброимпульсная дегазация алюминиевых сплавов на примере сплава АЛ2 // Известия вузов. Цветная металлургия. 1992. № 1–2. С. 146–148.
17. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. Л. : Машиностроение. 1976. 216 с.
18. Simulation of unconstrained solidification of A356 aluminum alloy on distribution of micro/macro shrinkage / H. Bayani [et al.] // Journal of Materials Research and Technology. 2014. Vol. 3, iss. 1. P. 55–70.
19. Knipp E. Fehlererscheinungen an Gusstücken. Dusseldorf : Giesserei. Verlag GmbH, 1961. 273 s.
20. Русаков А. А. Рентгенография металлов. М. : Атомиздат, 1977. 480 с.
21. Крушенко Г. Г., Кашубский А. Н. Применение рентгенографии для выявления и заварки дефектов в отливках ответственного назначения из алюминиево-кремниевых сплавов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2010. № 8. С. 47–49.
22. Пат. 2109611 Российская Федерация. Способ заварки дефектов в отливках из алюминиевых сплавов / Шевелкин В. И., Шуляковский О. Б., Булатов В. П. 2002. Бюл. № 31.
23. Effect of melt cleanliness on the formation of porosity defects in automotive aluminium high pressure die castings / C. Tian [et al.] // Journal of Materials Processing Technology. 2002. Vol. 122, iss. 1. P. 82–93.
24. Литье в кокиль / С. Л. Бураков [и др.]. М. : Машиностроение. 1980. 415 с.
25. Вейник А. И. Кокиль. Минск : Наука и техника. 1980. 352 с.
26. А. с. № 126237 СССР. Защитная краска для кокиля / С. С. Писаревский, Б. Я. Соснин, Г. Г. Крушенко и др. 1960. Бюл. № 4.
27. Крушенко Г. Г. Автоматическое регулирование охлаждения литейной металлической формы // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2008. № 4. С. 105–106.
- surization systems. *Acta Astronautica*. February-March 2010. Vol. 66, Is. 3–4, P. 539–549.
5. Krushenko G. G., Rezanova M. V. [Improving the quality of impellers and the reduction of allowances on the cutting shaft TNA LRE]. *Vestnik BGUTU*, 2014, no. 21, P. 119–121 (In Russ.).
6. Ammar H. R., Samuel A. M., Samuel F. H. Porosity and the fatigue behavior of hypoeutectic and hypereutectic aluminum-silicon casting alloys. *International Journal of Fatigue*. June 2008, Vol. 30, Is. 6, P. 1024–1035.
7. Chernega D. F., Bjalik O. M. *Vodorod v litejnyh aljuminievyh splavah*. [Hydrogen in casting aluminum alloys]. Kiev, Tekhnika Publ., 1972, 148 p.
8. Mitrasinovic A., Hernández F. C. R., Djurdjevic M. et al. On-line prediction of the melt hydrogen and casting porosity level in 319 aluminum alloy using thermal analysis. *Materials Science and Engineering: A*. 25 July 2006, Vol. 428, Is. 1–2, P. 41–46.
9. Irfan M. A., Schwam D., Karve A. et al. Porosity reduction and mechanical properties in die engine blocks. *Materials Science and Engineering A*. 15 February 2012, Vol. 535, P. 108–114.
10. Vasilenko Z. A., Krushenko G. G., Balashov B. A. et al. [The influence of the position in the form of cast test samples for mechanical properties of aluminium alloys]. *Problemy prochnosti*, 1992, no. 1, P. 80–82 (In Russ.).
11. Krushenko G. G., Kuznecov A. N., Gurevich V. A. [Evaluation of the refinement ability fluxes]. *Tsvetnaya metallurgiya*, 1973, no. 6, P. 41–43 (In Russ.).
12. Wang Liping et al. Influences of different degassing processes on refining effect and properties of 4004 Al alloy. *CHINA FOUNDRY Research & Development*. March 2013, Vol. 10, no. 2, P. 104–107.
13. Makarov G. S. *Rafinirovanie alyuminievykh splavov gazami* [Refining aluminum alloys gases]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 120 p.
14. Al'tman M. B., Glotov E. B., Zasypkin V. A. et al. *Vakuumirovanie alyuminievykh splavov* [The degassing of aluminum alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977, 240 p.
15. Krushenko G. G., Guljaev B. B., Dutov V. M. et al. [The influence of a constant electric current to the effect of the modification and properties of the alloy AL2]. *Liteynoe proizvodstvo*, 1974, no. 12, P. 17–18 (In Russ.).
16. Krushenko G. G., Ivanov A. A. [Vibration-impulse degassing of aluminum alloys for example alloy AL2]. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*, 1992, no. 1–2, P. 146–148 (In Russ.).
17. Guljaev B. B. *Teoriya liteynykh protsessov* [The theory of foundry processes]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1976, 216 p.
18. Bayani H., Mirbagheri S. M. H., Barzegari M. et al. Simulation of unconstrained solidification of A356 aluminum alloy on distribution of micro/macro shrinkage. *Journal of Materials Research and Technology*. January–March 2014, Vol. 3, Is. 1, P. 55–70.
19. Knipp E. Fehlererscheinungen an Gusstücken. – Dusseldorf: Giesserei. Verlag GmbH, 1961, 273 p.

References

1. Ivanov V. K., Kashkarov A. M., Romasenko E. N. i dr. [Turbopump units LRE design NPO Energomash]. *Konversija v mashinostroenii*, 2006, no. 1, P. 15–21 (In Russ.).
2. Moiseev V. A., Tarasov V. A., Kolmykov V. A. i dr. *Tehnologija proizvodstva zhidkostnyh raketnyh dvigatelej*. [Production technology of liquid rocket engines]. Moscow, Izd-vo MGTU im. N. Je. Bauman, 2008. 381 p.
3. Mahutov N. A., Rachuk V. S., Gadenin M. M. i dr. *Prochnost' i resurs ZhRD*. [Strength and resource LRE]. Moscow, Nauka Publ., 2011, 525 p.
4. Karimi H., Nassirharand A., Mohseni M. Modeling and simulation of a class of liquid propellant engine pres-

20. Rusakov A. A. *Rentgenografiya metallov* [Radiography of metals]. Moscow, Atomizdat Publ., 1977, 480 p.
21. Krushenko G. G., Kashubskiy A. N. [The use of radiography to detect and welding defects in the super-duty casting of aluminum-silicon alloys]. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*, 2010, no. 8, P. 47–49 (In Russ).
22. Shevelkin V. I., Shulyakovskiy O. B., Bulatov V. P. *Sposob zavarki defektov v otlivkah iz aluminievykh splavov* [Method of welding defects in the casting of aluminum alloys]. Patent RF, no. 2109611, 2002.
23. Tian C., Law J., Touw V. D. et al. Effect of melt cleanliness on the formation of porosity defects in automotive aluminium high pressure die castings. *Journal of Materials Processing Technology*. 2002, Vol. 122, Is. 1, P. 82–93.
24. Burakov S. L., Veynik A. I., Dubinin N. P. et al. *Lit'e v kokil'* [Gravity die casting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 415 p.
25. Veynik A. I. *Kokil'* [Chill mould]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1980, 352 p.
26. Pisarevskiy S. S., Sosnin B. Ya., Krushenko G. G. et al. *Zashchitnaya kraska dlya kokilya* [Protective paint to chill mould]. Patent RF, no. 12637, 1960.
27. Krushenko G. G. [Automatic control of cooling of the casting metal forms.]. *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii*, 2008, no. 4, P. 105–106 (In Russ).

© Крушенко Г. Г., 2014

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МДО-ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХД. В. Раводина¹, Т. В. Трушкина², А. Е. Михеев¹, А. В. Гирн¹, И. И. Хоменко¹¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31²ОАО «Красноярский машиностроительный завод»
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 29
E-mail: Dashaorlova12@yandex.ru

Одним из перспективных материалов, применяемых в различных областях техники, является титан и его сплавы. Это объясняется благоприятным сочетанием его физико-химических свойств и повышенной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях. Однако в ряде агрессивных сред, особенно в присутствии абразивного износа, титан и его сплавы подвержены коррозионному разрушению. Гальванический метод, применяемый в настоящее время для повышения коррозионной стойкости металлов, имеет ряд недостатков: низкая экологическая безопасность процесса, связанная с агрессивностью применяемых электролитов; необходимость проведения дополнительных операций промывки, обезжиривания, травления; строгое выдерживание температурного режима в процессе обработки. Получаемые покрытия гальваническим методом не удовлетворяют требованиям по коррозионной стойкости в агрессивных средах, особенно в присутствии абразивного износа.

Предложен способ повышения коррозионной стойкости титана и его сплавов в агрессивных средах, особенно в присутствии абразивного износа, с помощью нанесения на поверхность металла защитного слоя микродуговым оксидированием. Были проведены исследования морфологии, химического состава и толщины покрытий. Данные исследования показали, что в МДО-покрытии образуется не только фаза $\gamma\text{-TiO}_2$, но и фаза $\alpha\text{-TiO}_2$, которая вносит основной вклад в упрочнение слоя. Упрочнение металлов при микродуговом оксидировании происходит за счет образования на их поверхности покрытия, которое состоит из оксида титана и оксидов химических элементов, входящих в состав электролита. Проведенные ускоренные лабораторные испытания коррозионной стойкости покрытий показали, что МДО-покрытия имеют более высокую коррозионную стойкость по сравнению с покрытиями, нанесенными гальваническим анодированием. Наибольшую коррозионную стойкость имеют образцы, обработанные в силикатно-щелочном электролите. Определены технологические режимы для нанесения коррозионно-стойкого покрытия на титане и его сплавах.

Ключевые слова: титановые сплавы, коррозия, защитные покрытия, микродуговое оксидирование.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 180–186**CORROSION RESISTANCE MAO COATINGS ON TITANIUM ALLOY**D. V. Ravodina¹, T. V. Trushkina², A. E. Miheev¹, A. V. Girn¹, I. I. Khomenko¹¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation²OAO "Krasnoyarsk Machine Building Plant"
29, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: Dashaorlova12@yandex.ru

One of the promising materials used in various fields of technology, is titanium and its alloys. This is due to its favorable combination of physical and chemical properties and improved corrosion resistance to the atmospheric conditions. However, in certain corrosive media, especially in the presence of abrasion, titanium and its alloys is the subject to corrosive degradation. The electroplating method used currently to improve the corrosion resistance of metals, has several disadvantages: low ecological safety of the process associated with aggressive electrolytes used, the need for additional operations washing, degreasing, etching, strict observance of the temperature regime during processing. The resulting coatings electroplated not meet the requirements for corrosion resistance in corrosive environments, especially in the presence of abrasive wear.

The paper proposes a method for improving the corrosion resistance of titanium and its alloys in corrosive environments, especially in the presence of abrasion, the metal coating on the surface of the protective layer microarc oxidation. The studies of morphology, chemical composition and thickness of the coatings were conducted. These studies

have shown that in the MAO coating not only the phase γ -TiO₂ is formed, but also the phase α -TiO₂, which is a major contributor to the hardened layer. Hardening of microarc oxidation during metals due to the formation on the surface coating which consists of titanium oxide and oxides of chemical elements contained in the electrolyte composition. Accelerated Laboratory Test corrosion resistance coatings showed that the coatings have MAO higher corrosion resistance as compared to coatings deposited by galvanic anodizing. Samples treated in silicate-alkaline electrolyte have the highest corrosion resistance. Process conditions for applying a corrosion resistant coating on titanium and its alloys are defined.

Keywords: titanium alloys, corrosion, protective coating, microarc oxidation.

Введение. Одним из перспективных материалов, применяемых в различных областях техники, является титан и его сплавы. Это объясняется благоприятным сочетанием его физико-химических свойств и повышенной коррозионной стойкостью в атмосферных условиях. Однако в ряде агрессивных сред, особенно в присутствии абразивного износа, титан и его сплавы подвержены коррозионному разрушению.

Коррозионная стойкость титана обуславливается наличием на его поверхности естественной оксидной пленки. Однако она имеет небольшую толщину и быстро разрушается под действием абразивного износа [1–4].

В настоящее время распространенным методом повышения коррозионной стойкости металлов является гальваническое анодирование. К недостаткам гальванического метода можно отнести низкую экологическую безопасность процесса, связанную с агрессивностью применяемых электролитов, необходимость проведения дополнительных операций промывки, обезжиривания, травления, строгое выдерживание температурного режима в процессе обработки. Получаемые гальваническим методом покрытия на титане не удовлетворяют требованиям по коррозионной стойкости в агрессивных средах, особенно в присутствии абразивного износа.

Перспективным способом повышения коррозионной стойкости титановых сплавов является метод микродугового оксидирования (МДО), который позволяет получать многофункциональные, керамико-подобные покрытия толщиной более 100 мкм [3–7].

В процессе формирования МДО-покрытия большую роль играют плазмохимические и термические процессы, в результате которых на поверхности образуются сложные химические соединения. МДО-покрытия формируются за счет возникновения микродуговых разрядов в электролите при повышенных значениях напряжения и плотности тока, что способствует образованию в покрытии не только фазы γ -TiO₂, но и фазы α -TiO₂, которая вносит основной вклад в упрочнение слоя. Кроме оксидов титана в покрытии образуются оксиды химических элементов, входящих в состав электролита [8–23].

По данной тематике содержится недостаточное количество информации, позволяющей полностью раскрыть механизм влияния технологических режимов процесса МДО на коррозионную стойкость титановых сплавов. Поэтому исследования в данном направлении являются актуальными.

Экспериментальная часть. Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены

образцы из титанового сплава ВТ1-0 толщиной 2 мм, размером 55×15 мм.

Формирование покрытий проводили в трех электролитах (№ 1 – 30 г/л КОН + 50 г/л Na₂SiO₃; № 2 – 60 г/л Na₂HPO₄; № 3 – 15 г/л Na₃PO₄) на следующих режимах МДО: плотность тока 30...75 А/дм²; продолжительность оксидирования 10 мин; соотношение катодной и анодной составляющей силы тока I_k/I_a от 0,6 до 1,2; напряжение составило 340–480 В; температура электролита 15...40 °С.

На образцах были проведены исследования морфологии, химического состава, толщины (табл. 1) и коррозионной стойкости покрытия.

Таблица 1

Толщина покрытия

Состав электролита	Толщина покрытия
30 г/л КОН + 50 г/л Na ₂ SiO ₃	12 мкм
60 г/л Na ₂ HPO ₄	50 мкм
15 г/л Na ₃ PO ₄	30 мкм

При повышении плотности тока толщина покрытия увеличивается. Но при превышении его более 45 А/дм² рост толщины покрытия прекращается, и при дальнейшем его увеличении покрытие начинает разрушаться. Создание покрытия проходит в два этапа: 1 этап – создание керамического слоя; 2 этап – химическое растворение (травление слоя). На начальном этапе процесса МДО происходит быстрый рост покрытия за счет окисления основного металла в результате действия микроразрядов. С увеличением толщины слоя требуется больше энергии для прохождения и образования микроразрядов, поэтому активность процесса МДО снижается, что приводит к замедлению роста керамического слоя.

Дальнейшие исследования были проведены на образцах, обработанных в трех электролитах (№ 1 – 30 г/л КОН + 50 г/л Na₂SiO₃; № 2 – 60 г/л Na₂HPO₄; № 3 – 15 г/л Na₃PO₄) при следующих режимах МДО: плотность тока 40 А/дм²; продолжительность оксидирования 10 мин; соотношение катодной и анодной составляющей силы тока I_k/I_a 1,2; напряжение 340–480 В; температура электролита 15...40 °С.

Анализ химического состава и морфологии МДО-покрытий проводили с использованием рентгеновского энергодисперсионного спектрометра ARL QUANT'X Thermo Fisher Scientific. На рис. 1 представлены микрофотографии морфологии поверхности полученных МДО-покрытий.

На рис. 2–4 представлены результаты анализа химического состава полученных покрытий.

Исследования показали, что характер поверхности, рельеф, пористость (точечная, поры-кратеры) зависит от применяемого электролита. По результатам стехиометрического анализа следует, что в покрытие преимущественно образуется оксид титана TiO_2 , а также оксиды элементов, входящих в состав электролита, небольшое содержание оксида фосфора либо оксида кремния, который сконцентрирован больше всего на внутреннем склоне кратера. Это можно объяснить тем, что при ослаблении разряда температура расплавленного оксида титана уменьшается, а скорость охлаждения увеличивается. Следовательно, вблизи кратера наблюдается повышенное содержание оксида титана, при удалении от кратера содержание оксида титана снижается, в то время как содержание оксида кремния и фосфора увеличивается.

Коррозионную стойкость оценивали проведением ускоренных лабораторных испытаний. Сущность метода заключается в выдержке образцов с нанесенны-

ми покрытиями в сосуде с «царской водкой» состава 35 % HNO_3 + 65 % HCl . Сосуд был помещен в печь для поддержания температуры 85 °С на 1 сутки. После выдержки образцы были вынуты из сосуда, промыты, с них были удалены остатки коррозии. После удаления продуктов коррозии образцы были высушены.

Для определения скорости коррозии образцы были взвешены до и после выдержки в агрессивной среде и определена потеря массы образцов: $\Delta m = m_0 - m_k$, где m_0 – масса образца до коррозионных испытаний; m_k – масса образца после коррозионных испытаний. Также был проведен внешний осмотр образцов с целью выявления характера и определения площади коррозионного разрушения. После этого были определены коррозионные потери: $K = \Delta m/S$, где S – площадь поверхности, подверженная коррозии. Результаты весового метода определения коррозионной стойкости покрытий представлены в табл. 2.

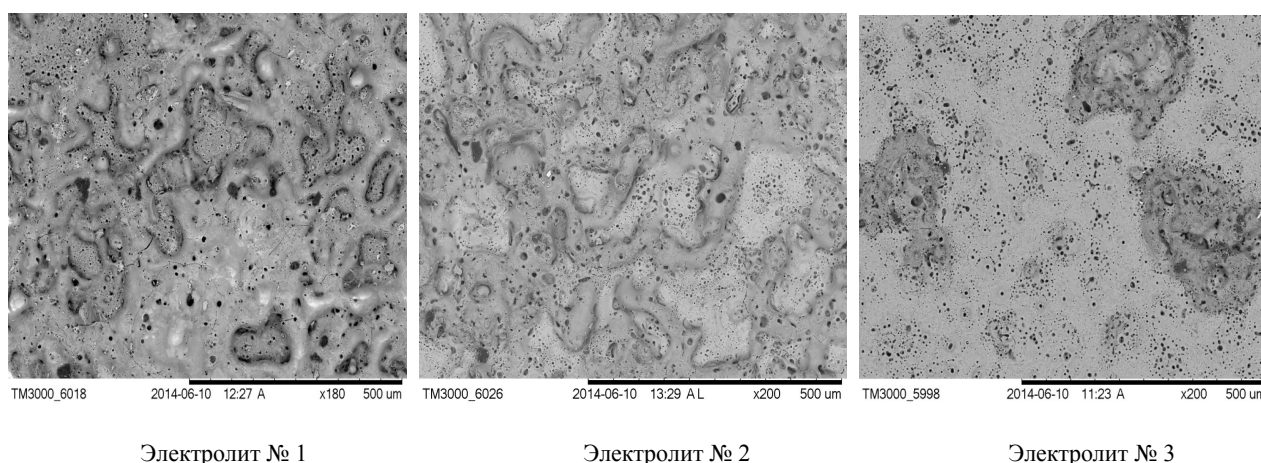


Рис. 1. Микрофотографии морфологии поверхности полученных покрытий

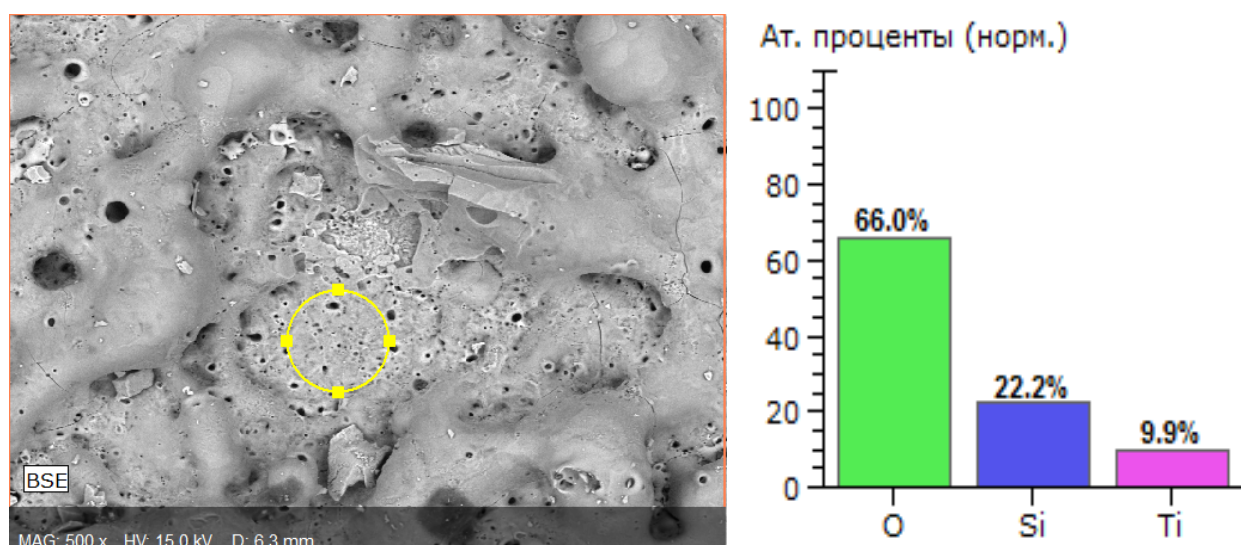
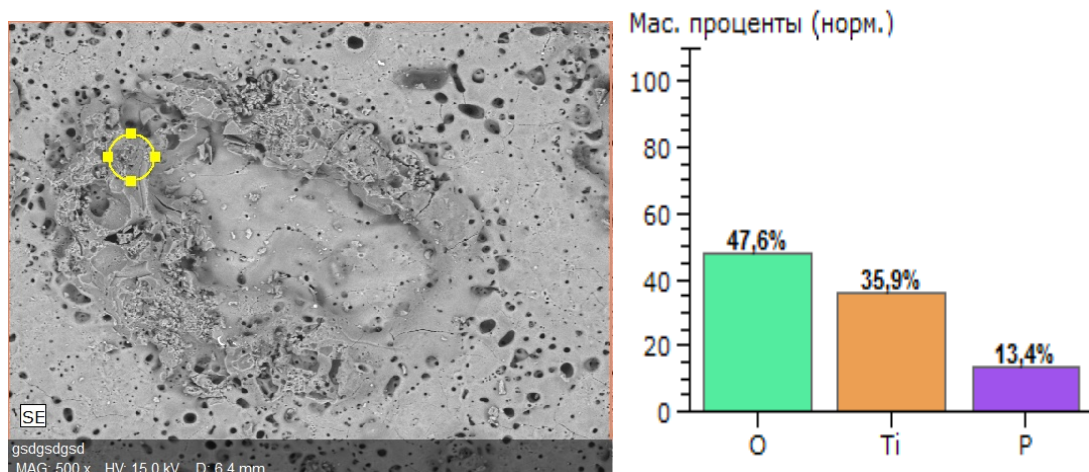
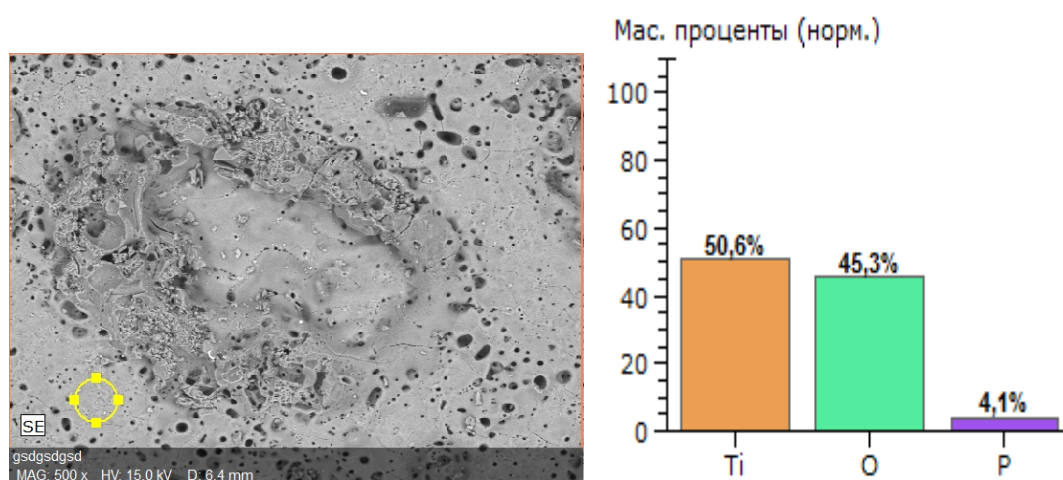


Рис. 2. Химический состав покрытия на образце BT1-0 в электролите № 1

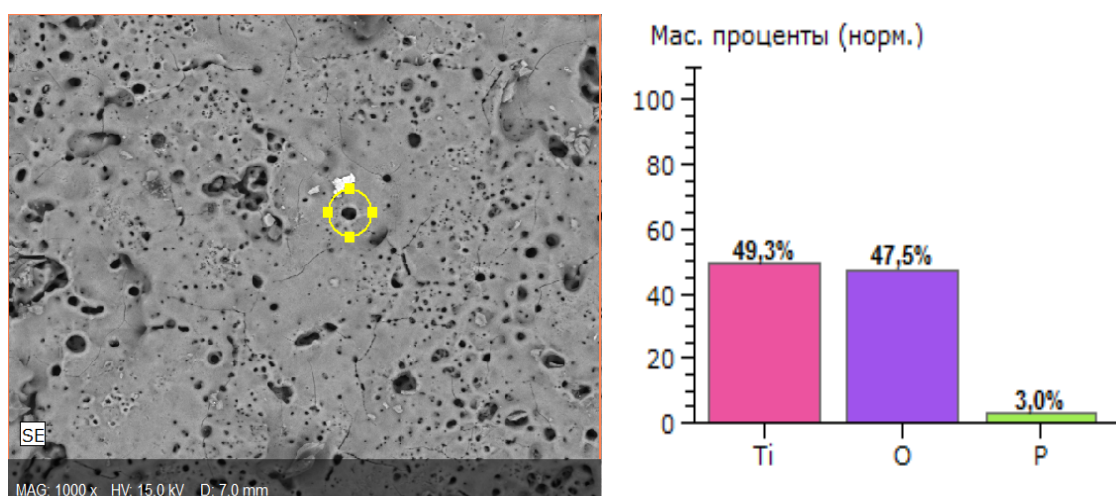


a



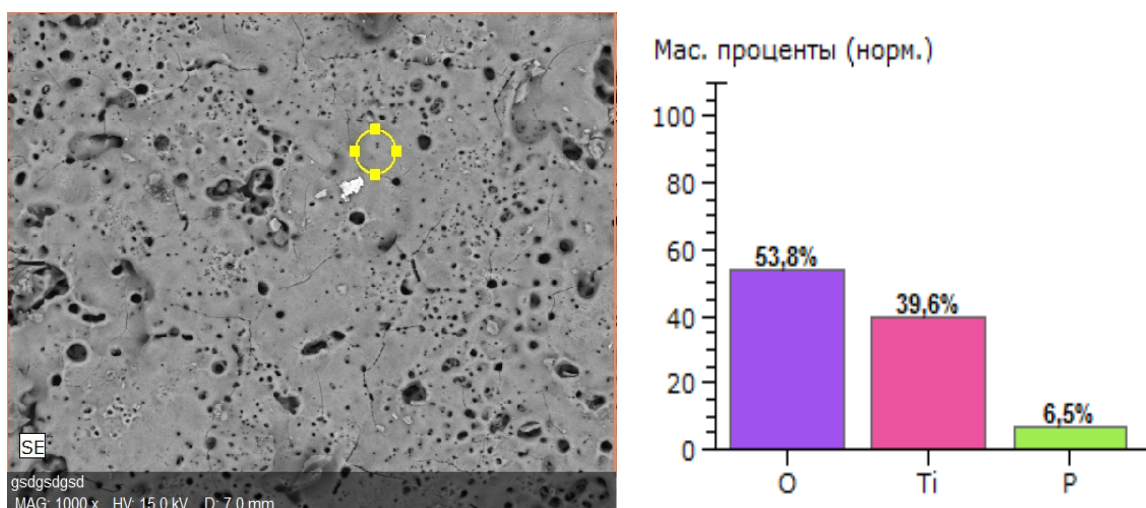
б

Рис. 3. Химический состав покрытия на образце ВТ1-0 в электролите № 2:
a – на кратере; *б* – вдали от кратера



a

Рис. 4. Химический состав покрытия на образце ВТ1-0 в электролите № 3:
a – в поре; *б* – вдали от поры (начало)



б

Рис. 4. (окончание)

Таблица 2

Коэффициенты коррозионной стойкости покрытий

№ обр.	Электролит	Сплав	m_0 , г	m_k , г	Δm , г	Δm , %	$K \cdot 10^{-5}$, г/см ² ·сутки
1	KOH+Na ₂ SiO ₃	BT1-0	6,22	6,196	0,024	0,38	1,45
2	Na ₂ HPO ₄	BT1-0	5,949	5,866	0,083	1,39	5,03
3	Na ₃ PO ₄	BT1-0	5,792	5,754	0,038	0,65	2,3

Весовой метод и визуальный осмотр выявили, что высокой коррозионной стойкостью обладает покрытие на образце № 1, а образцы, обработанные в электролитах № 2 и № 3, подверглись сильному коррозионному разрушению. Таким образом, образцы, обработанные в силикатно-щелочном электролите, обладают высокой коррозионной стойкостью в агрессивной среде.

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что для получения коррозионно-стойких покрытий процесс МДО целесообразнее вести в силикатно-щелочном электролите состава KOH + Na₂SiO₃ при плотности тока 40 А/дм², соотношении $I_k/I_a = 1,2$ и времени обработки 10 мин. На образцах, обработанных в данном режиме, наблюдается фаза α -TiO₂, которая вносит основной вклад в упрочнение слоя и повышает износостойкость покрытия.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Российской Федерации, государственный контракт № 2.G2531.0043.

Acknowledgment. This work was financially supported by the Ministry of Education of the Russian Federation, the state contract № 2.G2531.0043.

Библиографические ссылки

1. Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Пассивность и защита металлов от коррозии. М.: Наука, 1965. 208 с.
2. Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Химия, 1975. 816 с.

3. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов [и др.]. М.: ЭКОМЕТ, 2005. 368 с.: ил.

4. Гордиенко П. С., Гнеденков С. В. Микродуговое оксидирование титана и его сплавов. Владивосток: Дальнаука, 1997. 185 с.

5. Технологические возможности микродугового оксидирования алюминиевых сплавов / Н. А. Терехин [и др.] // Вестник машиностроения. 2003. № 2. С. 56–63.

6. Влияние технологических параметров микродугового оксидирования на коррозионную стойкость покрытий / А. В. Гирн [и др.] // Миасс. Механика и процессы управления: материалы XXXXI Всерос. симпозиума. Т. 3. М.: РАН, 2011. С. 168–173.

7. Трушкина Т. В., Гирн А. В. Коррозионная стойкость МДО-покрытий в агрессивных средах // Вестник СибГАУ. 2014. Вып. 1(53). С. 179–184.

8. Голенкова А. А., Ивасев С. С., Овсянников М. А. Анализ эффективности технологии для формирования износостойких покрытий на алюминиевых сплавах микродуговым способом // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 1 (14). С. 108–111.

9. Влияние технологических параметров на элементный состав МДО-покрытий на алюминиевых и титановых сплавах / А. В. Гирн [и др.] // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 4 (44). С. 168–171.

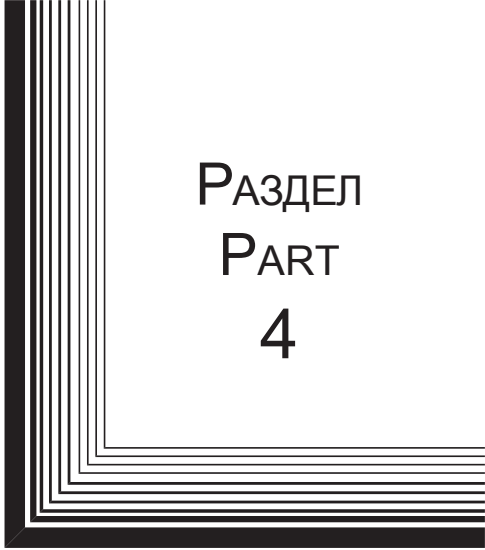
10. Кузнецов Ю. А., Кулаков К. В., Гончаренко В. В. Особенности выбора электролита для получения толстослойных керамических покрытий. URL: http://science-bsea.narod.ru/2011/mashin_2011_14/kuznecov_textno.htm.

References

11. Николаев А. В., Марков Г. А., Пищевичный Б. Н. Новое явление в электролизе // Изв. СО АН СССР. Сер. Хим. науки. 1977. Вып. 5. С. 32–33.
12. Пат. 1783004 Российская Федерация, МКИ⁵ С 25 D 11/02. Способ микродугового оксидирования вентильных металлов и их сплавов / Руднев В. С., Гордиенко П. С., Курносова А. Г., Орлова Т. И. Заявл. 17.10.89; опубл. 23.12.92, Бюл. № 47.
13. Пат. 2096534 Российская Федерация, МПК⁶ С 25 D 11/02, С 25 D 11/14. Способ получения оптически черных защитных покрытий на вентильных металлах / Яровая Т. П., Гордиенко П. С., Руднев В. С., Недозоров П. М. № 96114575/02; заявл. 18.07.1996; опубл. 15.03.1998.
14. Пат. 2061107 Российская Федерация, МПК⁶ С 25 D 11/06. Способ микродугового получения защитных пленок на поверхности металлов и их сплавов / Руднев В. С., Гордиенко П. С., Курносова А. Г., Орлова Т. И. № 5004969/02; заявл. 17.07.91; опубл. 27.05.96.
15. Пат. 2046156 Российская Федерация, МПК⁶ С 25 D 11/04. Электролит для формирования покрытий на вентильных металлах / Гордиенко П. С., Гнеденко С. В., Хрисанфова О. А., Вострикова Н. Г., Ковряков А. Н. № 5043332/26; заявл. 21.05.92; опубл. 20.10.95.
16. Пат. 1156409 Российская Федерация, МПК⁶ С 25 D 11/26. Электролит для анодирования титана и его сплавов / Гордиенко П. С., Хрисанфова О. А., Нуждаев В. А., Звачайный В. П. № 3653463/02; заявл. 01.08.83; опубл. 10.06.96.
17. Бутягин П. И., Хохлаков Е. В., Мамаев А. И. Влияние состава электролита на износостойкость МДО-покрытий // Технология металлов. 2005. № 1. С. 36–40.
18. Жуков С. В. Исследование процессов и разработка технологии формирования многофункциональных покрытий МДО на титановых сплавах в приборостроении: автореф. дис. ... к-та техн. наук. М.: МАТИ: Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского, 2009.
19. Нечаев Г. Г. Микродуговое оксидирование титановых сплавов в щелочных электролитах // Конденсированные среды и межфазные границы. 2012. Т. 14, № 4. С. 453–455.
20. Мамаев А. И., Мамаева В. А. Сильноточковые микроплазменные процессы в растворах электролитов Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 255 с.
21. Формирование покрытий на вентильных металлах и сплавах в электролитах с емкостным регулированием энергии при микродуговом оксидировании / П. С. Гордиенко [и др.] // Защита металлов. 2006. Т. 42, № 5.
22. Формирование наноструктурных неметаллических неорганических покрытий путем локализации высокоэнергетических потоков на границе раздела фаз / А. И. Мамаев [и др.]. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2010. 360 с.
23. Гордиенко П. С. Образование покрытий на аноднополяризованных электродах в водных электролитах при потенциалах искрения и пробоя Владивосток: Дальнаука, 1996. 216 с.
1. Tomashov N. D. *Passivnost' i zashchita metallov ot korrozii* [Passivity and protection of metals against corrosion]. Moscow, Nauka Publ., 1965, 208 p.
2. Vorob'eva G. Ya. *Korrozionnaya stoykost' materialov v agressivnykh sredakh khimicheskikh proizvodstv* [Material corrosion resistance in aggressive environments of chemical plants]. Moscow, Khimiya Publ., 1975, 816 p.
3. Suminov I. V. et al. *Mikrodugovoe oksidirovanie (teoriya, tekhnologiya, oborudovanie)* [Microarc oxidation (theory, technology, equipment)]. Moscow, EKOMET Publ., 2005, 368 p.
4. Gordienko P. S., Gnedenkov S. V. *Mikrodugovoe oksidirovanie titana i ego spлавov* [Microarc oxidation of titanium and its alloys]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 1997, 185 p.
5. Terekhin N. A., Statsura V. V., Golenkova A. A., Ivasev S. S., Girn A. V. [Technological capabilities of micro-arc oxidation of aluminum alloys]. *Vestnik mashinostroeniya*. 2003, no. 2, p. 56–63 (In Russ.).
6. Girn A. V., Vakhteev E. V., Trushkina T. V., Orlova D. V. [The influence of technological parameters of micro-arc oxidation on the corrosion resistance of coatings]. *Miass. Mekhanika i protsessy upravleniya. Materialy XXXI Vserossiyskogo simpoziuma* [Miass. Mechanics and management processes: materials XXXI Proc. symposium]. Moscow, RAN Publ., 2011, vol. 3, p. 168–173 (In Russ.).
7. Trushkina T. V., Girn A. V. [The corrosion resistance of MAO coatings in aggressive environments]. *Vestnik SibGAU*, 2014, vol 1(53), p. 179–184 (In Russ.).
8. Golenkova A. A., Ivasev S. S., Ovsyannikov M. A. [Analysis of the effectiveness of technology for the formation of wear-resistant coatings on aluminum alloys microarc way]. *Vestnik SibGAU*, 2007, vol. 1 (14), p. 108–111. (In Russ.).
9. Girn A. V., Orlova D. V., Vakhteev E. V., Trushkina T. V. [Influence of process parameters on the elemental composition of MAO coatings on aluminum and titanium alloys] *Vestnik SibGAU*, 2012, vol. 4 (44), p. 168–171 (In Russ.).
10. Kuznetsov Yu. A., Kulakov K. V., Goncharenko V. V. *Osobennosti vybora elektrolita dlya polucheniya tolstosloynnykh keramicheskikh pokrytiy* [Features choice of electrolyte to produce thick ceramic coatings] (In Russ.). Available at: http://science-bsea.narod.ru/2011/mashin_2011_14/kuznecov_texno.htm.
11. Nikolaev A. V., Markov G. A., Pishchevichnyy B. N. [A new phenomenon in the electrolysis]. *Izv. SO AN SSSR. Ser. Khim. Nauk*, 1977, vol. 5, p. 32–33 (In Russ.).
12. Rudnev V. S. et al. *Sposob mikrodugovogo oksidirovaniya ventil'nykh metallov i ikh spлавov* [A method of micro-arc oxidation of valve metals and their alloys]. Patent RF, no 1783004, 1992.
13. Yarovaya T. P., Gordienko P. S., Rudnev V. S., Nedozorov P. M. *Sposob polucheniya opticheski chernykh zashchitnykh pokrytiy na ventil'nykh metallakh* [A method for producing an optically black coatings on valve metals]. Patent RF, no 2096534, 1998.

14. Rudnev V. S., Gordienko P. S., Kurnosova A. G., Orlova T. I. *Sposob mikrodogovogo polucheniya zashchitnykh plenok na poverkhnosti metallov i ikh splavov* [A method of micro-production of protective films on the surface of metals and their alloys]. Patent RF, no. 2061107, 1996.
15. Gordienko P. S., Gnedenko S. V., Khrisanfova O. A., Vostrikova N. G., Kovryakov A. N. *Elektrolit dlya formirovaniya pokrytiy na ventil'nykh metallakh* [The electrolyte for forming coatings on valve metals]. Patent RF, no. 2046156, 1995.
16. Gordienko P. S., Khrisanfova O. A., Nuzhdaev V. A., Zvachaynyy V. P. *Elektrolit dlya anodirovaniya titana i ego splavov* [Electrolyte for anodizing titanium and its alloys]. Patent RF, no. 1156409, 1996.
17. Butyagin P. I., Khokhryakov E. V., Mamaev A. I. [The influence of electrolyte composition on the wear resistance of MAO-coatings]. *Tekhnologiya metallov*, 2005, no. 1, p. 36–40.
18. Zhukov S. V. *Issledovanie protsessov i razrabotka tekhnologii formirovaniya mnogo-funktsional'nykh pokrytiy MDO na titanovykh splavakh v priborostroenii*. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Investigation of the processes of formation and development of the technology of multifunctional coatings on titanium alloys MDO in instrument. Author. dis. Cand. tehn. Sciences]. Moscow, MATI Rossiyskiy gosudarstvennyy tekhn. universitet im. K. E. Tsiolkovskogo Publ., 2009.
19. Nechaev G. G. [Microarc oxidation of titanium alloys in alkaline electrolytes]. *Kondensirovannyye sredy i mezhfaznye granitsy*. 2012, vol. 14, no. 4, p. 453–455. (In Russ.).
20. Mamaev A. I., Mamaeva V. A. *Sil'notokovyye mikroplazmennyye protsessy v rastvorakh elektrolitov* [High current microplasma processes in electrolyte solutions]. Novosibirsk, Izdatel'stvo SO RAN Publ., 2005, 255 p.
21. Gordienko P. S., Vasilenko V. S. [Formation of coatings on valve metals and alloys in electrolytes with a capacitive energy regulation at microarc oxidation]. *Zashchita metallov*, 2006, vol. 42, no. 5 (In Russ.).
22. Mamaev A. I., Mamaeva V. A., Borikov V. N., Dorofeeva T. I. *Formirovanie nanostrukturnykh nemetallicheskiykh neorganicheskikh pokrytiy putem lokalizatsii vysokoenergeticheskikh potokov na granitse razdela faz* [Formation of nanostructured inorganic non-metallic coatings by the localization of high-energy fluxes at the interface]. Tomsk, Izd-vo Tom. un-ta Publ., 2010, 360 p.
23. Gordienko P. S. *Obrazovanie pokrytiy na anodno-polyarizovannykh elektrodakh v vodnykh elektrolitakh pri potentsialakh iskreniya i proboya* [Forming a coating on the anode-polarized electrodes in aqueous electrolytes at potentials sparking and breakdown]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 1996, 216 p.

© Раводина Д. В., Трушкина Т. В., Михеев А. Е.,
Гирн А. В., Хоменко И. И., 2014



РАЗДЕЛ
PART
4



ЭКОНОМИКА
ECONOMICS



**ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ:
ОСОБЕННОСТИ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ В СИБИРСКИХ РЕГИОНАХ
СЫРЬЕВОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ**

Л. Р. Батукова¹, Т. В. Зеленская², А. В. Медведев²

¹Сибирский федеральный университет, Институт бизнес-процессов и экономики
Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26а
E-mail: кафедра-em@yandex.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

В последние десятилетия ключевым фактором развития мировой экономики стало повышение экономической роли инноваций, определившее структурные сдвиги и качественные изменения производительных сил. Переход на инновационную модель рассматривается как определяющее направление развития экономики страны, ее регионов. Наиболее сложно данная задача решается в регионах, учитывая их разную ресурсную и интеллектуальную базу. Проблемой, препятствующей реализации намеченных проектов и программ, является отсутствие достаточных ресурсов для одновременного перевода на инновационное развитие всех отраслей экономики. Это ставит задачу выбора приоритетных направлений развития, выделения базовых отраслей, имеющих перспективы достижения лучших мировых практик. В связи с этим обосновывается необходимость развития теоретических и практических положений перевода экономики региона сырьевой направленности на инновационный путь развития.

Исследование теоретических положений модернизации экономики позволило определить условия успешных модернизационных реформ, обосновать принципиальное различие в сущности понятий «модернизация» и «инновационное развитие». Анализ теоретических положений модернизации позволил выделить основные ее виды, рассмотреть место понятия «модернизация экономики» среди других видов модернизации. Исследование двух важнейших видов модернизации экономики – догоняющей и инновационной, позволило предложить для целей совершенствования управления на уровне региона распределение отраслей производства по видам модернизации. Это закладывает основы для определения и уточнения приоритетов инновационного развития предприятий, их образующих.

Показаны особенности инновационной модернизации экономики регионов Сибири, имеющих сырьевую направленность, которые состоят в необходимости сочетания инновационного развития высокотехнологичных отраслей и производственных комплексов, ресурсно-инновационного развития сырьевых отраслей и комплексов, а также отраслей их сервисного обслуживания (машиностроение, энергетика и др.); наращивания доли добавленной стоимости в сырьевых и перерабатывающих отраслях за счет перехода к высоким технологиям; увеличения объемов добычи и извлекаемости ресурсов; налаживания взаимодействия между сырьевыми и высокотехнологичными производствами региона.

Ключевые слова: модернизация, инновационное развитие, модернизация экономики, догоняющая модернизация, инновационная модернизация.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 188–195

**ECONOMY INNOVATIVE MODERNIZATION: FEATURES OF ITS REALIZATION
IN THE RAW ORIENTATION SIBERIAN REGIONS**

L. R. Batukova¹, T. V. Zelenskaya², A. V. Medvedev²

¹Siberian Federal University, Institute of Business Processes and Economy
26a, Kirenskiy str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation
E-mail: кафедра-em@yandex.ru

²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

In the last decades the increase of an economic role of innovations which defined structural shifts and high-quality changes of productive forces became a key factor of development of the world economy. Transition to innovative model is considered as the defining direction of development of national economy, its regions. It is very difficult to solve

this problem in regions, considering their different resources and intellectual base. The problem interfering implementation of the planned projects and programs is lack of sufficient resources for simultaneous transfer to innovative development of all branches of economy. It sets a task of a choice of the priority directions of the development, allocation of the key branches having prospects of the achievement of the best world practices. In this regard the necessity of the development of theoretical and practical provisions of the translation of the economy of the region of a raw orientation on the innovative way of development locates in article. The research of theoretical provisions of modernization of economy allowed to define conditions of successful modernization reforms, to prove basic distinction in effect of the concepts "modernization" and "innovative development". The analysis of theoretical provisions of modernization allowed to allocate its main types, to consider a place of the concept "modernization of economy" among other types of modernization. The research of two major types of modernization of the economy which is catching up and innovative, allowed to offer for improvement of management at the level of the region distribution of branches of production by types of modernization. It lays the foundation for definition and specification of priorities of innovative development of the enterprises them forming. The features of innovative modernization of economy of the regions of Siberia having a raw focus which consist in need are shown in article: combinations of innovative development of high-tech industries and industrial complexes, resource and innovative development of raw branches and complexes, and also branches of their service (mechanical engineering, power, etc.); value added share accretion in raw and processing industries due to transition to high technologies; increases in volumes of production and recoverability of resources; adjustments of interaction between raw and hi-tech productions of the region.

Keywords: modernization, innovative development, modernization of economy, the catching-up modernization, innovative modernization.

Введение. В последние десятилетия ключевым фактором развития мировой экономики стало повышение экономической роли инноваций, определившее структурные сдвиги и качественные изменения производительных сил. В связи с этим проведение инновационной модернизации экономики, включающей структурно-технологическую трансформацию и существенное наращивание доли добавленной стоимости за счет перехода к высоким технологиям, рассматривается как определяющее направление развития экономики страны, ее регионов. Это определило необходимость развития теоретических положений модернизации экономики, исследования особенностей и условий реализации модернизационных реформ в специфических условиях сибирских регионов.

Модернизация экономики: сущность, понятие, инструменты управления. На современном этапе экономического развития все большее значение приобретает формирование эффективного механизма модернизации, способного обеспечить перевод экономики на более высокий технологический уровень, что позволит отечественным товаропроизводителям включиться в мировое производство инновационных товаров и услуг и одновременно создаст условия для повышения качества жизни населения.

Исследование мирового опыта модернизационных преобразований в таких странах, как США (конец XVIII – начало XIX века) ([1–3] и др.), Турции (1924-й год – конец 2000-го года) ([4–16] и др.), Японии и Германии (после Второй мировой войны) ([17–23] и др.), а также современных вызовов и рисков инновационного развития [24–28] позволило выделить следующие основные условия успешных модернизационных реформ [29]:

- выделение на государственном уровне приоритетных отраслей развития, опирающихся на имеющуюся ресурсную базу и направленное на совершенствование структуры экономики;
- существенное повышение роли государства в управлении инновационным развитием;

- широкий межинституциональный консенсус государства и гражданского общества, институтов бизнеса и науки при принятии решений в области научно-технологического и экономического развития;

- создание конкурентоспособных (по сравнению с ведущими экономиками мира) организационно-институциональных условий для инновационного развития бизнеса;

- сбалансированное инновационное развитие техники и производственных технологий, транспортной и информационной инфраструктуры, организации управления территориальным развитием и развитием бизнеса;

- мониторинг и своевременное институциональное закрепление и последующее широкое применение наиболее эффективных методов и инструментов управления инновационным развитием экономики;

- сбалансированное развитие промышленно-производственной, социальной и институциональной систем.

Анализ и оценка наиболее широко используемых в науке и экономической практике определений модернизации, обобщение теоретических взглядов на сущность понятия «модернизация» позволяют сделать вывод о том, что единого, общепризнанного определения данного понятия на сегодняшний день не выработано. В то же время можно заключить, что в общем виде в теории и практике под модернизацией понимают целостное обновление общества, отставшего в социально-экономическом развитии, и его переход к современному, индустриальному обществу с преимущественно рыночной экономикой. В управлении экономическим развитием модернизация понимается в более узком контексте, прежде всего как развитие экономической системы на основе передовых достижений в области техники и технологий, включающее техническое обновление устаревшей материальной базы промышленности, перестройку ее структуры, направленную на увеличение доли производства на завершающих стадиях технологического цикла,

наращение выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью (Е. В. Попова, А. В. Абрамов, В. С. Белых и др.) [30–33].

Исследование теоретических основ понятий «модернизация» и «инновационное развитие» позволило обосновать, что, несмотря на сходство, эти процессы имеют также и различие. Оба процесса направлены на повышение эффективности функционирования хозяйственных систем через их техническое и технологическое обновление. Но основные субъекты процесса инновационного развития (ТНК, ТНБ) формируют и продвигают стратегии глобального инновационного преобразования экономики, в том числе стран и регионов мира, прежде всего в своих (транснациональных) интересах. Процесс модернизации рассматривается субъектами модернизации (государством, общественными институтами, национально ориентированным бизнесом) иначе – как процесс обновления, развития социально-экономической системы конкретной страны, прежде всего в интересах развития данного общества, его граждан.

Исследование теоретических основ и подходов к реализации модернизационных преобразований в условиях глобализации рынков и ускорения инновационного развития техники и технологий позволило уточнить сущность понятия модернизации. Так, под модернизацией предложено понимать процесс перевода экономики (прежде всего ее промышленности) на более высокий уровень развития на основе последовательного и системного обновления производственных мощностей, комплексов предприятий, реализующий достижение технологической однородности производственных процессов на возможно более высоком научно-техническом и технологическом уровне, на базе наилучших мировых достижений. Для индустриальных регионов это означает увеличение доли ресурсопереработки и машиностроения, переориентация на экспорт готовой продукции с повышенной долей добавленной стоимости. Нужно отметить, что существуют особенности реализации модернизации на региональном уровне. Так, исходя из специфики регионов, модернизация на региональном уровне должна осуществляться с учетом задач межрегиональной интеграции, направленной в том числе на повышение конкурентоспособности экономики всей страны. Развитие теоретических положений модернизации экономики будет способствовать более эффективному решению проблемы децентрализации регулирования инновационного развития и формированию действенных стимулов для активизации участия в модернизации негосударственных субъектов, о необходимости чего высказывались многие специалисты, в том числе Е. Бухвальд, П. Минакер и др. [29; 34; 35].

Анализ теоретических положений модернизации позволил выделить основные ее виды, получившие обоснование по ряду признаков, в том числе по локализации основных факторов трансформации, размещению основных ресурсов, доминирующей идее, основному содержанию и периоду проведения и др. По широте проведения преобразований и объекту управления выделена комплексная модернизация (предполагает системное развитие политического,

социального и институционального устройства общества) и секторальная (модернизация отдельных социально-экономических систем государства), включающая важнейший вид – модернизацию экономики. Рассмотрение понятия «модернизация экономики» позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время в его определении не отражен ряд вопросов, решаемых при модернизации экономической системы на современном этапе. В частности, не выделены подходы к переводу экономики на новые механизмы экономического роста, не формализованы приоритеты и принципы инновационного развития отраслей при формировании инновационной экономики.

Для решения данной теоретико-методологической проблемы на основе анализа подходов к организации модернизационных преобразований определено, что их реализация должна опираться на обоснованное применение двух важнейших видов модернизации (экономики) – догоняющей и инновационной.

Догоняющую модернизацию предложено рассматривать как процесс повышения технического и технологического уровня имеющихся отраслей на основе создания благоприятных организационных и институциональных условий, имеющий основной целью обновление производственной базы предприятий. Инновационную модернизацию следует рассматривать как процесс структурной перестройки экономики, направленный на формирование промышленного ядра инновационной экономики на основе отраслей, достигших лидерства в техническом и технологическом развитии и способных обеспечить рост доли инновационных товаров в общем объеме выпуска продукции. Проведенная классификация закладывает теоретико-методологические основы совершенствования управления модернизационными преобразованиями в экономике, формирования методов и инструментов промышленной политики на региональном уровне (рис. 1).

Важнейшей задачей управления инновационной модернизацией экономики является формирование ядра инновационной промышленности. Она должна решаться через выделение отраслей, способных стать лидерами инновационного роста в долгосрочной перспективе и эффективно способствовать трансферу инноваций в другие отрасли экономики. Для решения данной задачи предлагается применять теоретический подход к дифференциации отраслей экономики региона по направлениям модернизации экономики в зависимости от достигнутого уровня технологического развития, доступной ресурсной базы инновационного развития, а также перспектив инновационного развития отраслей.

Особенности и условия реализации инновационной модернизации экономики регионов Сибири. На основе анализа развития экономики Сибири сделан вывод, что совокупность регионов, где основу экономики составляют отрасли по добыче и переработке минеральных и других природных ресурсов, должна быть выделена в отдельную группу – регионов с экономикой сырьевой направленности.

В ряде регионов Сибири, таких как Красноярский и Забайкальский край, Кемеровская, Томская, Иркутская области, а также Республика Хакасия, добыча полезных ископаемых относится к основным видам деятельности и занимает одно из первых мест в структуре ВРП (рис. 2).

Научеваемость и эффективность использования техники и технологий относительно наилучших мировых достижений / наличие необходимой для инновационного развития кооперации с предприятиями других отраслей и ресурсной базы инновационного развития¹	Виды модернизации отрасли в зависимости от перспектив рыночного роста	
	Имеются долгосрочные перспективы рыночного роста отрасли на базе применяемых технологических принципов и разрабатываемых на их основе технологий	Имеются только среднесрочные и краткосрочные перспективы рыночного роста отрасли на базе применяемых технологических принципов и технологий²
	Предприятия отрасли в целом находятся на уровне мирового технологического лидерства / необходимые для ускоренного инновационного развития кооперационные связи, научно-исследовательский потенциал и ресурсная база имеются за небольшим исключением	Инновационная модернизация, направленная на повышение инновационного потенциала предприятий отрасли и достижение мирового лидерства: производство спутниковых систем и космических аппаратов; атомная энергетика, ВПК; производство аппаратуры для радио, телевидения и связи и др.
	Предприятия отрасли в целом находятся на уровне мирового технологического лидерства / имеются значительные проблемы со слабой кооперацией с отечественными товаропроизводителями и наукой, ресурсной базой инновационного развития	Возможно комбинирование догоняющей и инновационной модернизации: производство металлических изделий, труб, синтетических каучуков, полимерных смол и пластмассовых изделий, строительство и ремонт судов
Достигнутый уровень технологического развития предприятий отрасли	Предприятия отрасли в целом технологически отстают от лидеров отрасли / имеются значительные проблемы с ресурсной базой инновационного развития	Догоняющая модернизация: производство продукции нефтепереработки, чугуна и стали, древесины и мебели, целлюлозно-бумажное производство, полиграфическая промышленность
	Предприятия отрасли в целом технологически отстают от лидеров отрасли / имеются значительные проблемы с ресурсной базой инновационного развития	Догоняющая модернизация, подготавливающая отрасль к переходу на более высокие уровни инновационного развития: химическое производство, производство машин и оборудования

Примечание: ¹ патенты, лицензии, поставщики техники и оборудования, ² в связи с ожидаемым в ближайшей перспективе появлением новых технологических принципов и разработкой новых технологий либо в связи с тем, что отрасли достигли завершающих этапов жизненного цикла и целиком зависят от общеэкономических тенденций; ³ техника и оборудование преимущественно зарубежные, что повышает риски инновационного развития; слабая интеграция с отечественными исследовательскими организациями.

Рис. 1. Распределение отраслей производства по видам модернизации с уточнением приоритетов инновационного развития предприятий, их образующих (на примере отраслей Красноярского края)

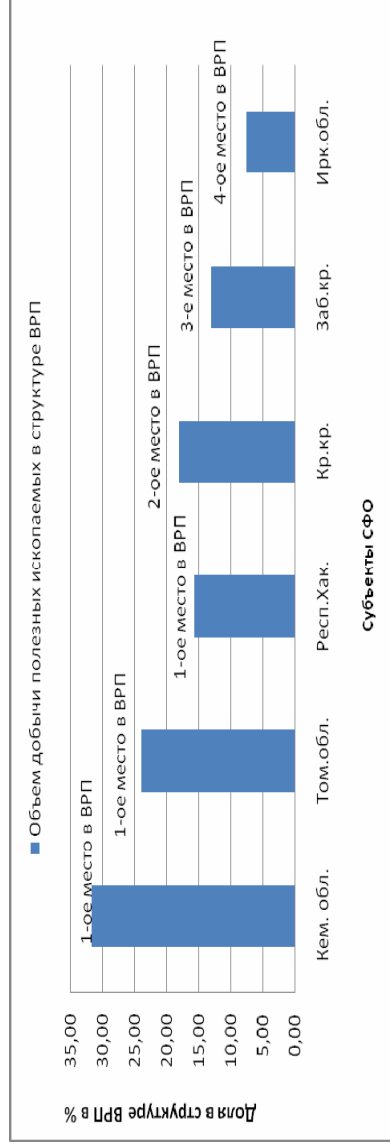
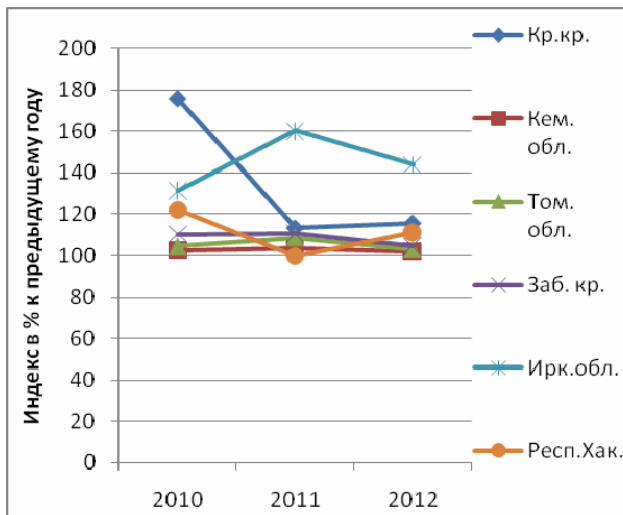
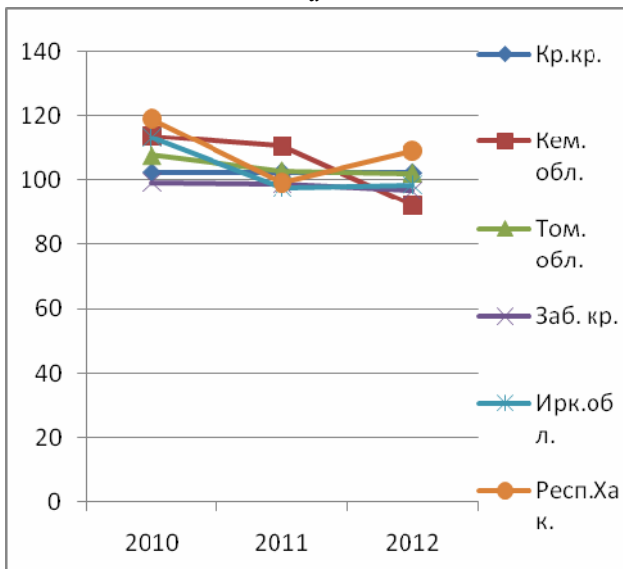


Рис. 2. Объем и место добычи полезных ископаемых в структуре ВРП в регионах СФО, экономика которых относится к сырьевой направленности (2010 г.)

Это позволяет типизировать данные регионы как регионы с экономикой сырьевой направленности и обуславливает необходимость ресурсно-инновационного развития сырьевого сектора и инновационного развития имеющихся высокотехнологичных, наукоемких предприятий. Необходимость такого подхода определяется общемировыми тенденциями технико-экономического развития, а также тем, что имеющийся в настоящее время спад промышленного производства заметно отражается на общем уровне темпов роста добычи полезных ископаемых и обрабатывающей промышленности, ориентированной на низкопереходную переработку добываемого сырья (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Темпы роста производства в регионах СФО с экономикой ресурсного типа: по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» (а); по виду экономической деятельности «Обрабатывающая промышленность» (б)

Исследование позволило выявить особенности инновационной модернизации экономики регионов

Сибири, состоящие в необходимости сочетания инновационного развития высокотехнологичных отраслей и производственных комплексов (аэрокосмическая отрасль, атомная, оборонно-промышленный комплекс и др., успешно функционирующие в настоящее время в Сибири), ресурсно-инновационного развития сырьевых отраслей и комплексов (горно-металлургический, топливно-энергетический, нефтехимический), а также отраслей их сервисного обслуживания (машиностроение, энергетика и др.); наращивания доли добавленной стоимости в сырьевых и перерабатывающих отраслях за счет перехода к высоким технологиям; увеличения объемов добычи и извлекаемости ресурсов за счет перехода к высоким технологиям в сырьевых отраслях; налаживания взаимодействия между сырьевыми и высокотехнологичными производствами региона.

Неравномерность развития производительных сил регионов Сибири определяет также необходимость одновременного решения задач догоняющего и опережающего развития, стимулирования кооперации добывающих производств с инновационными перерабатывающими предприятиями, выпускающими конкурентоспособную высокотехнологичную, наукоемкую продукцию, соответствующую передовым технологическим укладам.

Необходимость организации эффективного управления инновационным развитием регионов сырьевой направленности обусловила раскрытие и обоснование экономической сущности ресурсно-инновационного развития. В связи с этим предложено рассматривать ресурсно-инновационное развитие как процесс перехода к технологически сбалансированной структуре производства, опирающийся на внедрение инновационных технологий мирового уровня в ресурсодобывающих и перерабатывающих отраслях, повышающих эффективность использования минерально-сырьевых ресурсов, способствующих углублению их переработки, расширению производства на завершающих стадиях технологического цикла, наращиванию доли добавленной стоимости.

При переходе на ресурсно-инновационное развитие должны быть учтены факторы, которые оказывают определяющее влияние на эффективность инновационной модернизации экономики данных регионов, в том числе соответствие институциональной среды потребностям инновационного развития бизнеса, взаимосвязь сырьевых и перерабатывающих производств, уровень научно-технического и технологического развития многих отраслей экономики, структура и организация производственной системы, развитие методов и инструментов управления инновационной модернизацией экономики и др.

Важным аспектом процесса инновационной модернизации экономики региона, который закладывает основу эффективного функционирования механизма управления процессами инновационного и ресурсно-инновационного развития отраслей, являются условия его реализации, которые включают инновационную восприимчивость отраслей и производственных комплексов региона; благоприятный инвестиционный климат; развитость инновационной инфраструктуры;

доступность передовых производственных технологий для формирования на базе добываемых ресурсов индустриально-технологических цепей, создающих стоимости промышленного и потребительского назначения; эффективную государственную и институциональную поддержку комплексного развития добывающих и перерабатывающих отраслей, а также предприятий машиностроения, обеспечивающих их необходимым оборудованием и техникой. Государственная и институциональная поддержка инновационной модернизации экономики должна опираться на эффективное взаимодействие основных институтов, в том числе экономических, инновационных, правовых, институтов бизнеса, собственности, а также гражданского общества.

Управление инновационной модернизацией экономики, отражающее особенности и условия развития регионов Сибири, необходимо рассматривать как важнейший организационный механизм, позволяющий провести структурную перестройку промышленности, направленную на преодоление ее экспортно-сырьевой ориентации и переводение ее на инновационную модель развития.

Заключение. Проведенное исследование мирового и отечественного опыта модернизации позволило выявить условия успешных модернизационных преобразований, что определило общие организационные подходы к формированию системы управления модернизацией экономики регионов сырьевой направленности в современных условиях. Выделение и обоснование классификационных признаков модернизации, раскрытие содержания видов модернизации экономики, а также содержания понятия «инновационная модернизация экономики» позволили расширить теоретическую платформу для научных исследований. В результате исследования проведена классификация отраслей экономики в зависимости от перспектив инновационного роста, что позволяет определить направления совершенствования управления инновационной модернизацией экономики региона. Раскрытые особенности и условия реализации инновационной модернизации экономики регионов Сибири позволили определить экономическую сущность ресурсно-инновационного развития и сформулировать условия проведения инновационной модернизации экономики регионов Сибири.

Библиографические ссылки

1. История государства и права зарубежных стран : учеб. для вузов [Электронный ресурс]. 2-е изд., стереотип / под общ. ред. проф. О. А. Жидкова и проф. Н. А. Крашенинниковой. М. : Инфра-М ; НОРМА, 1999. Ч. 2. URL: <http://www.bibliotekar.ru/teoriag-osudarstva-i-prava-5/index.htm> (дата обращения: 10.05.2014).
2. Инновационное развитие хозяйственных систем на микро-, мезо- и макроуровне : монография / В. В. Кузьменко [и др.]. Иркутск : Изд-во ИрГТУ. 2013. 220 с.
3. Экономическая история зарубежных стран : учеб. пособие / Н. И. Полетаева [и др.] ; под ред. проф.

- В. И. Голубовича. 4-е изд., доп. и перераб. Минск : Интерпрессервис ; Экоперспектива, 2003. 592 с.
4. Киреев Н. Г. История этатизма в Турции. М. : Наука, 1991. 341 с.
5. Киреев Н. Г. Развитие капитализма в Турции. К критике теории «смешанной экономики». М., 1982. 296 с.
6. Киреев Н. Г. Сохранился ли в Турции госсектор? Некоторые итоги приватизации // Ближний Восток и современность. Вып. 9. М. : ИИИиБВ, 2000. С. 303.
7. Киреев Н. Г. Этатизм и либерализация экономики. 80-е годы // История этатизма в Турции. М. : Наука, 1991. С. 234–301.
8. Лежиков А. Отец народа. М. : Родина, 1998. № 5–6.
9. Миллер А. Ф. Становление Турецкой республики // Народы Азии и Африки. 1973. № 6.
10. Миллер А. Ф. Турция: Исторический очерк // Советская историческая энциклопедия [Электронный ресурс] : Словари и энциклопедии на Академике. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/sie/18007/> (дата обращения: 01.04.2012).
11. Мохначев С. А. Тенденции кластеризации в региональной хозяйственной системе // Региональная экономика: теория и практика. 2009. № 8. С. 49–52.
12. Новичев А. Д. Аграрное законодательство : Закон об отмене ашара и введении взамен его нового поземельного налога. 17 февраля 1925 года [Электронный ресурс]. Тбилиси, 1942. С. 11. URL: <http://historic.ru/books/item/f00/s00/z0000129/st037.shtml> (дата обращения: 04.02.2013).
13. Оценка экономики Турции, данная на 9-м промышленном конгрессе (7–8 дек. 2010, г. Стамбул) [Электронный ресурс] // Страны мира: Экономика Турции. URL: <http://sqom.ru/ze/eture.html> (дата обращения: 10.05.2014).
14. Пронина В. В. Социально-экономические реформы правительства Тургутта Озала в Турции (1983–1989 гг.) [Электронный ресурс] : автореф. дис. ... канд. экон. наук. Казань, 2010. URL: <http://www.ksu.ru/uni/sank/db/filebase/files/791.doc> (дата обращения: 12.02.2012).
15. Розалиев Ю. Н. Мустафа Кемаль Ататюрк // Вопросы истории. 1995. № 8.
16. Стародубцев И. И. Турция: стратегия экономического развития [Электронный ресурс] // Институт Ближнего Востока : материалы 9-го промышленного конгресса (7–8 дек., 2010, г. Стамбул). URL: <http://www.iimes.ru/rus/stat/2011/01-02-11b.htm> (дата обращения: 10.05.2014).
17. Япония в современном мире: Факторы стабилизации развития и безопасности / Н. В. Анисимцев [и др.]. М. : МАКС-пресс, 2000. 254 с.
18. Волгин Н. А. Японский опыт: решения экономических и социально-трудовых проблем М. : Экономика, 1998. 255 с.
19. Всемирная история : энциклопедия. Т. 5. М. : Соцэкзиз, 1958, 245 с.
20. Изотов А. Н. Япония: концепция выхода в лидеры М. : Экономика, 1991. 218 с.

21. Киселев В. Н., Рубальтер Д. А., Руденский О. В. Инновационная политика и национальные инновационные системы Канады, Великобритании, Италии, Германии и Японии // Информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 6. С. 4–71.

22. Хантингтон С. П. Третья волна. Демократизация в конце XX века. М., 2003.

23. Хлынов В. Общегосударственное планирование рыночной экономики (опыт Японии) // Экономист. 1994. № 4. С. 87–94.

24. Жихаревич Б. С. Стратегическое управление развитием макрорегиона окружного типа: необходимость и пути модернизации // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. № 1(58). С. 138–140.

25. Киселев В. Н. Развитие методов сравнительного анализа инновационной активности субъектов Российской Федерации : дис. ... канд. экон. наук / Ин-т системного анализа РАН [Электронный ресурс]. URL: http://www.i-regions.org/association/structure/Kiselev_final.doc (дата обращения: 10.07.2012).

26. Мартышев А. Н. Технологическая модернизация производства – главная задача промышленной политики в Евразийском экономическом сообществе // Евразийская интеграция: экономика, право, политика. 2007. № 2. С. 96–99.

27. Митрофанова И. В. Стратегическое программирование развития макрорегиона : монография. Ростов н/Д. : ЮНЦ РАН, 2009.

28. Нуреев Р. М. Стратегия и тактика Российской модернизации в свете концепции социального рыночного хозяйства // Экономический вестник Ростовского государственного университета. 2006. Т. 4. С. 11–24.

29. Белякова Г. Я., Батукова Л. Р. К вопросу о модернизации социально-экономических систем: теоретические основы и роль государства // Проблемы современной экономики : Евразийский междунар. науч.-аналит. журн. 2010. № 4.

30. Абрамов А. В. Становление теории модернизации и альтернативные концепции общественного развития [Электронный ресурс] // Вестник Московского государственного областного университета : электрон. экономико-правовой журнал. 2011. № 2. URL: www.evestnik-mgou.ru (дата обращения: 01.02.2013).

31. Белых В. С. Модернизация экономики: понятие, цели и средства [Электронный ресурс] // Бизнес, менеджмент и право : науч.-практ. экономико-правовой журнал. 2011. № 1. URL: http://www.bmpravo.ru/show_stat.php?stat=798 (дата обращения: 10.12.2013).

32. Белых В. С. Модернизация национальной экономики: понятие, модели и виды [Электронный ресурс] // Бизнес, менеджмент и право : науч.-практ. экономико-правовой журнал. 2011. № 2. URL: http://www.bmpravo.ru/show_stat.php?stat=832 (дата обращения: 10.12.2013).

33. Попова Е. В. Основные направления модернизации российской экономики [Электронный ресурс]. URL: <http://bujet.ru/article/98452.php> (дата обращения: 10.04.2012).

34. Бухвальд Е. М. Роль субъектов Федерации в формировании инновационной модели развития экономики России / под ред. А. В. Виленского. М., 2009. 232 с.

35. Бухвальд Е. М. Инновационное развитие регионов: роль децентрализации полномочий [Электронный ресурс] // Пространственная экономика. 2013. № 1. С. 55–71. URL: http://www.bmpravo.ru/show_stat.php?&stat=832 (дата обращения: 21.04.2014).

References

1. Zhidkov O. A., Krashenninnikova N. A. *Istoriya gosudarstva i prava zarubezhnykh stran : ucheb. dlya vuzov* [State and law of foreign countries history: the textbook for higher education institutions] (In Russ). Available at: <http://www.bibliotekar.ru/teoria-gosudarstva-i-prava-5/index.htm> (accessed: 10.05.2014).

2. Kuz'menko V. V. *Innovatsionnoe razvitiye khozyaystvennykh sistem na mikro-, mezo- i makrourovne : monografiya* [Innovative development of economic systems on micro, meso and macrolevel]. Irkutsk: Publishing house of IRGTU, 2013, 220 p.

3. Golubovich V. I. *Ekonomicheskaya istoriya zarubezhnykh stran* [Economic history of foreign countries]. Minsk, Interpresservis ; Ekoperspektiva Publ., 2003, 592 p.

4. Kireev N. G. *Istoriya etatizma v Turtsii*. [Etatism history in Turkey]. Moscow, Nauka Publ., 1991, 341 p.

5. Kireev N. G. *Razvitiye kapitalizma v Turtsii. K kritike teorii "smeshannoy ekonomiki"* [Development of capitalism in Turkey. To criticism of the theory of "mixed economy"]. Moscow, 1982, 296 p.

6. Kireev N. G. [Modern economy and policy of Turkey: materials of working meeting of sector of Turkey of Institute of Oriental studies]. *Blizhniy Vostok i sovremennost'*, 2000, no. 9, p. 303 (In Russ.).

7. Kireev N. G. *Etatizm i liberalizatsiya ekonomiki. 80-e gody* [Etatism and liberalization of economy. 80th years]. Moscow, Nauka Publ., 1991, 234–301 p.

8. Lezhikov A. *Otets naroda* [Father of the people]. Moscow, Rodina Publ., 1998, № 5–6.

9. Miller A. F. [Formation of the Republic of Turkey]. *Narody Azii i Afriki*. 1973, no. 6 (In Russ.).

10. Miller A. F. *Turtsiya: Istoricheskiy ocherk* [Turkey: Historical sketch]. Available at: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/sie/18007/>. (accessed 01.04. 2012).

11. Mokhnachev S. A. [Clustering tendencies in regional economic system]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 2009, no. 8, p. 49–52 (In Russ.).

12. Novichev A. D. *Agrarnoe zakonodatel'stvo: Zakon ob otmene ashara i vvedenii vzamen ego novogo pozemel'nogo naloga. 17 fevralya 1925 goda*. [Agrarian legislation: The law on cancellation of an ashara and introduction instead of its new land tax. February 17, 1925]. 1942, p. 11. Available at: <http://historic.ru/books/item/f00/s00/z0000129/st037.shtml> (accessed 04.02.2013).

13. *Otsenka ekonomiki Turtsii, dannaya na 9 promyshlennom kongresse*. [The assessment of economy of Turkey given on the 9th industrial congress]. Available at: <http://sqom.ru/ze/eture.html> (accessed 10.05.2014).

14. Pronina V. V. *Sotsial'no-ekonomicheskie reformy pravitel'stva Turguta Ozala v Turtsii (1983–1989 gg.)*. [Social and economic reforms of the government of Turgut Ozal in Turkey (1983–1989)]. 2010. Available at: <http://www.ksu.ru/uni/sank/db/filebase/files/791.doc> (accessed 12.02.2012).
15. Rozaliev Yu. N. [Mustafa Kemal Atatürk]. *Voprosy istorii*. 1995, no. 8 (In Russ.).
16. Starodubtsev I. I. *Turtsiya: strategiya ekonomicheskogo razvitiya*. [Turkey: strategy of economic development]. Available at: <http://www.iimes.ru/rus/stat/2011/01-02-11b.htm> (accessed 10.05.2014).
17. Anisimtshev N. V. *Yaponiya v sovremennom mire: Faktory stabilizatsii razvitiya i bezopasnosti*. [Japan in the modern world: Factors of stabilization of development and safety]. Moscow, MAKS-press Publ., 2000, 254 p.
18. Volgin N. A. *Yaponskiy opyt: resheniya ekonomicheskikh i sotsial'no-trudovykh problem*. [Japanese experience: solutions of economic and social and labor problems]. Moscow, Ekonomika Publ., 1998, 255 p.
19. *Vsemirnaya istoriya* [World history: encyclopedia] Moscow, Sotsekiz Publ., 1958, vol. 5, 245 p.
20. Izotov A. N. *Yaponiya: kontseptsiya vykhoda v lidery* [Japan: the concept of an exit in leaders]. Moscow, Ekonomika Publ., 1991, 218 p.
21. Kiselev V. N. [Innovative policy and national innovative systems of Canada, Great Britain, Italy, Germany and Japan]. *Informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2009, no. 6, p. 4–71 (In Russ.).
22. Khantington S. P. *Tret'ya volna. Demokratizatsiya v kontse XX veka*. [Third wave. Democratization at the end of the XX century]. Moscow, 2003.
23. Khlynov V. [Nation-wide planning of market economy (experience of Japan)]. *Ekonomist*. 1994, no. 4, p. 87–94 (In Russ.).
24. Zhikharevich B. S. [Strategic management of development of the macroregion of district type: need and ways of modernization]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. 2010, no. 1(58), p. 138–140 (In Russ.).
25. Kiselev V. N. *Razvitie metodov sravnitel'nogo analiza innovatsionnoy aktivnosti sub"ektov Rossiyskoy Federatsii*. [Development of methods of the comparative analysis of innovative activity of subjects of the Russian Federation] (In Russ.). Available at: http://www.i-regions.org/association/structure/Kiselev_final.doc (accessed 10.07.2012).
26. Martyshev A. N. [Technological modernization of production – the main task of industrial policy in the Eurasian economic community]. *Evrasiyskaya integratsiya: ekonomika, pravo, politika*. 2007, no. 2, p. 96–99 (In Russ.).
27. Mitrofanova I. V. *Strategicheskoe programmirovaniye razvitiya makroregiona: monografiya*. [Strategic programming of development of the macroregion: monograph]. Rostov on Don, YuNTs RAN Publ., 2009.
28. Nureev R. M. [Strategy and tactics of the Russian modernization in the light of the concept of a social market economy]. *Ekonomicheskiy vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2006, vol. 4, p. 11–24. (In Russ.).
29. Belyakova G. Ya. [To a question of modernization of social and economic systems: theoretical bases and role of the state]. *Problemy sovremennoy ekonomiki: Evraziyskiy mezhdunar. nauch.-analit. zhurn*, 2010, no. 4 (In Russ.).
30. Abramov A. V. [Formation of the theory of modernization and alternative concepts of social development]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta: Elektronnyy zhurnal ekonomiko-pravovoy zhurnal*. 2011, no. 2/2011 (In Russ.). Available at: www.evestnik-mgou.ru (accessed 1.02.2013).
31. Belykh V. S. [Modernization of economy: concept, purposes and means]. *Biznes, menedzhment i pravo. Nauchno-prakticheskiy ekonomiko-pravovoy zhurnal*. 2011, no. 1 (In Russ.). Available at: http://www.bmpravo.ru/show_stat.php?stat=798 (accessed 10.12.2013).
32. Belykh V. S. [Modernization of national economy: concept, models and types]. *Biznes, menedzhment i pravo. Nauchno-prakticheskiy ekonomiko-pravovoy zhurnal*. 2011, no. 1 (In Russ.). Available at: http://www.bmpravo.ru/show_stat.php?stat=832 (accessed 10.12.2013).
33. Popova E. V. *Osnovnye napravleniya modernizatsii rossiyskoy ekonomiki*. [Main directions of modernization of the Russian economy]. Available at: <http://bujet.ru/article/98452.php> (accessed 10.04.2012).
34. Bukhval'd E. M. *Rol' sub"ektov Federatsii v formirovaniy innovatsionnoy modeli razvitiya ekonomiki Rossii*. [Role of subjects of Federation in formation of innovative model of development of economy of Russia]. Moscow, 2009, 232 p.
35. Bukhval'd E. M. [Innovative development of regions: role of decentralization of powers]. *Prostranstvennaya ekonomika*, 2013, no. 1, p. 55–71 (In Russ.). Available at: http://www.bmpravo.ru/show_stat.php?stat=832 (accessed 21.04.2014).

**ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ СИБИРИ:
КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ, ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОГО
МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ**

Л. Р. Батукова¹, Т. В. Зеленская², А. В. Медведев²

¹Сибирский федеральный университет, Институт бизнес-процессов и экономики
Российская Федерация, 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26а
E-mail: кафедра-em@yandex.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

В связи с необходимостью повышения эффективности использования инноваций в производственном секторе, темпов его инновационного роста, перед экономикой современной России стоит задача максимально быстрого перехода на инновационную модель развития. Эта задача особенно остро стоит для регионов Сибири, имеющих экономику сырьевой направленности. В настоящее время спад промышленного производства в данных регионах наиболее существенен, что обусловлено снижением темпов роста добычи полезных ископаемых и обрабатывающей промышленности, ориентированной на низкопередельную переработку добываемого сырья. Поэтому организация эффективного управления экономикой таких регионов должна решать вопросы перехода к технологически сбалансированной структуре производства, создания системы ускоренного внедрения инновационных технологий мирового уровня в ресурсодобывающих и перерабатывающих отраслях, повышающих эффективность добычи и использования минерально-сырьевых ресурсов.

В качестве основополагающего концептуального положения управления инновационной модернизацией экономики, с учетом специфики регионов Сибири, имеющих сырьевую направленность, выделен и определен механизм сохранения и развития ресурсного сектора экономики, высокотехнологичных, наукоемких предприятий. Данный механизм предложено основывать на одновременном формировании из предприятий ресурсного и высокотехнологичного сектора системы взаимодействующих и взаимоподдерживающих инновационное развитие производственно-технологических цепочек. Эти цепочки должны заложить основу ядра инновационной экономики (с акцентом на создание ядра инновационной промышленности).

Обосновано, что важнейшим организационным компонентом механизма управления инновационной модернизацией экономики региона, который должен быть создан, является сеть инновационного взаимодействия (сотрудничества). Она представляет собой систему научно-технического и технологического сотрудничества инновационных центров хозяйствования региона и специализированных центров компетенций региона, которая направлена на повышение скорости формирования интеллектуального капитала в регионе, эффективности трансферта научно-технических знаний в экономике.

Ключевые слова: модернизация, модернизация экономики, догоняющая модернизация, инновационная модернизация экономики.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 196–207

**INNOVATIVE MODERNIZATION OF SIBERIAN REGIONS ECONOMY: CONCEPTUAL BASES,
BASIC PROVISIONS OF THE MANAGEMENT ORGANIZATIONAL MECHANISM**

L. R. Batukova¹, T. V. Zelenskaya², A. V. Medvedev²

¹Siberian Federal University, Institute of Business Processes and Economy
26a, Kirenskiy str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation
E-mail: кафедра-em@yandex.ru

²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

Due to the need to increase the efficiency of innovation use in the production sector, its innovative growth rates, a modern Russian economy is faced by the problem of the fastest transition to development of an innovative model. This task is particularly acute for Siberian regions having the economy of a raw orientation. Now recession of industrial production in these regions is the most essential that is caused by decreasing in the growth rates of the mining and manufacturing industry focused on low-refficient processing of the raw materials. Therefore the organization of effective management of economy of such regions has to resolve the issues of transition to technologically balanced struc-

ture of production, creation of system of the accelerated introduction of world-class innovative technologies in the resource-extraction and processing industries increasing production efficiency and mineral raw material resources use. As a fundamental conceptual provision of management of innovative modernization of economy, taking into account specifics of the regions of Siberia having a raw focus in article the mechanism of preservation and development of resource sector of economy, the hi-tech, knowledge-intensive enterprises is allocated and defined. It is offered to base this mechanism on simultaneous formation from the enterprises of resource and hi-tech sector of system of the production and technological chains interacting and keeping innovative development. These chains have to lay the foundation of a kernel of innovative economy (with emphasis on creation of a kernel of the innovative industry). In this work it is proved that the most important organizational component of the region economy innovative modernization management mechanism which has to be created, the network of innovative interaction (cooperation) is. It represents system of scientific and technical and technological cooperation of the innovative centers of managing of the region and the specialized centers of competences the region which is directed on speed increase of the intellectual capital formation in the region, efficiency of a scientific transfer and technical knowledge in economy.

Keywords: modernization, innovative development, modernization of economy, the catching-up modernization, innovative modernization.

Введение. Исследование проблем управления инновационной модернизацией экономики регионов сырьевой направленности, механизма управления, направленного на решение задачи перевода экономики данных регионов на инновационную модель развития, определили высокую актуальность настоящей статьи. Для решения данной задачи в ходе исследования определены концептуальные основы инновационной модернизации экономики, обоснованы важнейшие положения организационного механизма управления.

Концептуальные положения управления инновационной модернизацией экономики регионов Сибири. Регионы Сибири, имеющие сырьевую направленность, несмотря на значительный вклад, который они вносят в валовый внутренний продукт страны, в настоящее время демонстрируют недостаточные темпы экономического роста. Это обусловлено тем, что во многих отраслях и производственных комплексах инновации внедряются неэффективно и несвоевременно. Данная проблема определяет необходимость формирования механизма перевода экономики регионов Сибири на инновационную модель развития с учетом специфики организации их производственной сферы. Проведенное исследование позволило предложить концептуальные положения управления инновационной модернизацией экономики регионов Сибири, направленные на решение проблем неэффективного и несвоевременного внедрения инноваций в структурообразующих отраслях и комплексах.

К числу основополагающих концептуальных положений управления инновационной модернизацией экономики (ИМЭ), с учетом специфики регионов Сибири, имеющих сырьевую направленность, относятся, во-первых, механизм сохранения и развития ресурсного сектора экономики, высокотехнологичных, наукоемких предприятий, основывающийся на одновременном формировании из них системы взаимодействующих и взаимоподдерживающих инновационное развитие производственно-технологических цепочек. В контексте данной цели важнейшей задачей становится формирование на основе этих цепочек ядра инновационной экономики, выполняющего на

региональном уровне роль зоны активного инновационного роста, способной транслировать технологические достижения и спрос на инновации во все остальные сектора экономики и общественной жизни [1].

Во-вторых, при формировании системы управления инновационной модернизацией экономики в качестве объектов управления на региональном уровне должны быть выделены ключевые системы инновационной модернизации экономики (которые взаимно поддерживают инновационное развитие и должны выступать приоритетным объектом управления), сети инновационного сотрудничества, инновационные центры хозяйствования и центры компетенций региона.

Важнейшей из ключевых систем является ядро инновационной промышленности региона (включает наукоемкие, высокотехнологичные предприятия и отрасли). При формировании ядра инновационной промышленности следует исходить из ресурсной базы региона, потенциала его инновационного развития, возможности производственной и инновационной кооперации предприятий.

Исследование состояния производственного сектора сибирских регионов, имеющих экономику сырьевой направленности, позволило сделать вывод, что для эффективной реализации инновационной модернизации (на основе наилучших мировых образцов техники и технологий) в отраслях по добыче и переработке сырьевых ресурсов необходимо обеспечение их связей с наукоемкими предприятиями высокотехнологичных отраслей, а также осуществление локализации производства на региональном уровне до принятых общероссийских норм, проектирование и разветвление внутренних индустриально-технологических цепей, создающих стоимости промышленного и потребительского назначения [2–5].

В-третьих, для эффективного управления инновационной модернизацией экономики необходимо создание координирующих процесс управления органов, большее по сравнению с настоящим временем сосредоточение координационных функций модернизации на уровне региона, а также расширение полномочий субъектов РФ в области инновационного развития. В целях формирования регионального механизма управления инновационной модернизацией экономики предлагается:

– распределять отрасли по видам и приоритетам модернизации (например, для химического производства это догоняющая модернизация, подготавливающая отрасль к переходу на более высокие уровни инновационного развития, для добывающей нефтегазовой отрасли это инновационная модернизация, направленная на расширение ресурсной базы инновационного развития, и т. д.);

– сформировать организационные положения механизма управления ИМЭ, включая в них предложения по организации: сети инновационного сотрудничества; использования инструментария управления инновационной модернизацией экономики регионов; сбалансированных подходов к принятию управленческих решений, обеспечивающих согласование интересов бизнеса, науки, образования, органов регионального управления и общества; эффективного распределения полномочий между субъектами ИМЭ региона.

В-четвертых, механизм управления инновационной модернизацией экономики должен включать эффективную систему мотивации инновационного развития предприятий, образующих ядро инновационной промышленности (методы государственной и институциональной поддержки).

Исследование опыта модернизации и инновационного развития позволило определить, что механизм управления инновационной модернизацией региона должен строиться на принципах, основными из которых являются следующие:

– принцип комплексности развития ключевых систем инновационной модернизации экономики; принцип консенсуса экономических интересов субъектов управления;

– принцип целенаправленности государственной и институциональной поддержки инновационного развития отраслей и производственных комплексов, которые должны быть включены в ядро инновационной промышленности региона;

– принцип ресурсно-инновационного развития добывающих и перерабатывающих отраслей, состоящий в доведении их производственно-технологических цепочек до уровня наукоемкости и технологичности мировых лидеров;

– принцип системного углубления взаимодействия ресурсных и высокотехнологичных отраслей и производственных комплексов.

Многофакторность механизма управления инновационной модернизацией экономики, необходимость концентрации и оптимизации управленческих воздействий для достижения поставленных целей обусловили выделение в качестве основных объектов управления следующие «ключевые системы инновационной модернизации экономики»: ядро инновационной промышленности региона в составе предприятий и отраслевых комплексов (инновационный промышленно-производственный контур); региональная система интеллектуального капитала; институциональная среда инновационного развития экономики; система структурного развития бизнеса, а также социокультурная система инновационной модернизации (рис. 1). Перечисленные системы представляют собой качественно разнородные компоненты системы управления инновационной модернизацией экономики, реализующие во взаимосвязи основополагающие задачи

(функции) формирования ядра *инновационной экономики региона* [6–8].

Проведенный анализ процесса управления инновационной модернизацией экономики региона позволил выделить его важнейшие составляющие компоненты (этапы), основными из которых являются: анализ вызовов и проблем, стоящих перед регионом, и определение реального уровня развития ключевых систем инновационной модернизации экономики; уточнение стратегических ориентиров, целей и стратегий развития с учетом изменяющихся условий; разработка и внедрение инноваций, направленных на принятие эффективных управленческих решений при проведении инновационной модернизации экономики региона; разработка планов и программ инновационного развития и их реализация; оценка эффективности инновационной модернизации экономики региона (рис. 2). Реализация каждого этапа достигается с учетом объективно меняющихся экономических условий и рисков.

Процесс управления инновационной модернизацией экономики региона должен быть обеспечен соответствующими инструментами управления в зависимости от объекта (ключевой системы ИМЭ), а также целей и особенностей этапа процесса управления [9; 10]. Анализ формирования и развития важнейшей ключевой системы – ядра инновационной промышленности, позволил сформулировать цели основных этапов процесса управления применительно к данной системе, в том числе определение достигнутого уровня развития отраслей и производственных комплексов ядра, разработка условий его эффективного развития, разработка стратегии, проектов и программ управления и последующая их реализация. Предложенная постановка целей закладывает основы определения задач управления, в том числе повышения эффективности механизма мотивации инновационного развития предприятий и др. Обобщение зарубежного и отечественного опыта формирования и управления интеллектуальным капиталом позволило сделать вывод о необходимости рассматривать его (для целей ИМЭ) как целостную, управляемую организационную систему, формирующую ресурсную и институциональную основу перехода региона к инновационной экономике.

Систему интеллектуального капитала региона (ИК) предлагается рассматривать как особую систему среди других ключевых систем инновационной модернизации экономики, отвечающую за производство и распространение нового знания, технологий, развитие человеческого капитала (рис. 3), эффективное взаимодействие которой с ядром инновационной промышленности и с другими ключевыми системами закладывает основы эффективного организационного и информационного взаимодействия всех субъектов ИМЭ.

Реализации данного подхода будет способствовать использование для формирования механизма управления ИМЭ разработанной модели системы интеллектуального капитала, которая раскрывает ее комплексный характер и институционально-ресурсную сущность и закладывает основы формирования алгоритмов взаимодействия различных институтов в целях повышения эффективности обеспечения различными видами интеллектуальных ресурсов процессов и систем инновационной модернизации экономики.

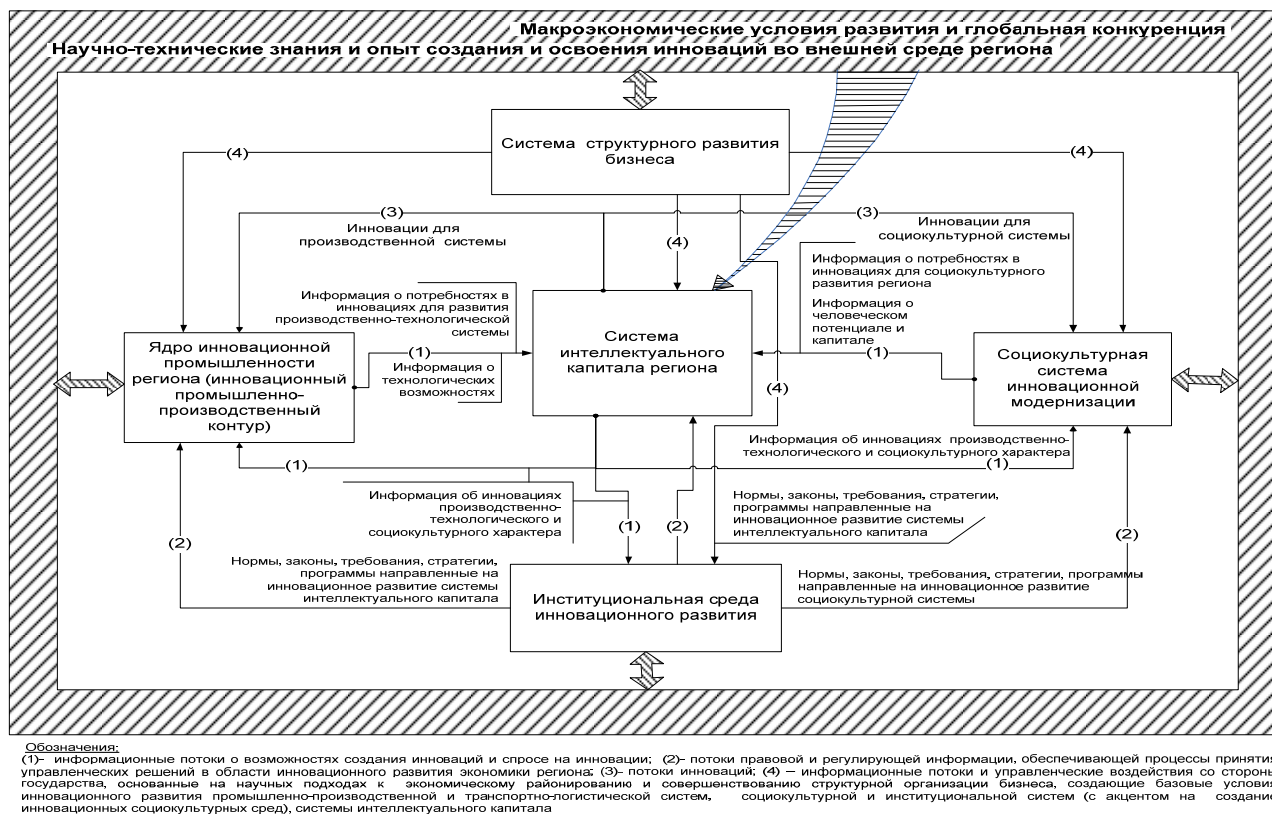


Рис. 1. Укрупненная модель взаимодействия ключевых систем инновационной модернизации экономики и информационно-материальных потоков, их связывающих

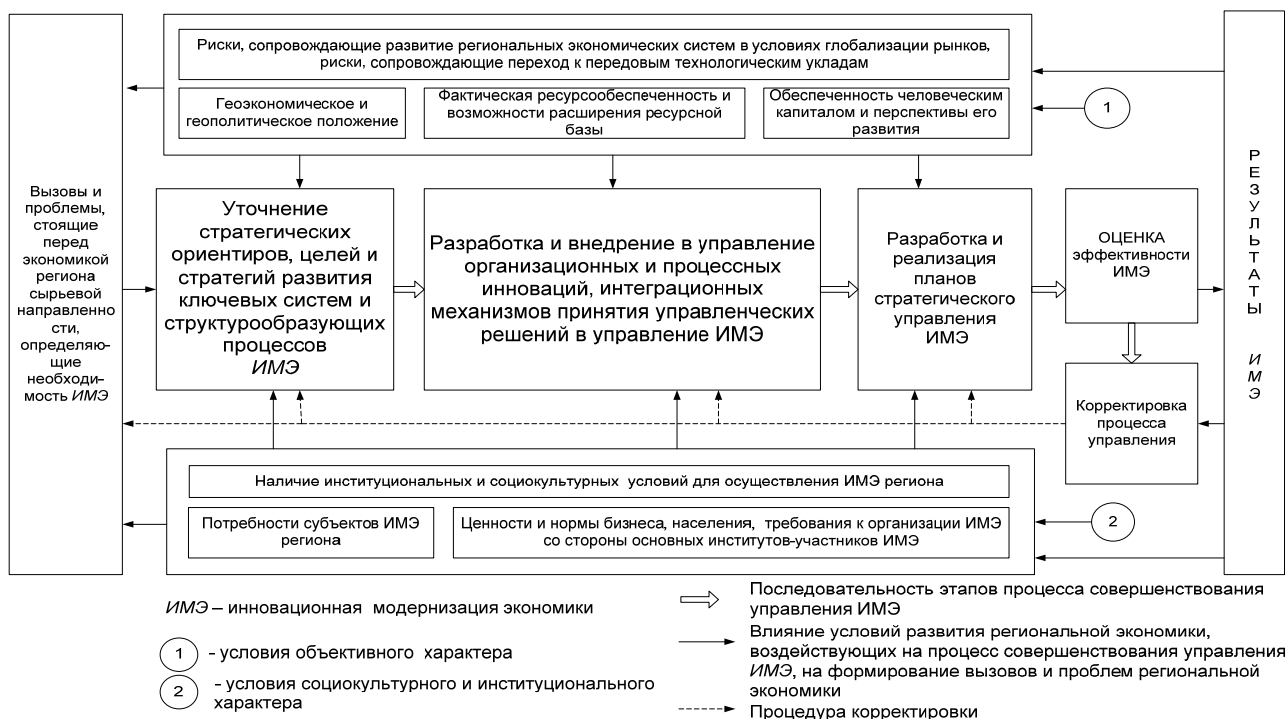


Рис. 2. Структурно-логическая модель процесса управления инновационной модернизацией экономики региона



Рис. 3. Институционально-ресурсная модель системы интеллектуального капитала региона

Модель показывает сложность и многофакторность организации системы ИК, а также то, что взаимодействие ее элементов осуществляется на сетевой основе. В связи с этим для повышения эффективности функционирования системы необходимо формирование постоянно действующего координационно-аналитического центра.

Координационный центр системы ИК региона представляет собой организационную структуру (в форме общественной организации), деятельность которой координируется и контролируется государством. Формат организации системы ИК должен позволять ей быть открытой организационной платформой: 1) вовлекающей субъектов ИМЭ в процесс формирования интеллектуальных ресурсов региона, ресурсной базы интеллектуального капитала; 2) консолидирующей усилия субъектов системы для сбора и обобщения идей и инициатив управления ИК региона, урегулирования спорных вопросов (в том числе между государством и негосударственными субъектами) и решения многих других проблем по обеспечению механизма управления ИМЭ проработанными предложениями по принятию управленческих решений в области управления интеллектуальным капиталом [11–22].

Деятельность координационно-аналитического центра системы интеллектуального капитала региона позволит: повысить организационную эффективность взаимодействия между институтами данной системы, ускорить установление полезных контактов внутри нее и, как следствие, повысить эффективность взаимодействия системы интеллектуального капитала с другими ключевыми системами ИМЭ, а также оптимизировать процессы анализа и принятия управ-

ленческих решений при проведении инновационной модернизации экономики.

Организационный механизм управления инновационной модернизацией экономики региона. Управление инновационной модернизацией экономики в качестве составляющей включает организационный механизм управления. Механизм управления инновационной модернизацией экономики региона представляет собой последовательность процедур прямого и косвенного воздействия на субъектов ИМЭ, осуществляемых федеральными и региональными органами власти посредством использования соответствующих методов и инструментов. Процедуры инновационной модернизации экономики регионов сырьевой направленности, особенно в области формирования и развития ядра инновационной модернизации экономики, должны опираться на механизм эффективного функционирования *сети инновационного взаимодействия (сотрудничества)*, которая представляет собой систему научно-технического и технологического сотрудничества инновационных центров хозяйствования региона (ИЦХР) и специализированных центров компетенций региона (ЦКР). Инновационные центры хозяйствования региона предлагается рассматривать как базовые инновационные кластеры, через которые осуществляется развитие *ядра инновационной экономики* (основной акцент – на развитие ядра инновационной промышленности), реализуемое на основе всесторонней поддержки бизнеса *на этапе ускоренного инновационного роста или находящегося в стадии инновационного обновления техники и технологий*. Под центрами компетенций региона нами понимаются организационные структуры, отвечающие за управление процессами накопления

и продвижения знания по приоритетным направлениям научно-технического и технологического развития на региональном уровне. ЦКР осуществляют активную политику продвижения накопленного знания в ИЦХР, а также осуществляют информационную поддержку экономики в целом. Функции ЦКР могут быть закреплены за уже существующими научными и исследовательскими организациями, если уровень их компетенций это позволяет (рис. 4).

Необходимость управления процессом формирования и развития ядра инновационной экономики обусловила разработку системы оценки развития инновационных центров хозяйствования региона на основе сравнения их с кластерами – лидерами инновационного развития.

Предложенный инструмент включает пять основных индикаторов оценки уровня инновационного развития ИЦХР (объем выработки несырьевой продук-

ции на одного занятого в регионе; доля занятых в кластере, чья заработная плата превышает среднюю по стране, по меньшей мере, в 2 раза; удельный вес инновационной продукции в общем объеме отгруженных товаров, работ услуг; доля выручки малых инновационных предприятий в общем объеме выручки кластеров; доля занятых на малых инновационных предприятиях) и систему распределения ИЦХР по группам в зависимости от полученных результатов (табл. 1). Он позволяет определить необходимый и достаточный объем государственной поддержки для ИЦХР, а также может быть использован в качестве методической основы для разработки механизма мотивации, способствующего ускорению темпов развития данных инновационных кластеров, повышению инновационной активности и самоорганизации их резидентов.

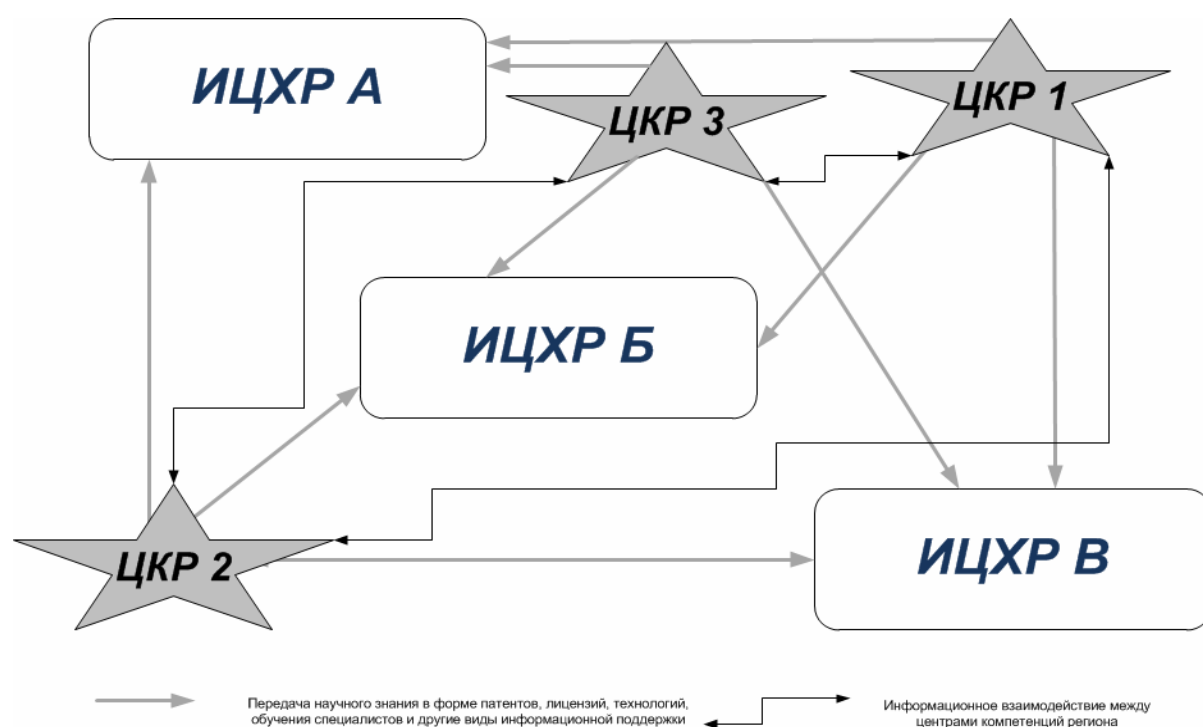


Рис. 4. Пример формирования сети инновационного взаимодействия (сотрудничества)

Таблица 1

Распределение ИЦХР по уровням развития

Уровень развития ИЦХР	Критерии	Рекомендуемые объемы государственной поддержки
Высший уровень развития	Не менее четырех индикаторов на уровне I-й группы, остальные – на уровне II-й группы	Активное инвестиционное участие государства в поддержке резидентов (ГЧП, поручительства по инвестиционным кредитам и другие инструменты) Активная институциональная поддержка кластера в целом. Государственные инвестиции в инновационную и другие виды инфраструктуры
Первый уровень развития	Не менее двух индикаторов на уровне I-й группы и остальные – на уровне II-й группы	Активная организационно-институциональная поддержка кластера в целом. Государственные инвестиции в инновационную и другие виды инфраструктуры. Индивидуальная поддержка резидентам оказывается ограниченно, на конкурсной основе или вовсе не оказывается
Второй уровень развития	Один или менее индикаторов на уровне I-й группы, два и менее индикаторов на уровне II-й группы	Активная организационно-институциональная поддержка кластера в целом. Участие государства в формировании инновационной инфраструктуры кластера

Инструменты управления ИМЭ региона сырьевой направленности

Этапы процесса управления развитием ядра инновационной экономики ИМЭ	Инструменты управления
Определение достигнутого уровня развития отраслей и производственных комплексов, которые должны быть включены в ядро инновационной промышленности	Технологический и организационный бенчмаркинг; факторный анализ инновационной сферы; анализ S-кривых жизненного цикла технологий; анализ «слепых» зон в стратегических решениях в области инновационного развития; отраслевой и конкурентный анализ региональной экономики; форсайт технологический и секторальный, направленный на формирование приоритетов в сфере технологий и экономики и позволяющий мобилизовать значительное количество участников для достижения качественно новых результатов
Формирование условий развития ядра инновационной промышленности	Выделение критических технологий, приоритетных для господдержки в регионе; определение параметров инновационных кластеров и «умных сред», необходимых для инновационного развития производственного сектора экономики региона; улучшение параметров условий ведения бизнеса по отраслям (снижение налоговой нагрузки на оплату труда предприятием квалифицированной рабочей силы; увеличение доступности энергоресурсов, транспорта, кредитов на развитие; упрощение бюрократических процедур и снижение документооборота между бизнесом и контролирующими органами; снижение налоговой нагрузки на инновационный бизнес и господдержка, в том числе его экспортных проектов)
Разработка стратегии, проектов и программ управления формированием и развитием ядра инновационной промышленности	Стратегическое планирование, методы стратегического менеджмента; разработка дорожных карт как инструмента планирования алгоритма действий по достижению стратегических целей; сценарный подход
Реализация стратегии управления формированием и развитием ядра инновационной промышленности	Метод критической цепи как инструмент управления проектами инновационного развития с использованием буферов времени и ресурсов; государственно-частное партнерство; государственное регулирование экономики; методы современного менеджмента (показатели уровня инновационного развития территории, конкурентоспособности территории, экономического развития территории, уровня жизни населения)

Анализ и обобщение задач управления инновационным развитием на региональном уровне позволил предложить для формирования ядра инновационной промышленности региона в рамках проведения инновационной модернизации экономики набор инструментов, систематизированных по этапам процесса управления (табл. 2).

Организационный механизм управления инновационной модернизацией экономики региона должен включать процедуры управления, позволяющие достигать согласования интересов бизнеса, науки, образования, государства и общества и других заинтересованных институтов, что позволит формировать сбалансированные инвестиционные, технологические и организационные решения в области инновационной политики, развития сети инновационного сотрудничества, достижения приоритетов и целей основных групп субъектов ИМЭ.

Для формирования таких процедур управления должны быть использованы технологические платформы (ТП), в связи с чем предложена последовательность этапов формирования управленческих решений и структур на основе использования ТП [23]. Разработанная концептуальная структурно-логическая схема формирования и развития сети инновационного сотрудничества при инновационной модернизации экономики отражает основные этапы принятия и реализации управленческих решений по формированию и развитию сети инновационного сотрудничества, позволяет определить место технологических платформ в механизме управления инновационной модернизацией экономики и уточнить порядок включения

ТП в процесс принятия управленческих решений ИМЭ при формировании ядра инновационной промышленности в регионе (рис. 5).

Предложенная последовательность этапов акцентирована на достижение баланса интересов субъектов ИМЭ при сохранении стратегического контроля над процессом управления за государством.

Важнейшей задачей организационного механизма управления ИМЭ является оценка эффективности инновационной экономики в регионе. В связи с этим предложена система показателей и соответствующих стратегических ориентиров, достижение которых или значительное приближение к ним, будет свидетельствовать о реализации целей инновационной модернизации экономики, об эффективности процесса управления ею. На основе анализа программных документов федерального и регионального уровня («Экономическое развитие и инновационная экономика», «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», «Развитие науки и технологий» и др.) определен ряд стратегических ориентиров, необходимых для мониторинга и повышения эффективности процессов управления инновационной модернизацией экономики (на примере Красноярского края) (табл. 3).

Развитие системы управления ИМЭ предполагает формирование эффективной структурно-организационной основы механизма управления. В связи с этим предложена структурно-логическая схема, отражающая основные структурные компоненты механизма управления ИМЭ (рис. 6).

Стратегические ориентиры инновационной модернизации экономики Красноярского края до 2020 года (пример)

№ п/п	Показатели	СИР РФ 2020	ССЭР Сибирь 2020	СИР КК 2020	ГП РФ ЭРИЭ 2020	ДМС	СДКК	ПСО
		2020	2020	2020	2020	2011	2011	2020
1	Инновационный бизнес							
1.1	Удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации в общем числе организаций, % В том числе:	25	20–25	–	–	8,9 – РФ, 63,8 – Германия, 50,1 – Португалия, 47,9 – Бельгия		40–50
1.1.1	Добывающие, обрабатывающие производство, производство и распределение электроэнергии, газа и воды, %	40	–	–	–		12,1	40
1.1.2	Связь, деятельность, связанная с использованием вычислительной техники и информационных технологий, %	35	–	–	–		5,3	35
1.2	Совокупный уровень инновационной активности организаций промышленного производства (доля организаций промышленного производства, осуществляющих технологические, организационные и (или) маркетинговые инновации, в общем количестве таких организаций), %	60	–	60	–	10,4 – РФ, 79,9 – Германия, 65,0 – Канада, 22,0 – США	6,4	60
2	Выпуск и экспорт инновационной продукции							
2.1	Доля инновационной продукции в общем объеме отгруженных товаров и оказанных услуг, %	25–30	10–15	–	–		–	15–20
2.2	Доля инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организаций промышленного производства (новые для организации, но не новые для рынка), %	25	–	10	–	3,2 – РФ, Германия – 14,1, Франция – 6,4, Великобритания – 5,3	0,7 5,9	10
2.3	Доля инновационных товаров, работ, услуг, новых для рынка сбыта организаций, в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организаций промышленного производства	8	–	–	–	0,8 – РФ, Франция – 6,9, Финляндия – 6,3, Великобритания – 2,0	–	8
2.4	Доля инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме экспорта товаров, работ, услуг организаций промышленного производства, %	15	–	–	–	–	–	15
2.5	Доля новых для мирового рынка инновационных товаров (работ, услуг) в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организаций промышленного производства, %	0,28	–	–	–	–	–	0,28
2.6	Валовая добавленная стоимость инновационного сектора в процентах от ВВП/ВРП, %	17–20	14–17	–	–	–	–	14–17
2.7	Коэффициент изобретательской активности (число отечественных патентных заявок на изобретения, поданных в России, в расчете на 10 тыс. чел. населения), единиц	2,8	–	–	–	–	–	2,8

Примечание: СИР РФ – Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 года; ССЭР Сибирь – Стратегия социально-экономического развития Сибири до 2020 года; СИР КК – стратегия инновационного развития Красноярского края на период до 2020 года «Инновационный край – 2020»; ГП РФ ЭРИЭ – Государственная программа РФ «Экономическое развитие и инновационная экономика» (индикаторы для Красноярского края); ДМС – данные международной статистики за 2011 г.; СДКК – статистические данные по Красноярскому краю за 2011 г.; ПСО – предлагаемые стратегические ориентиры; (–) – показатель отсутствует; ¹ добывающие и обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды; ² связь, деятельность, связанная с использованием вычислительной техники, информационных технологий; ³ 15 % доли инновационной продукции в общем объеме отгруженной промышленной продукции – минимальный показатель для современной конкурентоспособной экономики.

На схеме показана взаимосвязь основных структурных компонентов, а также порядок их взаимодействия при реализации инновационной экономики. Основными компонентами предложенного организационного механизма управления являются: координационный центр системы интеллектуального капитала, координационный центр системы технологических платформ, координационный центр ИМЭ, который должен быть сформирован в форме агентства по управлению инновационной модернизацией, а также ключевые системы инновационной модернизации экономики (включая ядро инновационной промышленности, институциональную среду инновационного развития, систему управления структурным развитием бизнеса и социокультурную систему инновационной модернизации) и центр мониторинга и оценки результатов ИМЭ.

Предложенная схема будет способствовать формированию эффективной системы распределения полномочий между субъектами инновационной модернизации экономики. Это позволит более эффективно вовлекать их в процесс формирования инновационной экономики.

Заключение. Разработка концептуальных положений управления инновационной модернизацией экономики регионов Сибири позволила определить основные объекты управления («ключевые системы инновационной модернизации», сеть инновационного сотрудничества, инновационные центры хозяйствования и центры компетенций региона), принципы, а также структурно-логическую модель процесса управления, позволила заложить методологические основы механизма управления инновационной модернизацией экономики, способствующего переводу ее на инновационную модель развития. Предложенное и обоснованное внедрение сети инновационного сотрудничества, состоящей из инновационных центров хозяйствования региона и специализированных центров компетенций, будет способствовать повышению эффективности формирования ядра инновационной экономики (с акцентом на ядро инновационной промышленности), совершенствованию его взаимодействия с другими отраслями и производственными комплексами региона.

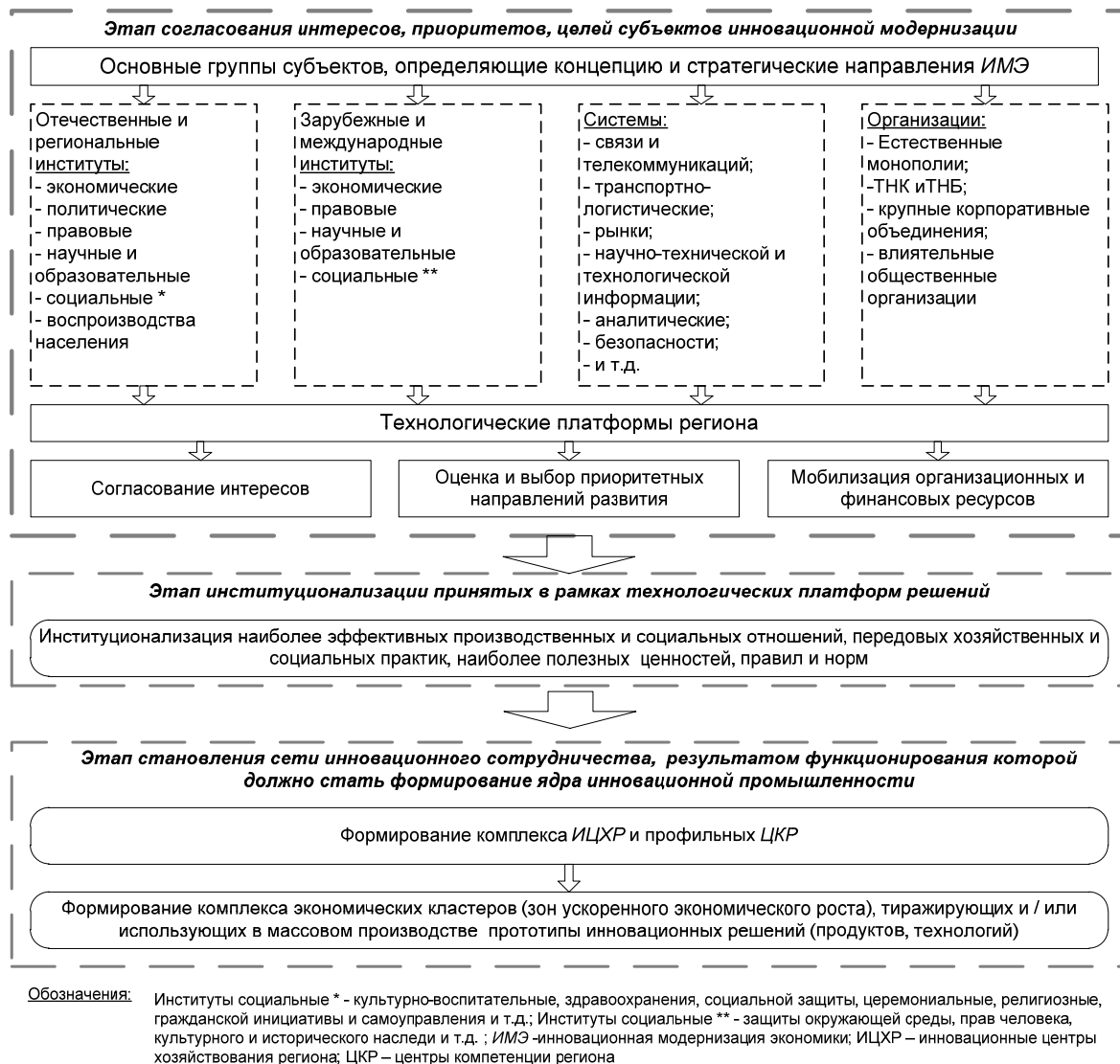


Рис. 5. Структурно-логическая схема формирования и развития сети инновационного сотрудничества при инновационной модернизации экономики

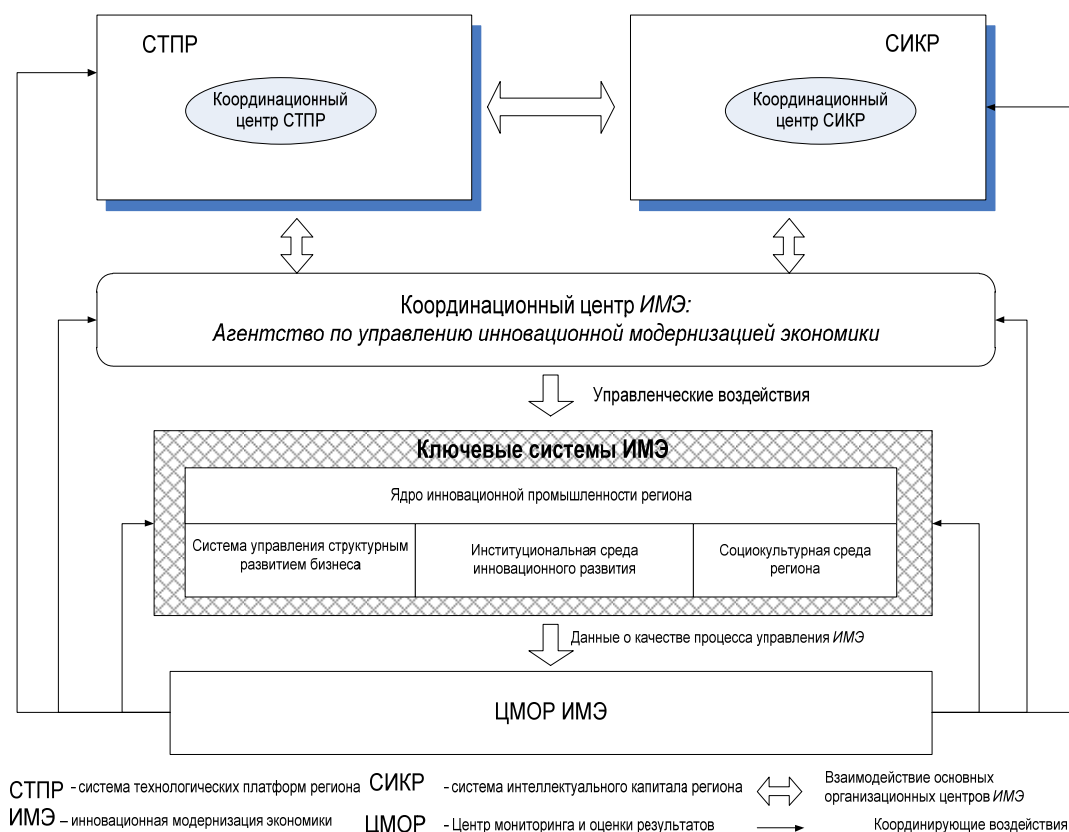


Рис. 6. Структурно-логическая схема механизма управления инновационной модернизацией экономики региона

Представленные в статье положения организационного механизма управления инновационной модернизацией экономики региона включают: 1) обоснование внедрения сети инновационного сотрудничества, состоящей из инновационных центров хозяйствования региона и специализированных центров компетенций; 2) систематизацию инструментов управления ИМЭ; 3) структурно-логическую схему реализации механизма управления инновационной модернизацией экономики региона, отражающую порядок взаимодействия основных компонентов системы управления, реализующую достижение согласования интересов субъектов ИМЭ в отношении развития ядра инновационной промышленности на институциональном уровне; 4) уточнение стратегических ориентиров инновационной модернизации экономики, направленных на повышение качества процесса управления ИМЭ на региональном уровне (на примере Красноярского края) [24].

Библиографические ссылки

1. Регионы России. Социально-экономические показатели – 2012 г. : стат. сб. Раздел 22.15. «Инновационная активность организаций».
2. Балакина Г. Ф. Перспективы развития инновационных кластеров в Туве // Экономическое возрождение России. 2012, № 2 (32). С. 113–121.

3. Балакина Г. Ф. Модернизационная восприимчивость депрессивного региона // Экономическое возрождение России. 2013, № 3 (37). С. 26–32.
4. Бендиктов М. А., Фролов И. Э. Высокотехнологичный сектор промышленности России: состояние, тенденции, механизмы инновационного развития. М. : Наука, 2007.
5. Вагапов А. Р. ГИС-технологии в определении зон опережающего развития экономик регионов [Электронный ресурс]. Комитет Совета Федерации по делам Федерации и региональной политике. 05.04.2011. URL: http://www.komfed.ru/section_136/section_141/676.html (дата обращения: 10.02.2014).
6. Батукова Л. Р. Управление инновационной модернизацией региона: институционализация методов и инструментов : монография. Саратов : КУБиК, 2013. 272 с.
7. Теория и практика инновационной экономики : коллективная монография / Л. Р. Батукова [и др.] ; под ред. проф. А. Н. Ларионова ; НИЦ «Стратегия». М. : МАКС Пресс, 2011. 236 с. С. 43–55.
8. Вопросы методологии, теории и практики в формировании стратегии развития социально-экономического и технического потенциала предприятий, отраслей : коллективная монография / О. Н. Владимирова [и др.] ; под общ. ред. В. В. Бондаренко. Пенза : Приволжский дом знаний, 2010. С. 58–69.
9. Белякова Г. Я., Батукова Л. Р. Модернизационные реформы: вопросы целеполагания и основные

аспекты системы управления [Электронный ресурс] // Проблемы современной экономики : Евразийский Междунар. науч.-аналит. журн. 2011. № 4(40). URL: <http://www.m-economy.ru/find.php> (дата обращения: 10.02.2012).

10. Батукова Л. Р. Свойство инновационности как методологическая основа понятий инновационного ряда // Наука и технологии : сб. науч. трудов XXX Российской школы, посвященной 65-летию Победы (15–17 июня 2010, г. Миасс). М. : Изд-во РАН, 2010. Т. 2. С. 115–117.

11. Бовин А. А., Чередникова Л. Е. Интеллектуальная собственность: экономический аспект : учеб. пособие. М., Новосибирск, 2001. С. 216.

12. Демидов В. А., Лебедева Н. Н., Олейник О. С. Региональная инновационная система: потенциал и тенденции развития. Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2008. 318 с.

13. Демин С. С. Методология управления инновационной модернизацией высокотехнологичных наукоемких отраслей экономики России : автореф. дис. ... д-ра экон. наук. СПб., 2012.

14. Мухин В. И. Управление интеллектуальной собственностью : учебник для вузов. М. : Владос, 2007. 336 с.

15. Об авторском праве и смежных правах : федер. закон от 09.07.1993 г. № 5351-1 (с последующим дополнением) // Российская газета. 1993. 3 авг.

16. Об информации, информатизации и защите информации : федер. закон от 20.02.1995 г. № 24-ФЗ // Российская газета. 1995. 22 февр.

17. О государственной тайне : федер. закон от 21.07.1993 г. № 5485-1 // Российская газета. 1993. 21 сент.

18. О правовой охране программ для ЭВМ и баз данных : федер. закон от 23.09.1992 г. № 3523-1.

19. О правовой охране топологий интегральных микросхем : федер. закон от 23.09.1992 г. № 3526-1 // ВСНД. 1992. № 42.

20. О селекционных достижениях : федер. закон от 06.08.1993 г. № 5605-1 // Российская газета. 1993. 3 сент.

21. О средствах массовой информации : федер. закон от 27.12.1991 г. № 2124-1.

22. О рекламе : федер. закон от 18.07.1995 г. № 108-ФЗ // Российская газета. 1995. 25 июля.

23. Эдвинсон Л. Корпоративная долгота. Навигация в экономике, основанной на знаниях. М. : Инфра-М, 2005.

24. Батукова Л. Р. Исторические институциональные трансформации как основы формирования технологических платформ // Труд и социальные отношения. 2012. № 1. С. 19–32.

2. Balakina G. F. [Prospects of development of innovative clusters in Tuva]. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii*. 2012, no. 2 (32), p. 113–121. (In Russ.).

3. Balakina G. F. [Modernization susceptibility of the depressive region]. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii*. 2012, no. 3 (37), p. 26–32 (In Russ.).

4. Bendiktov M. A. *Vysokotekhnologichnyy sektor promyshlennosti Rossii: sostoyanie, tendentsii, mekhanizmy innovatsionnogo razvitiya* [Hi-tech sector of the industry of Russia: state, tendencies, mechanisms of innovative development]. Moscow, Nauka Publ., 2007.

5. Vagapov A. R. *GIS-tehnologii v opredelenii zon operezhayushchego razvitiya ekonomik regionov* [GIS-technologies in definition of zones of the advancing development of economies of regions]. Available at: http://www.komfed.ru/section_136/section_141/676.html. (accessed 10.02.2014).

6. Batukova L. R. *Upravlenie innovatsionnoy modernizatsiei regiona: intitutsionalizatsiya metodov i instrumentov* [Management of innovative modernization of the region: intitutsionalization of methods and tools]. Saratov, KUBIK Publ., 2013. 272 p.

7. Batukova L. R. *Teoriya i praktika innovatsionnoy ekonomiki* [Theory and practice of innovative economy]. Moscow, MAKSS Press Publ., 2011. 236 p.

8. Batukova L. R. *Voprosy metodologii, teorii i praktiki v formirovanii strategii razvitiya sotsial'no-ekonomicheskogo i tekhnicheskogo potentsiala predpriyatiy, otrasley* [Questions of methodology, the theory and practice in formation of strategy of development of social and economic and technical capacity of the enterprises, branches]. Penza. Privolzhskiy dom znaniy Publ., 2010. 264 p.

9. Belyakova G. Ya., Batukova L. R. [Modernization reforms: questions of a goal-setting and main aspects of a control system]. *Problemy sovremennoy ekonomiki. Evraziyskiy mezhdunarodnyy nauchno-analiticheskiy zhurnal*. 2011, no. 4 (40) (In Russ.). Available at: <http://www.m-economy.ru/find.php>. (accessed 10.02.2012).

10. Batukova L. R. [Property of innovation as methodological basis of concepts of an innovative row]. *Sbornik nauchnykh trudov XXX Rossijskoj shkoly Nauka i tehnologii* [Collection of scientific works of the XXX Russian Science School and technology]. Moscow, 2010, p. 115–117 (In Russ.).

11. Bovin A. A., Cherednikova L. E. *Intellektual'naja sobstvennost': jekonomicheskij aspekt* [Intellectual property: economic aspect]. Moscow, Novosibirsk, 2001, 216 p.

12. Demidov V. A., Lebedeva N. N., Oleynik O. S. *Regional'naja innovacionnaja sistema: potencial i tendencii razvitiya* [Regional innovative system: potential and tendencies of development]. Volgograd, VolGU Publ., 2008. 318 p.

13. Demin S. S. *Metodologiya upravleniya innovatsionnoy modernizaciej vysokotekhnologichnykh naukoemkikh otraslej jekonomiki Rossii* [Metodologiya of management of innovative modernization of high-tech knowledge-intensive industries of economy of Russia]. St. Petersburg, SPbSTU Publ., 2012, 38 p.

14. Muhin V. I. *Upravlenie intellektual'noj sobstvennost'ju* [Management of intellectual property]. Moscow, Vlados Publ., 2007. 336 p.

References

1. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli – 2012 g. : stat. sb. Razdel 22.15. "Innovatsionnaya aktivnost' organizatsiy"* [Statistical collection "Regions of Russia. Socio-economic indexes – 2012", section 22.15. "Innovative activity of the organizations"].

15. RF Federal Law “About copyright and allied rights” of July 9, 1993 № 5351-1 (In Russ.).
16. RF Federal Law “About information, informatization and information security” of February 2, 1995 № 24 (In Russ.).
17. RF Federal Law “About the state secret” of July 21, 1993 № 5485-1 (In Russ.).
18. RF Federal Law “About legal protection of the computer programs and databases” of September 23, 1992 № 3523-1 (In Russ.).
19. RF Federal Law “About legal protection of topology of integrated chips” of September 23, 1992 № 3526-1 (In Russ.).
20. RF Federal Law “About selection achievements” of August 6, 1993 № 5605-1 (In Russ.).
21. RF Federal Law “About mass media” of December 27, 1991 № 2124-1 (In Russ.).
22. RF Federal Law “About advertizing” of July 18, 1995 № 108 (In Russ.).
23. Edvinson L. *Korporativnaja dolgota. Navigacija v jekonomike, osnovannoj na znanijah* [Corporate longitude. Navigation in the economy based on knowledge]. Moscow, INFRA-M Publ., 2005.
24. Batukova L. R. [Historical institutional transformations as bases of formation of technological platforms]. *Trud i social'nye otnoshenija*. 2012, no. 1, p. 10–22 (In Russ.).

**РИСКИ КОСМИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ.
АНАЛИЗ НЕУДАЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЗАПУСКОВ**

Г. П. Беляков, Ю. А. Анищенко, М. В. Сафронов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: smv-agi@mail.ru

Проведен анализ неудачных космических запусков с российских космодромов. Рассмотрена статистика запусков в период с 2004 по 2014 годы. Под неудачными понимаются запуски, в ходе которых произошли негативные события, повлекшие частичное или полное невыполнение запланированных мероприятий, повреждение или потерю космического аппарата, а также ущерб третьим лицам. Выявлено 19 неудачных запусков за данный период. Дана характеристика сущности события, причин неудачи, последствий и ущерба по каждому из них. Проведен анализ неудачных запусков в разрезе используемых ракет-носителей и разгонных блоков. Выявлено значительное влияние на успешность запуска человеческого фактора и уровня технического контроля производства. Описана классификация рисков космического проекта. Определены категории критичности последствий проявления риска. Выявлено соответствие между повлекшими отрицательные отклонения негативными событиями и группами рисков космических проектов, критичностью последствий проявления риска. На основании исследования выявлено преобладание технической группы рисков как источника причины неудачи. На втором месте по частоте проявления – человеческие риски. Анализ показал, что человеческие риски ведут к более критичным для проекта последствиям, что обусловлено спецификой космических проектов. Выдвинуто предположение о необходимости пересмотра процессов управления при реализации космических проектов, включая систему управления рисками. Решение поставленной проблемы видится в совершенствовании организации космической деятельности на основе методов проектного управления.

Ключевые слова: неудачные космические запуски, космические проекты, управление космическими проектами, риски космических проектов.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 208–215**ANALYSIS OF FAILED SPACE LAUNCHES
FROM THE POINT OF SPACE PROJECT RISK MANAGEMENT**

G. P. Belyakov, Y. A. Anishchenko, M. V. Safronov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: smv-agi@mail.ru

An analysis of failed Russian space launches is carried out in this article. The authors have reviewed the statistics for the period from 2004 to 2014. Under unsuccessful launches the authors understood launches during which there were adverse events that caused partial or complete failure of the planned activities, damage or loss of the spacecraft, as well as damage to third parties. 19 failed launches are identified in the period. The characteristic nature of the event of the failure, and consequences damage to each of them are given. Failed launches in the context used rockets and boosters have been analyzed. There was a significant influence on the successful launch of the human factor and the level of technical control of production. The classifications of space project risks are given. The categories of criticality risk manifestation space project are defined. The correspondence between entailed negative deviations and groups of space projects risk and category criticality risk manifestation is revealed. On the basis of the study the predominance of technical group of risk as a source of reasons for the failure is revealed. The second by expression is human group of risks. The analysis showed that human risks are more critical to project the consequences of that due to the specific space projects. The need to review management processes in the implementation of space projects, including the risk management system is suggested. The solution of the problem lies in improving the organization of space activities on the basis of project management methods.

Keywords: failed space launches, space projects, space project management, space project risks.

Введение. Проблемы анализа состояния космической деятельности, совершенствования управления в ракетно-космической промышленности, методологии управления космическими проектами и космическими рисками находят отражение в трудах многих авторов как в России, так и за рубежом [1–11]. Стадия запуска в космос является неотъемлемой частью жизненного цикла космических проектов, связанных с созданием и использованием космических аппаратов. Актуальной научной задачей является анализ неудачных космических запусков с перспективой использования полученных результатов для совершенствования управления рисками космических проектов.

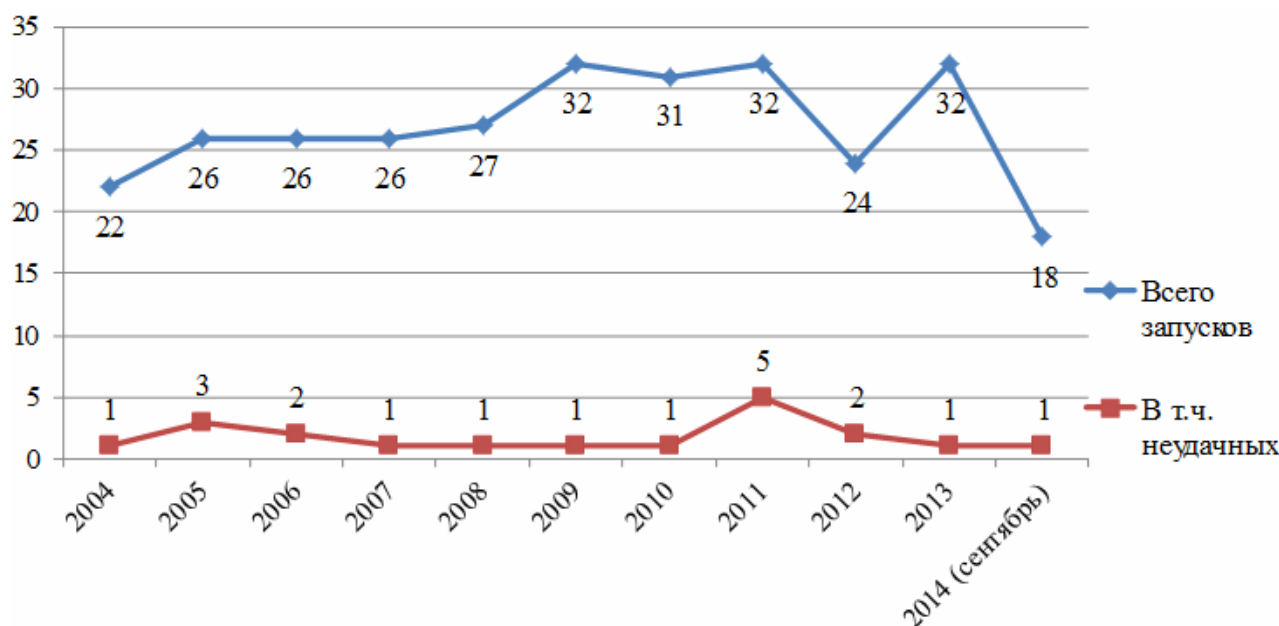
Анализ неудачных космических запусков. Неудачи при освоении космоса случаются постоянно, в то же время, согласно общей статистике запусков со времени начала освоения космоса, среднегодовое число неудачных запусков снизилось по сравнению с пионерными годами космонавтики. Это обусловлено увеличением доли серийных запусков народнохозяйственного назначения в общей структуре запусков. Рассмотрим статистику космических запусков в России за период с 2004 по 2014 годы (см. рисунок). За указанный период было проведено 296 запусков, из которых 19 окончились неудачей.

Следует отметить расхождение в определении космического запуска как неудачного с позиции официальной статистики Федерального агентства – представителя услуг по выведению космических аппаратов (КА), и с позиции заказчиков – владельцев и пользователей результатов космического проекта. Федеральное агентство в официальной статистике выделяет успешные, частично успешные, неуспешные и аварийные запуски. При этом успешными считаются запуски, произведенные без негативных событий в зоне ответственности оказывающего услуги по запуску.

К частично успешным относятся запуски, в которых выполнены обязательства по выведению КА в космос, но оказано негативное влияние на условия дальнейшего функционирования КА. К данной группе относятся запуски, в ходе которых не произошло выведение КА на расчетную орбиту с сохранением его функциональных качеств, корректировка орбиты до расчетных значений производится за счет двигателей КА, при этом внештатный расход топлива ведет к снижению срока полезного использования аппарата. Аварийными и неудачными запуски признаются при полной потере функциональности космического аппарата. С позиции управления проектом создания космического аппарата любое негативное отклонение в полученных результатах можно трактовать как неудачу, негативное событие, ведущее к неизбежным потерям. Неудачный космический запуск следует рассматривать как случай проявления риска, подлежащего предварительному выявлению, оценке и возможной реакции на риск со стороны организаций, реализующих космические проекты. Таким образом, целесообразно подразделять космические запуски на успешные и неудачные.

Для целей данного исследования под неудачным космическим запуском понимается выведение в космос ракеты-носителя с полезной нагрузкой на борту, в ходе которого произошли негативные события, повлекшие частичное или полное невыполнение запланированных мероприятий, повреждение или потерю космического аппарата, а также ущерб третьим лицам.

В целях удобства анализа необходимо рассмотреть неудачные запуски в сопоставимом виде с раскрытием сущности каждого негативного события, его причин, последствий и ущерба. Систематизированная информация представлена в табл. 1.



Статистика космических запусков в России с января 2004 года по сентябрь 2014 года

Таблица 1

Неудачные космические запуски в России с 2004 по 2014 годы*

Дата	Стартовый комплекс	РН и РБ	Описание сущности события, причин неудачи, последствий и ущерба
24.12.2004	Плесецк 32/2	Циклон-3 701	Двигатель третьей ступени ракеты-носителя (РН) во втором своем включении вместо положенных 9,8 секунды отработал только немногим более четырех секунд, после чего отключился. Полезная нагрузка выведена на нерасчетную орбиту
21.06.2005	Плесецк 16/2	Молния-М 77046-694	На 298-й секунде полета произошла авария 3-й ступени носителя. Спутник потерян в результате аварии ракеты-носителя. Ущерб около 1,3 млн руб., угроза экологического загрязнения местности
21.06.2005	К-496	Волна-О	Первая ступень двигателя ракеты-носителя самопроизвольно прекратила свою работу на 83 секунде полета, в результате чего ракета не набрала необходимую для выхода на орбиту скорость и упала в океан. Неудачный запуск замедлил развитие совместного российско-американского проекта по запуску космического аппарата, движущегося по принципу солнечного парусника
08.10.2005	Плесецк 133/3	Рокот / Бриз-КМ	Не произошло отделение разгонного блока (РБ). В результате связка из второй ступени ракеты и разгонного блока упала в Северном Ледовитом океане. Проблема в нештатной работе программного обеспечения системы управления разгонного блока, которая не сформировала требуемых команд на разделение второй ступени и космической головной части. Потерян спутник Cryosat стоимостью 140 млн евро, научный проект ЕКА отложен до 2010 года
28.02.2006	Байконур Пл. 200/39	Протон-М / Бриз-М 535-11/88515	Из-за нештатной работы во время второго включения разгонного блока арабский спутник связи на расчетную орбиту не выведен. Использование по назначению спутника Arabsat 4A не представляется возможным
26.07.2006	Байконур Пл. 190/95	Днепр 450-2973-804	На 73-й секунде полета произошло аварийное отключение двигателей ракеты. Авария произошла из-за нарушения теплоизоляции, в результате чего произошел перегрев рабочего тела гидропривода, который управляет качанием камеры № 4 двигательной установки первой ступени. В аварии было потеряно 18 спутников. На месте падения ракеты взяты пробы грунта, ПДК гептила превышена в тысячу раз
05.09.2007	Байконур Пл. 200/39	Протон-М / Бриз-М 535-22/88522	На 135-й секунде полета произошло аварийное выключение двигательной установки второй ступени ракеты. На почву попало несколько тонн высокотоксичного топлива (гептила). Несмотря на быструю ликвидацию последствий экологической катастрофы, Казахстан потребовал от России компенсационную выплату в размере 60,7 млн долл.
14.03.2008	Байконур Пл. 200/39	Протон-М / Бриз-М 535-25/88525	Разгонный блок не доставил полезную нагрузку на расчетную орбиту. Преодолеть разницу в орбитах за счет резерва двигателей спутника не представилось возможным. Собственник объявил о потере спутника
23.05.2009	Плесецк 43/4	Союз-2.1a 77067-162 РБ Фрегат	Запуск частично успешный: аппарат не вышел на целевую орбиту. Дефект разгонного блока на втором включении, третьего запланированного включения не произошло. КА используется по назначению, но не в составе спутниковой группировки ЕССС
05.12.2010	Байконур Пл. 81/24	Протон-М / ДМ-3 535-37/01L	После удачного старта разгонный блок ДМ-03 вместе с космическими аппаратами упал в Тихий океан. Согласно выводам комиссии все ступени и системы ракеты-носителя отработали штатно, а спутники были утрачены из-за того, что в разгонный блок ДМ-03 из-за ошибки в конструкторской документации залили 1,5 тонны лишнего топлива. Ущерб от потери спутников составил 2,5 млрд руб., не считая стоимости РН «Протон-М»
01.02.2011	Плесецк 133/3	Рокот / Бриз-КМ	Спутник выведен на нерасчетную орбиту из-за ошибок в работе разгонного блока. Через некоторое время связь со спутником пропала. Причиной отсутствия связи с «Гео-ИК-2» стал отрицательный энергобаланс космического аппарата, образовавшийся в результате падения напряжения бортового электропитания. Космический аппарат сошел с орбиты в 18:27 15 июля 2013 года и сгорел в атмосфере
17.08.2011	Байконур Пл. 200/39	Протон-М / Бриз-М 935-21/99522	В ходе полета произошел сбой в системе разгонного блока, в результате чего космический аппарат был выведен на нерасчетную орбиту. Авария стала результатом программной ошибки. Стоимость создания и запуска спутника предположительно составила около 10 млрд руб.
24.08.2011	Байконур Пл. 1	Союз-У ПВБ L15000-132	На участке работы третьей ступени ракеты-носителя на 325-й секунде произошло нарушение работы двигательной установки, приведшее к ее аварийному отключению. Причиной нештатной работы стало уменьшение расхода горючего в газогенераторе вследствие засорения тракта его подачи. Ущерб – 3,2 млрд руб.

Дата	Стартовый комплекс	РН и РБ	Описание сущности события, причин неудачи, последствий и ущерба
08.11.2011	Байконур Пл. 45/1	Зенит-2СБ 2SB41.1,2FG	Произошел перезапуск двух комплектов бортового вычислительного комплекса и «Фобос-Грунт» остался на околоземной орбите. Непосредственной причиной перезапуска обоих полуккомплектов вычислительной машины ЦВМ22 названо срабатывание сторожевого таймера в её составе, связанное, вероятнее всего, с искажением программного кода при воздействии тяжёлых заряженных частиц на ячейки ОЗУ. Ущерб – 5 млрд руб.
23.12.2011	Плесецк Пл. 43/4	Союз-2.1б 78075- 164/104	На 421-й секунде полета произошла нештатная работа двигательной установки третьей ступени ракеты из-за прогара камеры двигателя вследствие «нестабильности характеристик паяного соединения, не выявляемого существующими в отрасли методами контроля качества». [15] Полная потеря полезной нагрузки. Ущерб – около 2 млрд руб.
06.08.2012	Байконур Пл. 81/24	Протон-М / Бриз-М 935- 31/99532	Выключение двигателей разгонного блока произошло через 7 секунд вместо расчётных 18 минут 5 секунд. Причиной аварии была признана производственная проблема: произошло засорение магистрали наддува дополнительных топливных баков горючего «Бриз-М». Ущерб от аварии оценивается в 5–6 млрд руб.
08.12.2012	Байконур Пл. 200/39	Протон-М / Бриз-М 935- 34/99535	Процедура отделения КА от разгонного блока произошла на 4 минуты раньше расчётного времени. Спутник был оставлен на орбите, ниже расчётной. Выведение на расчетную орбиту за счет резервов космического аппарата привело к снижению срока полезной эксплуатации аппарата до 11,5 лет вместо ожидавшихся 19. Заявленный убыток, связанный с сокращением срока службы спутника, составил 73 млн евро
02.07.2013	Байконур 81/24	Протон-М / ДМ-03	Примерно на десятой секунде после старта ракета внезапно изменила направление полета, начала падать и взорвалась на территории космодрома. Причиной аварии стала нештатная работа трех из шести датчиков угловых скоростей, которые были установлены обратной стороной. Ущерб превысил 6 млрд руб.
16.05.2014	Байконур	Протон-М / Бриз-М	Спутник «Экспресс-АМ4Р» не вышел на целевую орбиту. Третья ступень ракеты не доработала 37 секунд. Телеметрия показала резкое падение давления в рулевом двигателе третьей ступени. Причиной аварии стал производственный дефект в ходе сборки. Запуски «Протонов» приостановлены до полного расследования

*Источник: материалы открытой печати, отчеты межведомственных комиссий, специализированные сайты Интернета [12–14].

В разрезе используемых ракет-носителей можно выделить неудачные пуски с применением ныне снятых с эксплуатации РН «Молния-М» и «Циклон-3». Авария РН «Молния-М» 2005 года оказалась последней в истории эксплуатации данного ракетносителя. В 2010 году после пятидесяти лет использования РН «Молния-М» выведена из эксплуатации и заменена на более современную – «Союз-2» с разгонным блоком «Фрегат». Аналогичная ситуация сложилась с РН «Циклон-3», аварийный запуск 2004 года оказался последним в истории длительной успешной эксплуатации ракетносителя, и в 2010 году использование этой ракеты прекращено.

В истории использования РН «Днепр» аварийным оказался 7-й запуск в 2006 году, по состоянию на сентябрь 2014 года – единственный в практике эксплуатации РН.

«Рокот» – жидкостная ракета-носитель лёгкого класса. За период использования РН проведено 20 запусков, в числе которых 18 успешных. Неудачные запуски РН в 2005 и 2011 годах связаны с нештатной работой разгонного блока «Бриз-КМ».

Неудачи при запуске ракет-носителей семейства «Союз» за анализируемый период случались трижды. В 2009 году неудача при запуске РН «Союз 2.1а» произошла по вине разгонного блока «Фрегат». За всю

историю эксплуатации РН «Союз-У» из 770 произведенных запусков неудачными оказались 21, при этом причиной аварии 2011 года была производственная оплошность, приведшая к засорению тракта подачи топлива, что указывает на влияние человеческого фактора. Двигатель РД-0110 третьей ступени ракеты «Союз» уже не одно десятилетие серийно изготавливает Воронежский механический завод. Начиная с 60-х годов прошлого века, двигатель РД-0110 обеспечил более 1700 успешных пусков. Авария РН «Союз-2.1б» также произошла на участке работы третьей ступени РН из-за технического дефекта производства при изготовлении двигателя РД-0124 [15].

Запуски РН «Протон-М» за анализируемый период относились к числу неудачных девять раз. Нештатные ситуации на участке работы ракеты-носителя возникали трижды. В 2007 году причиной аварии стала нештатная работа второй ступени РН. Два случая в 2013 и 2014 годах связаны с человеческим фактором – небрежность работников, повлекшая дефекты при сборке. Разгонные блоки «Бриз-М» стали причиной пяти неудачных запусков с участием ракеты-носителя «Протон» с 2006 по 2012 годы. Три случая были вызваны нештатной работой разгонного блока. Причиной аварий 2011 и 2012 годов был человеческий фактор – небрежность работников, повлекшая программные

ошибки и дефекты при сборке. Авария РН «Протон» с РБ ДМ-03, произошедшая в 2010 году, также связана с человеческим фактором, проявившимся в ошибке в документации, вследствие чего ракета была перетяжелена.

РН «Волна» является «гражданской» версией межконтинентальной ракеты РСМ-50. Запуск РН производится с подводных лодок в Баренцевом море. Технические характеристики ракетоносителя значительно ограничивают возможность широкого гражданского использования. В истории эксплуатации РН четыре из пяти запусков прошли со значительными отрицательными отклонениями от планируемых результатов. После 2005 года запусков РН «Волна» не производилось.

На основе представленной в табл. 1 информации можно сделать вывод о значительном влиянии на успешность запуска качества контроля при производстве космической техники, а также человеческого фактора. Обращение к методологии управления космическими проектами и космическими рисками позволит более детально рассмотреть причины и последствия неудачных космических запусков.

Проектный подход в управлении является исторически характерным для аэрокосмической отрасли. Это обусловлено специфичными для отрасли технологичностью, наукоемкостью, а также уникальностью создаваемой продукции и высокой инновационной активностью участников космического рынка. Систематизация знаний в области управления космическими проектами и развитие методической базы в этой области знаний в свете череды неудачных космических запусков является актуальной научной задачей, востребованной космической отраслью Российской Федерации [1].

Проводя анализ неудачных космических запусков, необходимо обратиться к методологии управления рисками космических проектов. Целесообразно выявить соответствие между повлекшими отрицательные отклонения негативными событиями и группами рисков космических проектов, а также критичностью последствий проявления риска. Основным признаком классификации проектов создания космических аппаратов выступает целевое назначение космического аппарата как ключевого элемента проекта в целом.

При этом выделяются научные, оборонные, социально-экономические и КА двойного назначения. Полезным также будет анализ распределения неудачных космических запусков с точки зрения владельцев КА: национальные (запуски для российских заказчиков), с иностранным участием (как правило, запуски спутников для других государств, где Россия выступает как посредник услуг выведения), международный (как правило, научные проекты с участием России в распределении получаемых результатов). Риски космических проектов можно классифицировать по многим признакам. В рамках данного исследования интерес представляет классификация рисков по причине (природе) ущерба от риска:

1. Технические риски – риски, связанные с возможностью сбоев и поломок оборудования, недостаточностью контроля качества или наличием дефекта, не выявляемого существующими в отрасли методами контроля качества.

2. Риски, связанные с человеческим фактором – риски, связанные с возможностью принятия человеком ошибочных или алогичных решений в конкретных ситуациях. В связи с субъективным недостатком информации, физическим и психологическим состоянием человека.

3. Информационные риски – риски, связанные с объективным недостатком информации, проявляющиеся при реализации космических проектов в неизученных областях космического пространства.

4. Природные риски – риски проявления неуправляемых и непредсказуемых обстоятельств, например, столкновение с метеоритами и космическим мусором на орбите.

Критичность последствий проявления риска определяется его влиянием на результаты космического запуска и, следовательно, на результаты космического проекта в целом. Целесообразно выделить следующие виды последствий: частичная потеря функциональности, полная потеря функциональности, потеря КА. Наличие описанных выше систем классификации космических аппаратов, групп риска и критичности последствий риска позволяет классифицировать по ним отдельные параметры неудачных космических запусков (табл. 2).

Таблица 2

Классификация некоторых параметров неудачных космических запусков

Дата запуска	Наименование КА	Целевое назначение КА	Владелец КА	Группа рисков – проявление риска	Критичность последствий
24.12.2004	Сич-1М Микрон	Социально-экономическое, ДЗЗ	Украина	Технические риски – нештатная работа РН	Вывод на нерасчетную орбиту – частичная потеря функциональности
21.06.2005	Молния-3К	Двойного назначения	РФ	Риски, связанные с человеческим фактором – нарушение эксплуатационных требований	Потеря КА
21.06.2005	Космос-1	Научное	РФ–США	Технические риски – нештатная работа РН	Потеря КА
08.10.2005	Криосат-1	Научное	ЕКА	Технические риски – нештатная работа РБ	Потеря КА
28.02.2006	Arabsat 4A	Социально-экономическое	ARABSAT	Технические риски – нештатная работа РБ	Вывод на нерасчетную орбиту – полная потеря функциональности

Дата запуска	Наименование КА	Целевое назначение КА	Владелец КА	Группа рисков – проявление риска	Критичность последствий
26.07.2006	18 спутников	Научное	Белоруссия, Россия, Италия, США и пр.	Технические риски – дефект при производстве РН	Потеря КА
05.09.2007	JCSAT 11	Социально-экономическое, связь и телевидение	Япония	Технические риски – нештатная работа РН	Потеря КА
14.03.2008	Americom 14	Социально-экономическое, телевидение	США	Технические риски – нештатная работа РБ	Вывод на нерасчетную орбиту – полная потеря функциональности
23.05.2009	Меридиан-2	Двойного назначения	РФ	Технические риски – нештатная работа РБ	Вывод на нерасчетную орбиту – частичная потеря функциональности
05.12.2010	Ураган-М № 739 Ураган-М № 740 Ураган-М № 741	Двойного назначения	РФ	Риски, связанные с человеческим фактором – ошибка в документации	Потеря КА
01.02.2011	Гео-ИК-2	Научное	РФ	Технические риски – нештатная работа РБ и КА	Вывод на нерасчетную орбиту – полная потеря функциональности
17.08.2011	Экспресс-АМ4	Социально-экономическое, цифровое вещание	РФ	Риски, связанные с человеческим фактором – программная ошибка	Вывод на нерасчетную орбиту – полная потеря функциональности
24.08.2011	Прогресс-М-12М	Научное	МКС	Риски, связанные с человеческим фактором – дефект при сборке РН	Потеря КА
08.11.2011	Фобос-Грунт	Научное	РФ	Риски, связанные с человеческим фактором – воздействие внешней среды, неучтенное при проектировании КА	Потеря КА
23.12.2011	Меридиан № 15L	Двойного назначения	РФ	Технические риски – дефект при производстве РН	Потеря КА
06.08.2012	Телком-3 Экспресс-МД2	Социально-экономическое, телекоммуникация	РФ / Индонезия	Риски, связанные с человеческим фактором – дефект при производстве РБ	Потеря КА
08.12.2012	Ямал-402	Социально-экономическое, телекоммуникация	РФ	Технические риски – нештатная работа РБ	Вывод на нерасчетную орбиту – частичная потеря функциональности
02.07.2013	3 Глонасс-М	Двойного назначения	РФ	Риски, связанные с человеческим фактором – дефект при сборке РН	Потеря КА
16.05.2014	Экспресс-АМ4Р	Социально-экономическое, цифровое вещание	РФ	Риски, связанные с человеческим фактором – дефект при сборке РН	Потеря КА

В числе 19 неудачных запусков ракет-носителей 6 использовались для выведения космических аппаратов научного назначения. Потери такого характера оказывают значительное отрицательное воздействие на интенсивность научных исследований ввиду сложности и длительности создания космических аппаратов научного назначения. Кроме материальных убытков, неудачи при реализации научных проектов существенно замедляют научный прогресс. Крупные потери при неудачных запусках КА социально-экономического назначения несет и народное хозяйство, в первую

очередь, отрасль телекоммуникаций. К 8 неудачным запускам социально-экономического назначения можно прибавить 5 запусков КА двойного назначения, также способных приносить экономическую пользу при гражданском использовании с момента ввода в эксплуатацию.

Из табл. 2 видно, что основные потери от неудачных космических запусков несет государство и компании внутри России. 11 запусков относятся к национальным, в числе которых 3 запуска научных КА, 4 – социально-экономического назначения, 5 – двойного

назначения. В двух случаях потеряны аппараты научного назначения, созданные в рамках международных проектов. В 7 случаях потери понесли собственники космических аппаратов из других государств. Неудачи при таких запусках негативно отражаются на международном престиже отечественной космонавтики.

Классификация причин неудачных запусков по группам рисков показала преобладание технической группы рисков (11 из 19 случаев), оставшиеся 8 относятся к рискам, связанным с человеческим фактором. При этом хронологически на первые 6 лет анализируемого периода приходится только один случай проявления риска, связанного с человеческим фактором, и 8 рисков технического характера. С 2009 по 2014 годы выявлено 7 случаев проявления риска, связанного с человеческим фактором, и 3 – технического риска. Проявление технических рисков обычно связано с нештатной работой РН или РБ ввиду их технического несовершенства или наличия производственных дефектов, не подлежащих обнаружению существующими методами контроля качества. Проявления рисков, связанных с человеческим фактором, более разнообразны по природе, но в большинстве своем сводятся к субъективному недостатку информации (отсутствию необходимых навыков и знаний) и халатности.

Распределение по критичности последствий рисков показало, что риски, связанные с человеческим фактором, имели более критичные последствия и во всех случаях привели к потере запускаемых КА либо их полной непригодности к использованию. При проявлении же технических рисков в 3-х случаях удалось сохранить частичную функциональность КА. Это, вероятно, связано с особенностями процесса запуска космического аппарата, в ходе которого предусмотрено активное участие с Земли, и человеческие решения подлежат переосмыслению и корректированию непосредственно в процессе вывода ракеты в космос. Неизбежные технические риски нивелируются путем дублирования систем КА и создания современных систем контроля качества продукции. В результате проявляются в виде негативных событий лишь наиболее грубые недочеты, исправить которые не представляется возможным.

Заключение. Неудачи в космической деятельности являются отражением накопившихся в ракетно-космической отрасли проблем. На данный момент реализуются масштабные преобразования в ракетно-космической отрасли России. Подобные институциональные преобразования должны обеспечить условия для снижения количества неудачных космических запусков, вызванных сбоями и поломками оборудования, недостаточностью контроля качества, принятием ошибочных или алогичных решений. Помимо институционального уровня необходим пересмотр процессов управления на прикладном уровне – от отдельных рабочих мест и производственных подразделений как основных источников проявляющегося риска до взаимодействия участников при осуществлении отдельных космических проектов. Решение данной проблемы возможно путем совершенствования организации космической деятельности на основе методов проектного управления.

Библиографические ссылки

1. Беляков Г. П., Сафронов М. В. Особенности космических проектов: структура, содержание, жизненный цикл // Решетневские чтения : материалы XVII Междунар. науч. конф. (12–14 нояб. 2013, г. Красноярск). В 2 ч. Ч. 2. / под общ. ред. Ю. Ю. Логина ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2013. С. 337–338.
2. Ерыгина Л. В., Сердюк Р. С. Состояние российской ракетно-космической промышленности и тенденции её развития // Вестник СибГАУ. 2014. Вып. 1(53). С. 207–211.
3. Карпов А. С. Ракетно-космическая промышленность Российской Федерации: современное состояние и перспективы // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2008. № 12 (33). С. 43–48.
4. Медведчиков Д. А. Космический проект, его участники, космические риски и ущербы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.space-ins.ru/index.php/kategoria2/19-spaceproject> (дата обращения: 10.11.2014).
5. Nghi M. Nguyen Effective Space Project Management // Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium. Houston, 2000.
6. Пайсон Д. Б. Космическая промышленность «новая» и «старая»: уроки и перспективы совместного развития // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 16 (205). С. 2–10.
7. Preyssl Ch. The evolution and process of risk management at The European space agency ESA // International Journal of Risk Assessment & Management. 2000. Т. 1, № 1. С. 80.
8. Сафронов М. В., Харламов А. Д., Беляков Г. П. Анализ неудачных космических запусков за 2004–2014 годы // Актуальные проблемы авиации и космонавтики Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2014. № 10. С. 37–38.
9. Фионов С. А. К вопросу о построении обобщенной системы управления космическими рисками // Страховое дело. 2011. № 11. С. 54–64.
10. Филатов В. В. Особенности современного этапа развития аэрокосмической промышленности и новые требования в подготовке специалистов // Вестник СибГАУ. 2006. Вып. 5(12). С. 253–256.
11. White D., Fortune J. Current practice in project management- an empirical study // International Journal of Project Management. 2002. Т. 20, № 1. С. 1–11.
12. Роскосмос [Электронный ресурс]. URL: <http://federalspace.ru> (дата обращения: 10.11.2014).
13. Spaceflight Now [Электронный ресурс]. URL: <http://spaceflightnow.com> (дата обращения: 10.11.2014).
14. Gunter's Space Page [Электронный ресурс]. URL: <http://space.skyrocket.de/index.html> (дата обращения: 10.11.2014).
15. Кажикин А. Воронежская марка. Новые ракеты готовятся к старту [Электронный ресурс]. URL: <http://www.khrunichev.ru/main.php?id=4&nid=2430> (дата обращения: 10.11.2014).

References

1. Belyakov G. P., Safronov M. V. [Features of space projects: structure, contents, life cycle] *Materialy XV*

Mezhdunar. nauch. konf. "Reshetnevskie chteniya" [Materials XV Intern. Scientific. Conf "Reshetnev reading"]. Krasnoyarsk, 2011, p. 98–99 (In Russ.).

2. Erygina L. V., Serdyuk R. S. [Growth trends of russian space industry]. *Vestnik SibGAU*, 2014, no. 1(53), p. 207–211 (In Russ.).

3. Karpov A. S. [Aerospace industry of the Russian Federation: current status and prospects]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. 2008, vol. 33, no. 12 p. 43–48 (In Russ.).

4. Medvedchikov D. A. *Kosmicheskij proekt, ego uchastniki, kosmicheskie riski i uscherby* [Space project, its participants, space risk and injury]. Available at: <http://www.space-ins.ru/index.php/kategoria2/19-spaceproject> (access 10 November 2014).

5. Nghi M. Nguyen Effective Space Project Management. Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium. Houston, Texas, USA, 2000.

6. Pajson D. B. [Space industry "new" and "old": lessons and prospects for joint development]. *Nacional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. 2013, vol. 205, no. 16. pp. 2–10 (In Russ.).

7. Preyssl Ch. The evolution and process of risk management at The European space agency ESA. *International Journal of Risk Assessment & Management*. 2000, vol. 1, no. 1, p. 80.

8. Safronov M. V., Kharlamov A. D., Belyakov G. P. [Analysis of failed space launches for the years 2004–2014]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*. 2014, no. 10, p. 37–38 (In Russ.).

9. Fionov S. A. [To the Construction of Generalized Space Risk Management System] *Strahovoe delo*. 2011, vol. 11, p. 54–64 (In Russ.).

10. Filatov V. V. [Peculiarities of modern stage of aerospace industry development and new requirements for specialists training]. *Vestnik SibGAU*, 2006, no. 5(12), p. 253–256 (In Russ.).

11. White D., Fortune J. Current practice in project management- an empirical study. *International Journal of Project Management*. 2002, vol. 20, no. 1, p. 1–11.

12. Roskosmos, *Official site*. Available at: <http://federalspace.ru> (access 10 November 2014).

13. Spaceflight Now, *Official site*. Available at: <http://spaceflightnow.com> (access 10 November 2014).

14. Gunter's Space Page, *Official site*. Available at: <http://space.skyrocket.de/index.html> (access 10 November 2014).

15. Kazhikin A. *Voronezhskaja marka. Novye rakety gotovjatsja k startu* [Voronezh mark. The new rocket is ready for launch]. Available at: <http://www.khrunichev.ru/main.php?id=4&nid=2430/> (accessed 10 November 2014).

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА

Е. В. Белякова, Р. А. Беляков

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: ev_belyakova@rambler.ru

В современных условиях технологическое развитие предприятий промышленного комплекса регионов Российской Федерации является одним из основополагающих факторов роста национальной экономики. Обеспечение непрерывного обновления технической и технологической базы, а также создание новых видов продукции и услуг возможно только при реализации инновационного пути развития промышленности на федеральном и региональном уровнях. Управление технологическим развитием промышленного комплекса является недостаточно изученной областью российского менеджмента. Рассмотрение данной проблемы актуально с позиций практики, нуждающейся в научно обоснованных методических рекомендациях, позволяющих повысить эффективность потенциала промышленных предприятий, ускорить их технологическое развитие и обеспечить конкурентоспособность.

Выделены факторы, оказывающие влияние на развитие промышленности. Рассмотрены подходы к толкованию терминов «промышленный комплекс» и «технологическое развитие». Раскрыто понятие технологического развития промышленного комплекса региона. Сформулированы принципы формирования стратегии технологического развития промышленного комплекса региона. Выявленные в исследовании принципы промышленного и инновационного развития позволят расширить масштабы создания высокотехнологичных производств в регионе.

Ключевые слова: региональная экономика, промышленный комплекс, технологическое развитие, инновации, технологии, принципы развития.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 216–220

FORMATION PRINCIPLES OF THE STRATEGY OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT FOR THE REGIONAL INDUSTRIAL COMPLEX

E. V. Belyakova, R. A. Belyakov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: ev_belyakova@rambler.ru

In current conditions the technological development of industrial complex regions of the Russian Federation is one of fundamental factors of national economic growth. Providing continuous updates of technical and technological base and creation of new products and services is only possible with the implementation of innovative development of industry, both at the Federal and regional levels. Management of technological development of industrial complex is a poorly understood field of Russian management. The review of this problem is relevant from the position of practices, needed of evidence-based guidelines enables to increase the efficiency potential of industrial enterprises, to accelerate technological development and to ensure competitiveness.

In the article the factors which influence the development of industry are selected. The approaches to interpretation of terms 'industrial complex' and 'technological development' are investigated. The concept of technological development of regional industrial complex is disclosed. The principles of formation the strategy of technological development for regional industrial complex, with special focus on integration in industry and science are formulated. Besides, when setting the strategy for scientific and technological development is especially important, that public will be ready to change and actively support them. The necessity of transition to the principles of best available technologies is justified. Identified principles of industrial and innovative development will expand the scale of creation of high-tech industries in the region.

Keywords: regional economics, industrial complex, technological development, innovation, technology, development principles.

Введение. Важнейшим сектором экономики ведущих развитых стран мира была и остается промышленность. Именно высокоразвитая и глубокоспециализированная промышленность обеспечивает им лидирующие позиции в мировой экономике и международных экономических отношениях. В свою очередь, технологическое развитие – это важнейший фактор экономического роста, конкурентоспособности национальных экономик этих стран и их экономической безопасности.

Стоит отметить, что промышленность России имеет сложную диверсифицированную и многоотраслевую структуру, которая отражает изменения в развитии производительных сил, в совершенствовании территориального разделения общественного труда, связанную с научно-техническим прогрессом, особое место в которой отводится ракетно-космической промышленности – одной из наиболее сложных наукоемких отраслей машиностроения.

В настоящее время возможен только инновационный путь развития промышленности как на федеральном, так и региональном уровне, что позволит предприятиям обеспечивать непрерывное обновление технической и технологической базы, создавать новые виды продукции и услуг, тем самым увеличивая эффективность и конкурентоспособность своего производства.

На современном этапе инновационно-технологическое состояние регионов России имеет тенденции и закономерности, которые отражают их отставание как от ведущих стран мира, так и от стран Центрально-Восточной Европы по показателям инновационной активности предприятий, технологическому уровню производства, технологической восприимчивости и др.

Поэтому актуальной является задача разработки и внедрения методического инструментария управления технологическим развитием на региональном уровне, что будет способствовать внедрению современных методов организации деятельности предприятий промышленного комплекса региона.

Подходы к определению технологического развития промышленного комплекса региона. Анализ научной литературы [1–4] позволил выделить ряд факторов, оказывающих влияние на развитие промышленности:

- научно-технический прогресс, под воздействием которого образуются новые отрасли промышленности и производства;

- экономическая политика государства, реализация которой позволяет поддерживать отдельные, наиболее значимые в экономическом и социальном плане отрасли промышленности и тем самым влиять на темпы их развития;

- обеспеченность ресурсами. Следует отметить, что природные ресурсы являются необходимым, но необязательным условием развития экономики. Подтверждением служит быстрое развитие за счет достижений научно-экономического прогресса стран, где отсутствуют необходимые полезные ископаемые (Япония, Южная Корея, Сингапур). Но при прочих равных условиях наличие богатых и разнообразных

природных ресурсов дает их обладателям дополнительные преимущества;

- традиционно сложившаяся специализация;
- отраслевая структура капитальных вложений, финансируемых из различных источников.

Повышение эффективности и конкурентоспособности российской промышленности невозможно без технологических, организационных и управленческих изменений, обеспечивающих развитие и конкурентное преимущество перспективных отраслей промышленного комплекса.

В научной литературе имеются различные подходы к толкованию терминов «промышленный комплекс» и «технологическое развитие». Под комплексом понимается совокупность определенных групп отраслей, для которых характерны выпуск схожей (родственной) продукции или выполнение работ (услуг) [4].

Как отмечает В. С. Трохимирчук [5], промышленный комплекс – это совокупность предприятий промышленности, расположенных на одной территории, в их тесной технологической взаимосвязи и взаимодействии. Благодаря рациональному подбору этих предприятий взаимосвязанных отраслей и производств, обеспечению экономически эффективных пропорций в их развитии и оптимизации размера предприятий, имеющихся природных и экономико-географических условий и особенностей достигается наибольшее развитие производительных сил и максимизация экономического эффекта.

Под отраслевой структурой промышленности понимаются состав отраслей или комплексов, входящих в промышленность, и их доля в общем объеме промышленного производства.

Промышленный комплекс региона ограничен пространством региона, внутри которого он образуется, т. е. граница региона является границей соответствующего промышленного комплекса, а промышленные предприятия, расположенные на территории региона, следует рассматривать как автоматически входящие в его промышленный комплекс [6].

Исследования российской промышленности, проведенные в 2009 году крупнейшей консалтинговой компанией, показали, что для выведения на рынок современных, инновационных продуктов предприятия нуждаются в кардинальной модернизации применяемой техники и технологий, т. е. в технологическом развитии.

Понятие технологического развития берет свои истоки в теории социотехнических систем (sociotechnical systems theory), согласно которой организация, стремящаяся к достижению успеха, должна обеспечить гармоническое единство социальной и технической систем с учетом целей и изменяющихся внешних условий [7]. Развитие научно-технического и, как следствие, технологического потенциала страны объективно предопределяется логикой, динамикой и закономерными тенденциями мирового научно-технического прогресса.

По мнению Ж. А. Ермаковой, [1] под технологической модернизацией следует понимать процесс перевода общественного производства, и прежде всего промышленного комплекса, на высокотехнологичный

уровень с целью достижения наибольшего технологического соответствия различных производственных звеньев максимально высокому уровню (определенной технологической однородности или нормальной технологической многоукладности).

С. А. Семагин в своем исследовании определяет технологическую модернизацию промышленности как форму реализации конкурентоспособности различных хозяйственных систем, создаваемых путем обновления производственного аппарата, замены устаревшего оборудования и технологий сферы материального производства на современные, более эффективные [8].

На основании проведенного исследования, под *технологическим развитием* промышленного комплекса можно понимать процесс перевода совокупности предприятий промышленности, расположенных на одной территории, в их тесной технологической взаимосвязи и взаимодействии, на высокотехнологичный уровень с целью достижения наибольшего технологического соответствия различных производственных звеньев максимально высокому уровню.

Принципы и подходы к формированию стратегии технологического развития промышленного комплекса региона. Мировой опыт экономического развития позволил выработать ряд важнейших объективных принципов функционирования экономических систем: это эффективность, воспроизводственная направленность и социальная ориентированность. Их нарушение приводит к дестабилизации экономики, производственным спадам и кризисам. Однако применительно к отдельным регионам данные принципы требуют соответствующего уточнения и дополнения.

Среди основных принципов, которые должны лежать в основе формирования стратегии технологического развития промышленного комплекса региона, можно выделить следующие [9; 10]:

1. Научная обоснованность – выражается в научно обоснованном использовании инструментов и методов при принятии решений, имеющих существенное значение для разрабатываемых стратегий, при этом необходимо учитывать существующие законы и тенденции развития промышленного комплекса региона.

2. Учет научно-технического прогресса – предполагает проведение учета непрерывного изменения, развития и совершенствования средств труда, технологии и организации производства.

3. Иерархичность – заключается в построении взаимосвязанных стратегий предприятий промышленного комплекса региона со стратегией развития данного региона и государства в целом.

4. Целенаправленность – предполагает определение и структурирование целей и задач, соответствующих предмету исследования, учитывающих региональные особенности и обеспечивающих решение выявленных проблем.

5. Оптимальность – заключается в нахождении наилучшего варианта стратегии технологического развития промышленного комплекса региона из всего множества допустимых решений.

6. Альтернативность – предполагает выбор оптимального решения из всего множества допустимых альтернатив.

7. Релевантность – реализуется на двух уровнях: первый означает необходимость учета наиболее значимых факторов при разработке стратегии технологического развития промышленного комплекса региона; второй предполагает большую детализацию и поиск оптимальных решений для тех составляющих стратегии, которые имеют существенное значение для достижения ее целей и задач.

8. Критериальность – заключается в разработке критериев, отражающих степень достижения как локальных целей и задач стратегии технологического развития промышленного комплекса региона, так и глобальных.

9. Декомпозируемость – заключается в необходимости структурирования целей и задач стратегии технологического развития промышленного комплекса региона.

Теоретико-методологические исследования ряда российских ученых позволяют дополнить рассмотренные принципы и выделить подходы к разработке стратегии технологического развития промышленного комплекса региона [11–13].

Одним из принципов разработки промышленной политики региона является ее социальная ориентированность. Предлагаемые технологические изменения должны соответствовать интересам общества в целом. При постановке стратегии научно-технического развития особенно важно, чтобы население было готово к преобразованиям и активно их поддерживало. Для этого необходимо: максимальное разъяснение целей и способов их достижения, сути осуществляемой стратегии; осуществление стратегии под непосредственным контролем общества; получение непосредственных результатов в краткосрочном периоде. Поэтому следующим принципом должен стать принцип промежуточных целей, по которым как инициаторы стратегии, так и население непосредственно смогут контролировать правильность направлений и методов и осуществлять необходимую корректировку.

Переход на инновационный путь развития экономики региона предполагает изменение и материально-технической базы, результатом которого должно стать инновационное обновление используемых технологий и производимой продукции. Для этого необходима интеграция промышленности и сферы науки, информации и изобретений.

Кроме того, при формировании стратегии технологического развития следует учесть фактор предпринимательства, ведь как показывает опыт развитых стран, именно предпринимательские структуры являются инициаторами инновационных преобразований.

Следующим принципом формирования стратегии технологического развития промышленного комплекса региона должно стать воссоздание процесса устойчивого воспроизводства. Оно должно быть не просто расширенным, но и обеспечивать структурную перестройку производственного комплекса региона, что позволит наращивать его экономический потенциал на новой технической основе, прогрессивные структурные сдвиги в общественном производстве. Особенно это актуально для регионов сырьевой направленности, где приоритетной задачей становится развитие обрабатывающего сектора промышленности.

Дополняя рассмотренные принципы и подходы к выработке стратегии технологического развития региона, можно согласиться с мнением В. Кушлина о важной роли экспертов [14]. Он указывает, что вопрос выработки и обоснования рациональной экономической стратегии, а следовательно, и стратегии технологического развития как ее составляющей, зависит от положения дел в экспертном сообществе. Отвечающая долговременным интересам страны стратегия, по мнению В. Кушлина, будет формироваться и реализовываться только в том случае, если у нас станет нормой поощрение притока в экспертную среду творческих сил из регионов страны (через свободные конкурсы по выявлению талантов в среде студенчества, научных работников, молодых специалистов на предприятиях).

Кроме того, при разработке стратегии необходимо учесть комплекс мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, утвержденных распоряжением Правительства РФ от 19.03.2014 г. № 398-р, приоритетным направлением должен стать переход на принципы наилучших доступных технологий (НДТ), т. е. технологий, основанных на последних достижениях науки и техники, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду и имеющих установленный срок практического применения с учетом экономических и социальных факторов [15].

Для применения НДТ в регионах России требуется закон, вводящий механизмы общественного обсуждения принимаемых административных решений, гарантирующий учет и судебную защиту прав заинтересованных сторон, а также создание региональных органов для выдачи комплексных разрешений и контроля за соблюдением их требований.

При разработке стратегии технологического развития промышленного комплекса региона должны быть учтены целевые установки экономической стратегии России на средне- и долгосрочный период.

Также можно выделить еще один принцип формирования стратегии технологического развития – прогнозирование и учет социальных последствий разрабатываемых преобразований.

Заключение. Таким образом, для регионов, формирующих инновационную модель развития, необходимо при внедрении высокотехнологичных производств ориентироваться на реализацию принципов функционирования экономических систем и в своей стратегии развития предусматривать максимальное использование преимуществ комплексных программ. Ракетно-космическая отрасль имеет высокую конкурентоспособность и потенциал развития и может стать основой промышленного развития отдельных регионов. Так, в г. Железногорске создается кластер инновационных предприятий на базе ОАО «ИСС», позволяющий реализовать основные принципы взаимодействия крупных и малых высокотехнологичных инновационных предприятий. Особое значение для реализации стратегии развития города приобретает принцип критериальности, определяющий основные цели и направления развития. Для территорий инновационного развития, к которым относится г. Желез-

ногорск, важно обеспечить устойчивое воспроизводство через комплексное решение социально-экономических задач, стоящих перед предприятиями и органами государственного управления. Выявленные в исследовании принципы промышленного и инновационного развития позволят расширить масштабы создания высокотехнологичных производств в регионе.

Библиографические ссылки

1. Ермакова Ж. А. Технологическая модернизация промышленности России: стратегия и организационно-экономические факторы (региональный аспект) : монография. Екатеринбург : Ин-т экономики УрО РАН, 2007. 360 с.
2. Волостнов Б. И., Кузьмицкий А. А., Поляков В. В. Инновационно-технологическое развитие: стратегии, приоритеты, закономерности. М. : Ваш полиграфический партнер, 2011. 352 с.
3. Владимирова О. Н. К вопросу о классификации факторов формирования инновационной восприимчивости региона // Корпоративные финансы. 2011. № 2 (18). С. 15–20.
4. Фоломьев А. Н. Научный и научно-технический потенциал: Содержание и способы его измерения // Экономический потенциал России: его развитие и эффективное использование : сб. науч. ст. 2009. № 3. С. 25–30.
5. Трохимчук С. В. Развитие промышленного комплекса на основе инновационного проектирования (на материалах лесопромышленного комплекса) : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05. СПб., 2012. 18 с.
6. Сергеев И. В. Экономика предприятия : учеб. пособие. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bibliotekar.ru/economika-predpriyatiya-5/22.htm> (дата обращения: 02.05.2014).
7. Общие условия технологического развития промышленности. [Электронный ресурс] URL: <http://www.selezh-elektro.ru/info/obshie-usloviya-tehnologicheskogo-razvitiya-promishlennosti5> (дата обращения: 02.05.2014).
8. Семагин С. А. Повышение эффективности инвестиций в технологическую модернизацию промышленности : автореф. дис. канд. ... экон. наук. М., 2006. 175 с.
9. Бойко А. А. Методологические принципы планирования инновационного воспроизводства основных производственных фондов предприятий ракетно-космической промышленности // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 4 (44). С. 194–198.
10. Ерыгин Ю. В. Планирование устойчивого инновационного развития предприятий ОПК: методология и инструментарий : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск : Город, 2005. 200 с.
11. Львов Д. С. Управление научно-техническим развитием // Проблемы теории и практики управления. 2005. № 2. С. 3–12.
12. Кузнецов А. В. Принципы и факторы управления технологическим развитием промышленности в условиях экономической интеграции // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2008. № 55. С. 185–196.

13. Ершов М. Е. Важнейшие механизмы экономической политики // МЭиМО. 2004. № 6. С. 3–12.

14. Кушлин В. И. Выбор инновационных макростратегий в свете длинных волн // Проблемы теории и практики управления. 1992. № 3. С. 25–30.

15. Природоохранное оборудование. Принцип наилучших доступных технологий. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ebiur.ru/services/5-28.html> (дата обращения: 05.06.2014).

References

1. Ermakova Zh. A. *Tekhnologicheskaja modernizacija promyshlennosti Rossii: strategija i organizacionno-jekonomicheskie faktory (regional'nyj aspekt): monografija* [Technological modernization of Russian industry: strategy and organizational-economic factors (regional aspect)]. Ekaterinburg: Institute of Economics UrO RAN Publ., 2007, 360 p.
2. Volostnov B. I., Kuz'mickij A. A., Poljakov V. V. *Innovacionno-tehnologicheskoe razvitie: strategii, prioritety, zakonovernosti* [Innovation and technological development: strategies, priorities, patterns]. Moscow: Vash poligraficheskij partner Publ., 2011, 352 p.
3. Vladimirova O. N. [To the question of classification of factors affecting innovation region] *Korporativnye finansy* 2011, no 2 (18), p. 15–20. (In Russ.).
4. Folom'ev A. N. [Scientific and scientific-technical potential: the Content and methods of its measurement]. *Ekonomicheskij potentsial Rossii: ego razvitie i effektivnoe ispol'zovanie : sb. nauch. st.* Moscow, Izd-vo RAGS Publ., 2009, no 3, p. 25–30 (In Russ.).
5. Trohimchuk S. V. *Razvitie promyshlennogo kompleksa na osnove innovacionnogo proektirovanija (na materialah lesopromyshlennogo kompleksa). Avtoref. Dis. Kand. Ekon. Nauk:* [Development of the industrial complex on the basis of innovative design. Author. dis. Cand. ehkon. Sciences]. St. Petersburg, 2012, 18 p.
6. Sergeev I. V. *Ekonomika predpriyatiya : ucheb. posobie*. [Business Economics: textbook the allowance]. Available at: <http://www.bibliotekar.ru/economika-predpriyatiya-5/22.htm> (accessed 02.05.2014).
7. *Obshchie usloviya tekhnologicheskogo razvitiya promyshlennosti* [General conditions of technological development of the industry]. Available at: <http://www.selezh-elektro.ru/info/obshie-usloviya-tehnologicheskogo-razvitiya-promishlennosti5> (accessed 02.05.2014).
8. Semagin S. A. *Povyshenie jeffektivnosti investicij v tekhnologicheskiju modernizaciju promyshlennosti: avtoref. dis. kand. ekon. nauk* [Improving the efficiency of investment in technological upgrading of industry/ Author. dis. Cand. ehkon. Sciences]. Moscow, 2006, 175 p.
9. Bojko A. A. [Methodological principles of planning of innovative reproduction of fixed assets of enterprises of rocket and space industry]. *Vestnik SibGAU*, 2012, no 4 (44), p. 194–198 (In Russ.).
10. Erygin Ju. V. *Planirovanie ustoychivogo innovatsionnogo razvitiya predpriyatiy OPK: metodologiya i instrumentarij* [Planning for sustainable innovative development of military-industrial enterprises; methodology and tools]. Krasnoyarsk, Sib. gos. aerokos-mich. un-t, Gorod publ., 2005, 200 p.
11. L'vov D. S. [Management of scientific-technical development]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 2005, no 2, p. 3–12 (In Russ.).
12. Kuznecov A. V. [Principles and management factors technological development of the industry in terms of economic integration]. *Izvestija Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A. I. Gercena*, 2008, no 55, p. 185–196 (In Russ.).
13. Ershov M. E. [The most important mechanisms of economic policy]. *MJEiMO*, 2004, no 6, p. 3–12 (In Russ.).
14. Kushlin V. I. [Selection of innovative macrostrategy in light of the long waves]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 1992, no 3, p. 25–30 (In Russ.).
15. *Prirodookhrannoe oborudovanie. Printsip nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy* [Environmental equipment. The principle of best available technologies]. Available at: <http://www.ebiur.ru/services/5-28.html> (accessed: 05.06.2014).

**ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО
ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
СОЗДАНИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**Г. Я. Белякова¹, А. Н. Фалалеев², Н. А. Шишкина¹¹Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79
E-mail: belyakova.gya@mail.ru²Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89

Становление российской инновационной экономики происходит в условиях нестабильности, слабости рыночных институтов, немотивированности участников инновационного процесса. Недостаточно проработаны проблемы формирования стратегии инновационного развития, прежде всего методологически и концептуально. Основа формирования определена, но создание конкурентоспособной модели пока только в стадии стратегического приоритета, в связи с чем требуется ряд серьезных конкретных мероприятий в данном направлении.

В последнее десятилетие большинство развитых стран рассматривают инновации не только как важнейший фактор социально-экономического развития, но и как определяющее условие конкурентного позиционирования страны. Инновационное развитие экономики предполагает формирование направлений развития отраслей и предприятий на основе инноваций, обеспечивающих устойчивый экономический рост, повышение производительности и добавленной стоимости. В современных условиях экономического развития Правительством Российской Федерации для построения инновационной экономики поставлена задача по индустриализации страны, в рамках которой необходимо создавать и развивать высокотехнологичные и наукоемкие предприятия, отвечающие или превосходящие современные мировые стандарты и требования. Рассмотрены факторы, оказывающие влияние на качество инновационно-инвестиционных проектов создания высокотехнологичных производств. Представленные факторы разделены на три группы: технологические, экологические и экономические. Дан анализ их влияния. Обозначены причины возникновения сложной ситуации в создании высокотехнологичных производств.

Ключевые слова: высокотехнологичное производство, инновационная экономика, качество инновационно-инвестиционных проектов, экологические, технологические, экономические факторы.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 221–226**THE FACTORS HAVING IMPACT ON INNOVATIVE
AND INVESTMENT PROJECTS QUALITY OF HI-TECH PRODUCTIONS CREATION**G. Y. Belyakova¹, A. N. Falaleev², N. A. Shishkina¹¹Siberian Federal University
79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
E-mail: belyakova.gya@mail.ru²Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astaf'ev
89, Ada Lebedeva str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

The Russian innovative economy formation happens in the conditions of instability, market institutes weakness, not innovative process participants motivation. Strategy formation problems of innovative development, first of all methodologically and conceptually aren't rather worked. The basis of formation is defined, but competitive model creation so far only in a stage of a strategic priority in this connection, a number of serious concrete actions in this direction is required. In the last decade the majority of the developed countries consider innovations not only as the most important factor of social and economic development, but also as the defining condition of the country competitive positioning. Economy innovative development assumes formation of the branches and enterprises development directions on the basis of the innovations providing sustained economic growth, productivity increase and a value added. In modern conditions of economic development by the Russian Federation Government for innovative economy creation the country industrialization task within which it is necessary to create and develop the hi-tech and knowledge-intensive enterprises answering or surpassing the modern international standards and requirements is set. In work the factors having impact on innovative and investment projects quality of hi-tech productions creation are considered. The presented

factors are divided into three groups: technological, ecological and economic. The analysis of their influence is given. The reasons of a difficult situation emergence in hi-tech productions creation are designated.

Keywords: hi-tech production, innovative economy, innovative and investment projects quality, ecological, technology, economic factors.

Введение. Ситуация на мировом рынке высокотехнологичной продукции определяется высоким уровнем и положительной динамикой развития высокотехнологичных производств основных стран-экспортеров, которые, в свою очередь, стимулируют развитие смежных отраслей промышленности. В последние десятилетия в структуре мировой экономики наметились две основные тенденции. Во-первых, увеличение доли высокотехнологичных отраслей за счёт сокращения доли отраслей, где высококвалифицированный персонал используется в меньшей степени. Во-вторых, опережающий рост сектора услуг, в том числе высокотехнологичных. Именно услуги стали движущей силой экономического роста в большинстве стран и играют все большую роль при внедрении инноваций в промышленность. России в этом разделении специализаций отводится противоречивая роль. С одной стороны, Российская Федерация известна на мировом рынке как государство с высоким научно-техническим потенциалом, с другой – характеризуется как технологически отсталая. Сегодня лишь 5 % промышленных предприятий (по данным Госкомстата РФ) осуществляют разработку и освоение инноваций. На мировом рынке высокотехнологичной продукции Российская Федерация занимает 0,3 % в основном в секторе ядерных технологий [1], оборонной промышленности, производстве ракетных двигателей и спутников, создании телекоммуникационной и навигационной инфраструктуры.

По данным Всемирного банка, динамика ежегодного российского экспорта высокотехнологичной продукции находилась в пределах около 3 млрд долл., что в пять раз меньше, чем Таиланд, в десять раз меньше, чем КНР, и в 14 раз меньше, чем Республика Корея [1]. Причем доля России к уровню экспорта США составляет около 2 %, Японии и Германии – 3 %, Франции и Великобритании – 7 % [1]. Увеличивающийся негативный разрыв в темпах роста экспорта высокотехнологичной продукции в результате ведет к значительным экономическим потерям.

Создание высокотехнологичных производств является одним из важнейших мировых трендов, находящихся во взаимосвязи с национальными трендами в области научно-технического комплекса и оказывающих прямое воздействие на формирование государственной стратегии Российской Федерации. В современных условиях глобальной конкуренции достигнуть уровня высокоразвитых стран по таким критериям, как благосостояние и эффективность, не реализуя инновационные проекты по созданию высокотехнологичных производств, которые соответствовали бы актуальным требованиям по экологическим, техническим и социально-экономическим параметрам, представляется проблематичным [2; 3]. В Концепции до 2020 года [4] рассматриваются наиболее важные вопросы, связанные с проблемой перехода России на

инновационный путь развития. Согласно документу, инновационное развитие отечественной экономики в период с 2008 по 2020 годы будет проходить в 2 этапа.

Первый этап, периодизация которого лежит в рамках с 2008 по 2012 годы, базируется на реализации и расширении конкурентных преимуществ на глобальном рынке в наиболее перспективных сферах, таких как энергетическая отрасль, транспортный и аграрный сектор, переработка природных ресурсов. Предполагается, что параллельно будет проходить процесс создания институциональных условий и технологических заделов. На следующем этапе это позволит обеспечить системный перевод отечественной экономики в режим инновационного развития. Качественным показателем развития инновационной системы будут выступать расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (частные и государственные расходы) – 1,4–1,6 % от ВВП [4].

Второй этап проводится в период с 2013 по 2020 годы. Осуществляется комплекс мероприятий для трансформации экономики на обновленную технологическую базу, изменение качества человеческого потенциала и качественно новое состояние социальной среды [4]. На данном этапе должен проходить процесс интегрирования отечественной инновационной системы в глобальную, а именно, увеличение доли отечественных предприятий на мировых рынках высокотехнологичной продукции, а также фокусирование отраслей экономики знаний и высокотехнологичных производств как ключевых факторов экономического роста. Качественным показателем развития системы будет выступать увеличение расходов на НИОКР, которые составят 3 % ВВП [4].

Переход к инновационному развитию предполагает создание новой технологической базы, в частности, в Концепции решение проблемы отставания страны в развитии новых технологий ожидается при решении следующих задач: во-первых, формирование комплекса наукоемких отраслей и расширение позиций на мировых рынках высокотехнологичной продукции, во-вторых, модернизация традиционных отраслей экономики. Главным образом, задача российской экономики сводится к обеспечению мировой конкурентоспособности, т. е. должна быть обеспечена конкурентоспособность отечественных товаропроизводителей на внутреннем рынке в первую очередь. Это объясняется тем, что освоение масштабов региональных рынков по высокотехнологичным товарам и услугам позволит обеспечить достаточно высокий статус в мировом масштабе. Более того, в долгосрочной перспективе страна остается одним из крупнейших поставщиков сырья и энергоносителей. Поэтому государственная политика не должна быть направлена только на создание узкого комплекса высокотехнологичных отраслей, в свою очередь, требуется всю промышленность структурировать в виде множества комплексов наукоемких производств.

Таким образом, в ключевых положениях Концепции [4] определено, что инновационные проекты по созданию высокотехнологичных производств рассматриваются как основной фактор социально-экономического развития России. Отмечается, что трансформация экономики на инновационный тип развития трудноосуществима без формирования в глобальном масштабе конкурентоспособной инновационной экономической системы, для создания которой необходимо повышение спроса на инновации, увеличение эффективности сектора генерации знаний. Основной причиной отставания страны в области инновационного развития является низкая эффективность коммерциализации результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. Здесь можно выделить следующие причины: ограниченный внутренний и внешний спрос на отечественные инновации. Недостаточность внешнего спроса можно объяснить отсутствием рыночной ниши отечественной инновационной экономики в глобальной сложности, системности в сопровождении инноваций, начиная с этапа получения патента, подготовки бизнес-планов и этапа коммерциализации. Внутренний спрос ограничен несовершенством отечественной системы защиты авторских прав, низкой результативностью финансирования инновационно-инвестиционных проектов с помощью как бюджетных механизмов, так и частных.

Важнейшей проблемой инновационного развития, с одной стороны, является низкая заинтересованность бизнеса в производстве полного инновационного цикла, а с другой стороны, отсутствие активного сотрудничества и партнерства между бизнесом, наукой и государством.

Вопросы государственно-частного партнерства в области реализации инновационных проектов обозначены в ряде проектных документов. С помощью данного механизма реализуются инновационные проекты, значимые для государства и основанные на долевым финансировании за счет средств федерального бюджета, а также обеспечивается проведение научных исследований при производстве и выпуске высокотехнологичной продукции. Перспективными направлениями развития государственно-частного партнерства выступают [4–9]:

- 1) формирование технико-внедренческих зон, предусматривающих существенные льготы инновационным компаниям, центров трансфера технологий технопарковых структур, бизнес-инкубаторов при высших учебных заведениях, центров коллективного пользования исключительным оборудованием в рамках действия ФЗ «Об особых экономических зонах в РФ»;
- 2) доленое финансирование национальных проектов;
- 3) создание современной системы институтов предпосевного и посевного финансирования инновационных проектов, государственной корпорации на базе Внешэкономбанка, ОАО «РОСНАНО», венчурных фондов с государственным участием;
- 4) развитие инновационного центра «Сколково» в соответствии с Федеральным законом № 244-ФЗ «Об инновационном центре «Сколково» с особым

правовым режимом, сводящим к минимуму для предприятий-резидентов как налоговое бремя, так и административные барьеры;

5) создание национального исследовательского центра «Курчатовский институт» и формирование в России сети национальных исследовательских центров по актуальным направлениям развития техники и науки в России;

6) развитие наукоградов – город Дубна, Обнинск – с целью привлечения частных инвестиций, в том числе иностранных.

Несмотря на отмеченные успехи в сфере реализации государственной экономической и инновационной политики, в настоящее время темпы модернизационных и инновационных преобразований в стране не достигают необходимого уровня. Это находит свое отражение в следующих показателях [3; 10]:

- несопоставимый удельный вес инновационно активных предприятий (9,2 %, при этом в Германии – около 80 %, Финляндии – свыше 50 %, Литве – свыше 30 %);
- незначительная доля России в мировом наукоемком экспорте продукции гражданского назначения (0,5 %, тогда как доля США – 36 %, Японии – 30 %, Германии – 16 % и Китая – 6 %);
- недостаточные величины затрат на модернизацию и технологические инновации в промышленности, явно несоизмеримые с существующими потребностями экономики страны в увеличении ассортимента качественно новой конкурентоспособной продукции.

Рассмотренные трудности становления инновационной экономики определяют необходимость реализации в отечественной практике такой стратегии, позволяющей осуществить структурную перестройку на базе модернизационных изменений, тем самым сократить технологическое отставание России от наиболее развитых стран. В настоящее время в отечественной практике рабочей группы при Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям в области развития частно-государственного партнерства в разрезе создания национальной инновационной системы был разработан проект перечня пилотных программ развития инновационных территориальных кластеров, обеспечивающих постепенное формирование конкурентоспособного инновационного сектора. Выделенные 25 инновационных территориальных кластеров находятся в регионах с наибольшим уровнем сосредоточения производственной и научно-технической деятельности. В их число входят, в частности, ряд наукоградов и территорий базирования особых экономических зон, закрытых территориальных образований, территории в составе Хабаровского и Алтайского краев, Архангельской области, Республика Мордовия и Башкортостан.

В рамках пилотных программ развития инновационных территориальных кластеров реализуемые инновационные проекты планируется поддерживать путем включения их в состав федеральных целевых программ. Согласно государственной программе по экономическому развитию и инновационной экономике в результате ее реализации прогнозируются следующие результаты [10]:

– возрастет удельный вес организаций, реализующих технологические инновации, с 9,2 % в 2012 году до 25 % в 2020 году;

– увеличится число создаваемых малых инновационных предприятий при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере с 490 единиц в 2012 году до 850 единиц в 2020 году;

– расширится список регионов, которые получают финансовую поддержку в рамках различных федеральных программ по стимулированию инновационной деятельности, к 2020 году их число возрастет до 15 единиц;

– увеличится число инновационных кластеров, которые в настоящий момент уже получают федеральную помощь, до 7 единиц к 2020 году;

– увеличится доля заявок на государственную регистрацию интеллектуальной собственности, поданных в электронном виде, с 3 % в 2012 году до 7 % в 2020 году [11; 12].

По данным Министерства экономического развития на 2011 год доля высокотехнологичного сектора [13] в показателе валового внутреннего продукта составляла менее 1 %, тогда как в развитых странах данный параметр определяется выше 2 % [1]. Исследователи отмечают, что интенсивная реализация государственных программ развития высокотехнологичных отраслей позволит нарастить долю в ВВП до 2 % к 2020 году [1]. Стратегическое развитие наукоемких отраслей тесно связано с глобализационными процессами, включая научно-технологические тренды:

– переход к экономике знаний как основы устойчивого экономического развития [14];

– повсеместное распространение технологий «бережливого производства», повышение значимости сохранения источников энерго- и ресурсобеспечения [15];

– повышение качества жизни за счет внедрения ресурсосберегающих инновационных технологий;

– усиление экологических ограничений для обеспечения экологической и энергетической безопасности;

– динамичное развитие рынка нанобиоинформативных технологий, позволяющих обеспечить переход на новый уровень качества жизни;

– развитие научного потенциала как значимого компонента технологического развития для обеспечения глобальных конкурентных преимуществ.

В ходе исследования на основе изучения глобальных трендов [16; 17], которые будут в различной степени влиять на научно-технологическое развитие России, были выявлены и систематизированы следующие факторы, влияющие на качество инновационно-инвестиционных проектов создания высокотехнологичных производств (см. рисунок):

– экологические: ужесточение экологических стандартов в отечественной и мировой практике; требования энергетической и экологической безопасности; повышение роли населения через общественные экологические экспертизы и др.;

– технологические: необходимость достижения лучших параметров в области энерго- и материалоемкости, производительности труда, использования новейших информационно-телекоммуникационных технологий;

– экономические: обеспечение конкурентоспособности на мировом и отечественном рынках; опережение по уровню добавленной стоимости в производстве.

Технологические факторы



Схема факторов, влияющих на создание высокотехнологичного производства

Рассмотренные факторы оказывают непосредственное влияние на учет качественных характеристик проектов в концептуальном подходе к оценке их качества.

Заключение. Одной из главных причин сложившейся ситуации в области создания высокотехнологичных производств является, во-первых, низкий уровень инвестиций в инновации, которые позволили бы обеспечивать непрерывное обновление технической и технологической базы производства, снижать себестоимость, осваивать и выпускать новую конкурентоспособную продукцию, проникать на мировые рынки товаров и услуг. Поэтому не менее важным в процессе повышения инвестиционной активности в России является решение вопросов, связанных с развитием конкуренции. Отсутствие эффективного взаимодействия между наукой, государством и бизнесом также определяется низкой мотивацией субъектов отечественной инновационной экономики, проблема формирования которой основывается, прежде всего, на том, что основные субъекты инновационного процесса не мотивированы на осуществление данного вида рискованной деятельности.

Во-вторых, низкая результативность механизма трансфера знаний и новых технологий на глобальный рынок, неравномерность в изменении некоторых составляющих частей инновационной инфраструктуры, нехватка эффективного экономического взаимодействия между ними. В результате, можно наблюдать процесс имитирования отечественными предприятиями инновационной деятельности, которое проявляется в краткосрочности расходов на исследования и разработки, чаще менеджеры предприятий принимают решения о приобретении машин и оборудования, в связи с чем появляется необходимость модернизации. Более рационально вкладывать денежные средства в технологии и собственные разработки. В Концепции до 2020 года [4] инструменты заимствования обозначены недостаточно подробно. Например, не акцентируется внимание на том, что в стране функционируют около 60 государственных научных центров, задачи которых заключаются в том, чтобы выявлять, какие именно технологии необходимо заимствовать, как их адаптировать к отечественным условиям, а затем и применять. Важно понимать, что процесс заимствования технологий может осуществляться параллельно с использованием отечественного инновационного потенциала в наращивании конкурентных преимуществ, освоении пятого и шестого технологических укладов, развитии имеющихся высокотехнологичных областей.

В-третьих, проблема воспроизводства научных и инженерных кадров. Причина заключается в том, что прирост числа студентов высших учебных заведений, отмечаемый за последние двадцать лет, обеспечен за счет обучающихся на договорной основе. Увеличение числа платных студентов, особенно в негосударственных образовательных учреждениях, выступает причиной понижения качества и общего уровня высшего профессионального образования. С другой стороны, наблюдается недостаточность финансирования в вузах исследований в различных

сферах, что объясняется низким уровнем внутренних затрат на занятия инновационной деятельностью и, как результат, недостаточностью финансовых средств, поэтому возникают трудности развития партнерских отношений с региональным бизнесом.

Библиографические ссылки

1. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года от 25.03.2013 г. [Электронный ресурс]. 2013. URL: http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz/doc20130325_06 (дата обращения: 01.11.2014).
2. Jaffe A., Lerner J., Stern S. Innovation Policy and the Economy // National Bureau of Economic Research. 2005. № 5.
3. Kuznetz S. Modern economic growth: Findings and reflections // American Economic Review 63. Sweden, 1973.
4. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года (утверждена распоряжением Правительства РФ № 1662-р) [Электронный ресурс]. 2008. URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 23.10.2014).
5. О науке и государственной научно-технической политике : федер. закон Российской Федерации № 127-ФЗ от 23 августа 1996 г. (с изм. от 21.07.2011 г. № 254-ФЗ) [Электронный ресурс]. 2011. URL: <http://base.consultant.ru/cons/> (дата обращения: 15.10.2014).
6. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 г. № 899 [Электронный ресурс]. 2013. URL: http://www.kremlin.ru/ref_notes/988 (дата обращения: 21.07.2014).
7. Экономическое развитие и инновационная экономика : Государственная программа Российской Федерации № 467-р (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации). [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://government.ru/docs/3327> (дата обращения: 07.04.2014).
8. Проект закона «О государственной поддержке инновационной деятельности в Российской Федерации» № 495392-5 от 02. 02. 2011 г. [Электронный ресурс]. 2011. URL: <http://base.consultant.ru/cons> (дата обращения: 14.09.2014).
9. Шохина Е. Индустриализация без хайтека [Электронный ресурс]. 2013. URL: <http://expert.ru/2013/09/19/industrializatsiya-bez-haj-teka/> (дата обращения: 11.10.2014).
10. Четыре триллиона за эффективность / М. Доронкин [и др.] // Эксперт. 2013. № 40 (870). С. 98–101.
11. Гретченко А. И. Роль университетских инновационных интегрированных структур в укреплении сотрудничества вузов с высокотехнологичными компаниями // Вестник Академии военных наук. 2012. № 3(40). С. 26–30.
12. О развитии человеческого потенциала в Российской Федерации 2009 : доклад / под общ. ред. С. Н. Бобылева. М. : Самолет, 2010. 180 с.

13. Методика расчета показателей «Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом внутреннем продукте» и «Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом региональном продукте» [Электронный ресурс]. 2014. URL: <http://www.gks.ru/metod/metodika.html> (дата обращения: 11.10. 2014).

14. Национальные принципы устойчивого развития [Электронный ресурс]. М., 2013. URL: <http://green-agency.ru/> (дата обращения: 11.10. 2014).

15. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. № ВК 477 / В. В. Коссов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахнозаров М. : Экономика, 2000. 421 с.

16. Kerdeman M., Rizzardi A. The Access Initiative: a Network in Action. The World Bank, 2009.

17. Lewis W. W. The Power of Productivity: Wealth, Poverty, and the Threat to Global Stability. University of Chicago Press, 2004.

References

1. *Prognoz dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda ot 25.03.2013 g.* [The forecast of long-term social and economic development of the Russian Federation for the period till 2030 of 25.03.2013]. Available at: <http://www.economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macros/prognoz/doc20130325> (accessed 01.11. 2014).

2. Jaffe A., Lerner J., Stern S. Innovation Policy and the Economy. *Massachusetts: National Bureau of Economic Research*. 2005, no. 5.

3. Kuznetz S. Kuznetz S. Modern economic growth: Findings and reflections. *American Economic Review* 63. Sweden; 1973.

4. *Kontseptsiya dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda (utverzhdена rasporyazheniem Pravitel'stva RF № 1662-r)* [The concept of long-term social and economic development of the Russian Federation for the period till 2020 (it is approved as the order of Government РФ № 1662-r)]. Available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 23.10. 2014).

5. RF Federal Law No. 127-FZ of August 23, 1996. "About science and the state scientific and technical policy" with changes 21.07.2011 No. 254-FZ. (In Russ.). Available at: <http://base.consultant.ru/cons> (accessed 15.10. 2014).

6. The Russian Federation President decree of 07.07.2011 No. 899 "About the statement of the science development priority directions, technologies and equipment in the Russian Federation and the Russian Federa-

tion critical technologies list". (In Russ.). Available at: http://www.kremlin.ru/ref_notes/988 (accessed 21.07. 2014).

7. State program of the Russian Federation No. 467-r "Economic development and innovative economy" (it is approved as the Russian Federation Government order). (In Russ.) Available at: <http://government.ru/docs/3327> (accessed 07.04. 2014).

8. The bill "About the State Support of Innovative Activity in the Russian Federation" (No. 495392-5) from 02.02.2011 (In Russ.). Available at: <http://base.consultant.ru/cons> (accessed 14.09. 2014).

9. Shohina E. *Industrializatsiya bez khayteka* [Industrialization without high tech]. Available at: <http://expert.ru/2013/09/19/industrializatsiya-bez-haj-teka> (accessed 11.10. 2014).

10. Doronkin M. [Four trillion for efficiency] *Ekspert*. 2013, no. 40 (870), p. 98–101 (In Russ.).

11. Gretchenko A. I. [Rol of the university innovative integrated structures in strengthening of cooperation of higher education institutions with the hi-tech companies] *Vestnik Akademii voennykh nauk*. 2012, no 3(40), p. 26–30 (In Russ.).

12. Bobylev S. N. *Doklad "O razvitii chelovecheskogo potentsiala v Rossijskoj Federacii" 2009* [The report "About human development in the Russian Federation" 2009]. Moscow, Samolet Publ., 2010. 180 p.

13. *Metodika rascheta pokazateley "Dolya produktsii vysokotekhnologichnykh i naukoemkikh otrasley v valovom vnutrennem produkte" i "Dolya produktsii vysokotekhnologichnykh i naukoemkikh otrasley v valovom regional'nom produkte"* [Method of indicators calculation "Share of production of high-tech and knowledge-intensive industries in gross domestic product" and "Share of high-tech production and knowledge-intensive industries in a gross regional product"]. Available at: <http://www.gks.ru/metod/metodika.html> (accessed 11.10. 2014).

14. *Natsional'nye printsipy ustoychivogo razvitiya* [National principles of a sustainable development]. Available at: <http://green-agency.ru/> (accessed 11.10. 2014).

15. Kossov V. V., Livshic V. N., Shahnozov A. G. *Metodicheskie rekomendatsii po ocenke jeffektivnosti investitsionnykh projektov* [Methodical recommendations about an assessment of investment projects efficiency] Moscow, JSC NPO Ekonomika Publishing House, 2000. 421 p.

16. Kerdeman M., Rizzardi A. The Access Initiative: a Network in Action. The World Bank, 2009.

17. Lewis W. W. The Power of Productivity: Wealth, Poverty, and the Threat to Global Stability. University of Chicago Press. 2004.

**ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПОРТНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ
С УЧЕТОМ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Г. Я. Белякова, Д. А. Фокина

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: darya_fokina@mail.ru

Управление развитием экспортного потенциала предприятия машиностроения является системообразующим, объединяющим отдельные инструменты, формирующие экспортный потенциал, в единую систему и обеспечивающим достижение намеченных целей. Основная роль управления развитием экспортного потенциала предприятия заключается в превращении всех имеющихся ограниченных ресурсов – трудовых, информационных, природных, производственных, инфраструктурных и т. д., в целостную общность, способную обеспечить реализацию поставленных целей стратегического развития предприятия. Управление должно формировать уровень экспортного потенциала машиностроительного предприятия так, чтобы были удовлетворены интересы собственников, инвесторов и персонала предприятия. Управление развитием – это систематическое применение различных инструментов для обеспечения достижения поставленных предприятием стратегических целей. Приведены три эталонных варианта стратегического развития предприятия машиностроения и предложены наборы инструментов, соответствующие данным стратегиям. Объектом исследования являются машиностроительные предприятия, планирующие вывод собственной продукции на международный рынок, предметом исследования – управленческие отношения, возникающие в процессе формирования и развития экспортного потенциала машиностроительных предприятий.

Теоретической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных исследователей, отражающие состояние и перспективы развития машиностроительных предприятий и международного рынка продукции машиностроения в целом.

Методологическую основу исследования составили общенаучные методы исследования – сравнительный и статистический анализ, группировка, сравнение и обобщение, позволяющие обеспечить обоснованность результатов и выводов представленного исследования. Проведенный анализ эталонных стратегий развития предприятия выявил основные характеристики развития экспортного потенциала для каждой стратегии. В результате проведенного исследования предложено использовать различные инструменты управления экспортным потенциалом предприятия, имеющим различные стратегии развития. Величина экспортного потенциала предприятия характеризует конкурентные возможности продукции предприятия на международном рынке.

Развитие экспортного потенциала предприятия основано не только на увеличении продаж конкретного вида продукции, оно также неразрывно связано с возможностью в ближайшем будущем выйти на рынки других стран.

Ключевые слова: экспортный потенциал предприятия, управление экспортным потенциалом предприятия.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 227–232**MANAGEMENT TOOLS OF EXPORT POTENTIAL WITH REGARD
TO THE STRATEGY DEVELOPMENT OF THE MACHINE BUILDING ENTERPRISE**

G. Y. Belyakova, D. A. Fokina

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: darya_fokina@mail.ru

Management of development of the export potential of the machine building enterprise is the system uniting certain instruments forming the export potential into a unified system and providing the achievement of goals. The main role of management of development of the export potential of the enterprise is the transformation of all available limited re-

sources: labor, information, natural, industrial, infrastructure, etc. into an integral generality able to ensure the implementation of the strategic set goals of the enterprise. Management should form a level of export potential of the machine-building enterprises, so that the interests of owners, investors and company personnel were satisfied. Managing of the development is a systematic application of various tools to ensure the achievement of company strategic objective. There are three standard options of strategic development of enterprise engineering in this article and the authors propose a set of tools that correspond to these strategies. The objects of study are engineering plants which plan to launch their products to the international markets, the subject of the research is the management relations arising in the process of formation and development of the export potential of machine-building enterprises.

The theoretical basis of the study is the works of domestic and foreign researchers, reflecting the state and prospects of development of machine-building enterprises and international market of engineering products in general.

The methodological basis of the research is scientific methods of research: comparative and statistical analysis, grouping, comparison and synthesis, allowing ensures the validity of the results and findings of the present study. The standard enterprise development strategies to identify key features of the export potential for each strategy have been analyzed. The study proposed to use a variety of management tools export potential enterprises with different development strategies. The value of the export potential of the company characterizes the competitive opportunities of enterprise in the international market.

The development of the export potential of the enterprise is based not only on increasing sales of a particular type of product, it is also inextricably linked with the possibility in the near future to enter the markets of other countries.

Keywords: the export potential, management of development of the export potential machine building enterprise.

Введение. Стратегия развития – это долгосрочный документ финансового планирования, определяющий направления развития предприятия, приводящий к поставленным целям, таким как рост объемов экспортируемой продукции или расширение номенклатуры и географии международных поставок. Стратегия непосредственно отражает все стороны деятельности предприятия: производственные возможности, объемы производимой продукции, позиции предприятия на рынках и в окружающей среде. Различные стратегии развития предприятия требуют использования различных наборов инструментов развития экспортного потенциала.

В настоящее время вопросам развития экспортного потенциала предприятий разных сфер деятельности уделяется достаточно большое внимание. Многие исследователи отмечают в своих работах важность и востребованность развития экспортного потенциала предприятия как основы модернизации российской экономики в целом [1–4].

Экспортный потенциал машиностроительного предприятия, являющегося открытой экономической системой, с одной стороны, обладает способностью к развитию внутри предприятия, с другой – характеризуется существенной зависимостью от влияния различных факторов внешней среды. Поэтому управление развитием экспортного потенциала машиностроительного предприятия может рассматриваться как совокупность субъекта и объекта управления, взаимодействующих на основе управляющего воздействия и обратной связи в целях обеспечения определенных качественных и количественных параметров, характеризующих процессы изменения в промышленности [5].

В представленном исследовании управление развитием экспортного потенциала предприятия рассматривается как подсистема управления развитием промышленного сектора экономики региона и страны в целом, связанная как с объектом управления, так и с внешним миром. Информационные потоки, отражающие все уровни коммуникационных связей, способствуют поступлению в систему управления

информации о состоянии объектов управления и окружающей среды, информации от вышестоящей системы, а также доведению до объектов управления управляющих воздействий. Задача обратной связи – поставлять в систему управления информацию о результатах функционирования объектов управления, т. е. данные о характере и результатах развития экспортного потенциала предприятия машиностроения.

Майкл Портер, являющийся признанным специалистом в области конкурентоспособности и стратегического управления предприятий, в своих научных трудах выделил три основных эталонных направления в разработке стратегии развития предприятия [6]:

1. Лидерство в минимизации издержек. Основное направление развития предприятия – снижение издержек по производству продукции. За счет снижения цены предприятия завоевывают больший сегмент рынка. Использование данной стратегии предполагает отличную организацию производства и логистики, а также хорошую технологическую и инженерно-конструкторскую базу.

2. Специализация в производстве продукции. Предприятия, реализующие данный подход к стратегии, должны иметь высокий потенциал для проведения исследований, хорошую базу для внедрения инноваций и модернизаций в производственные циклы, надежную систему качества.

3. Фиксация сегмента рынка и концентрация усилий на нем. Предприятие определяет потребности части рынка и старается максимально удовлетворить их, не пытаясь при этом «влезть» на чужой сегмент.

Данные подходы описывают стратегические направления управления развитием конкурентоспособности предприятия. С учетом выбранной стратегии развития должно происходить и управление развитием экспортного потенциала предприятия. Предприятие, выбравшее определенное направление своего стратегического развития, может использовать определенные наборы инструментов для достижения намеченных целей развития. Варианты инструментов, которые могут применяться при различных стратегиях,

представлены на рисунке. Предприятия, реализующие различные стратегии развития, могут использовать различные инструменты развития своего экспортного потенциала. В зависимости от выбранной стратегии предприятию предлагается система инструментов развития его экспортного потенциала.

Стратегии развития имеют общие принципы, на основе которых руководители предприятия принимают решения, обеспечивающие достижение поставленных целей в долгосрочном периоде.

Наиболее распространенные, проверенные практикой и широко освещенные в литературе стратегии развития предприятия обычно называются эталонными. Они отражают различные подходы к развитию уровня экспортного потенциала и связаны с изменением состояния одного или нескольких следующих элементов: продукт, рынок, отрасль, положение фирмы внутри отрасли, технология.

Можно выделить несколько вариантов развития предприятия, если основной его стратегией является *минимизация издержек*. Такое стратегическое поведение предприятия направлено на сокращение производства:

1. Стратегия ликвидации – крайний случай стратегии сокращения, применима тогда, когда предприятие не может вести дальнейший бизнес. Применение этой стратегии выжимает из предприятия финансовые и другие ресурсы.

2. Стратегия «сбора урожая» – отказ от долгосрочного ведения бизнеса в пользу максимального получения доходов в краткосрочном периоде. Применяется по отношению к не имеющему перспектив развития бизнесу, который не может быть прибыльно продан, но может принести доходы во время «сбора урожая». Предполагается максимальное сокращение затрат на закупки, на персонал и максимальное получение дохода от продажи имеющегося продукта и продолжающегося сокращаться производства.

3. Стратегия сокращения – предприятие продает или закрывает одно из своих подразделений для того, чтобы осуществить долгосрочное изменение границ ведения бизнеса. Часто эта стратегия реализуется диверсифицированными предприятиями тогда, когда одно из производств не сочетается с другими или же филиал предприятия перестал приносить прибыль.

4. Стратегия сокращения расходов, основной идеей которой является поиск возможностей уменьшения издержек и проведение соответствующих мероприятий по сокращению затрат. Данная стратегия обладает определенными отличительными особенностями, которые состоят в том, что она больше ориентирована на устранение достаточно небольших источников затрат, а также в том, что ее реализация носит характер временных или краткосрочных мер. Реализация данной стратегии связана со снижением производственных затрат, повышением производительности, сокращением найма и даже увольнением персонала, прекращением производства прибыльных товаров и закрытием прибыльных мощностей.

Специализация в производстве продукции – стратегии, связанные с изменением продукции и выбранных рынков. Предприятию постоянно требуется проводить модификацию продукции или начинать разра-

ботку новой продукции, не меняя при этом завоеванные на международном рынке сегменты. Машиностроительное предприятие постоянно проводит исследования и разработки, направленные на улучшение производимой продукции, совершенствование маркетинговых и рыночных механизмов.

Среди конкурентных особенностей данной группы стратегий можно выделить следующие:

- прочная позиция на выбранном сегменте рынка – предприятие постоянно совершенствует продукцию, чтобы удержать выбранный сегмент международного рынка или завоевать лучшие позиции; для реализации этой стратегии требуются большие финансовые затраты и маркетинговые усилия для продвижения продукции; реализация этой стратегии допускает также осуществление так называемой горизонтальной интеграции, при которой предприятие пытается установить контроль над своими конкурентами, например, посредством слияния с более мелкими предприятиями;

- развитие рынка – это поиск новых рынков для уже производимого продукта, например, выход на международный рынок или рынок другой страны; достаточно эффективная стратегия, главное не допустить ошибки с выбором рынка, иначе можно оказаться на новом рынке одновременно или даже после того, как на нем появится сильный конкурент;

- развитие продукта – решение задачи происходит за счет производства нового продукта или его модификаций и реализации его на уже освоенном предприятием рынке; стратегия тоже требует достаточно больших финансовых и кадровых затрат на проведение НИОКР или же покупку ноу-хау и внедрение его в производство.

Стратегия, основанная на выборе и фиксации сегмента рынка и концентрации усилий на нем – борьба за рынок одной или нескольких конкретных стран. Стратегия, основанная на специализации в производстве продукции – конкурентная борьба на рынках большинства стран. В основе этой теории лежат следующие идеи:

1. Процесс управления и организации выхода продукции предприятия на внешние рынки предъявляет более высокие требования к разработке стратегии компании, чем реализация той же самой продукции на внутреннем рынке.

2. Чтобы достичь успеха на внешних рынках, предприятие при разработке стратегии должно учитывать различия в бизнес-среде и конкуренции отдельных стран.

3. Перед машиностроительным предприятием, осваивающим внешние рынки, в числе прочих стоит очень важный вопрос: приспосабливать ли свои предложения или предлагать стандартную продукцию.

Управление развитием экспортного потенциала машиностроительного предприятия имеет системный характер, для достижения заданного уровня его реализации необходимо постоянно проводить исследования, обосновывать, контролировать и регулировать происходящие процессы [7]. Необходима полная, точная и оперативная информация о деятельности предприятия и изменениях во внешней среде. Такой

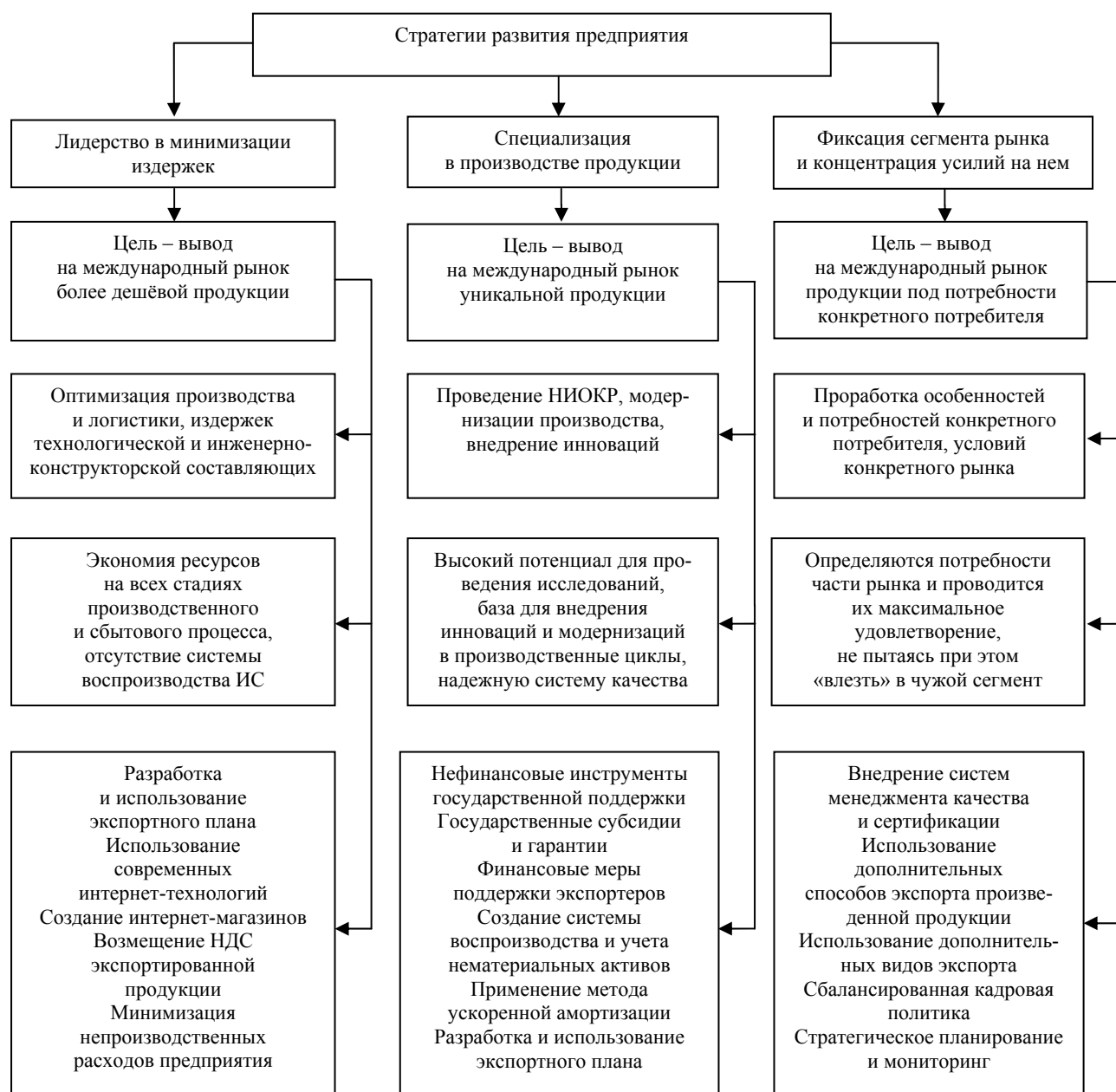
объективной информацией систему управления может обеспечить стратегический мониторинг.

Стратегический мониторинг – это одна из составляющих управленческой деятельности, нацеленная на сбор, стратегический анализ информации, оценку, прогнозирование и контроль. Осуществляемый как постоянный, комплексный и системный процесс, он выступает основой для разработки рекомендаций для корректировки текущего состояния объекта в соответствии с установленными на этапе стратегического планирования целевыми параметрами [8].

Выбор стратегии развития предприятия напрямую влияет на управление развитием его экспортного потенциала, определяя инструменты воздействия, особенности, приоритеты, организационные формы реализации и другие характеристики.

Сравнительная характеристика особенностей экспортного потенциала в зависимости от выбранного стратегического направления развития предприятия представлена в таблице. Данные таблицы основаны на характерных составляющих процесса производства и реализации продукции с учетом выбранной стратегии развития предприятия.

Высокие показатели экспортного потенциала свидетельствуют о том, что у данного предприятия высокий уровень конкурентоспособности продукции на международном рынке. Следовательно, существует прямо пропорциональная связь конкурентоспособности продукции, производимой предприятием, на международных рынках и его экспортным потенциалом [9].



Инструменты управления развитием экспортного потенциала в зависимости от стратегии развития предприятия

**Характерные особенности управления развитием экспортного потенциала
с учетом стратегий развития предприятия машиностроения**

Характерные особенности	Фиксация сегмента рынка и концентрация усилий на нем	Специализация в производстве продукции
Бизнес-стратегия	Ориентирована на специальных потребителей	Одинакова для всех потребителей
Цель развития	Вывод на международный рынок продукции под потребности конкретного потребителя	Вывод на международный рынок унифицированной продукции
Территориальные предпочтения	В соответствии с размещением потребителя	Ориентация на большинство стран мира
Ассортимент	Учитываются потребности конкретных потребителей	Международная стандартизация и унификация продукции
Производственное развитие	Тщательная проработка конкретных потребностей потребителей	Оптимальное соотношение между адаптацией и стандартизацией
Размещение производства	Производство в отдельной стране	В соответствии с достижением конкурентных преимуществ
Поставка материалов и комплектующих	Предпочтение поставщикам, имеющим определенные параметры (системы стандартизации и т. д.)	Экономически выгодные поставщики (соотношение затрат и качества)
Способы сбыта продукции	Соответствуют желаниям потребителей	Соответствуют требованиям международного рынка
Конкурентные преимущества продукции	Зависят от национальных особенностей выбранного рынка	Одинаковы для всех рынков, тесно взаимосвязаны
Особенности маркетинга	Разрабатываются под каждого конкретного потребителя	Общие технологии, знания, инновации на рынках разных стран
Дополнительные виды экспорта	Подразумевает использование предоставления пакета услуг	Возможно применение «проектного экспорта»
Применяемые способы экспорта	Прямой экспорт продукции	Широкий набор косвенных способов экспорта продукции
Стратегические преимущества	Потребители привязаны к конкретной продукции	Формирование конкурентных преимуществ (по издержкам)
Недостатки	Препятствует созданию единых конкурентных преимуществ и компетенций	Сложность учета и управления всеми особенностями международного рынка

При управлении развитием экспортного потенциала предприятию необходимо, прежде всего, учитывать стратегию своего развития. Выбранная стратегия является основой при определении набора инструментов, которые предприятие может эффективно использовать для развития экспортного потенциала.

Несмотря на то, что в арсенале машиностроительных предприятий имеется довольно обширный набор инструментов, многие из них, по мнению современных ученых-экономистов, имеют резервы развития и нуждаются в доработке [10; 11]. Инструменты развития экспортного потенциала предусмотрены государственными отраслевыми программами [12; 13]. В то же время каждый инструмент имеет свои показатели результата и затрат [14].

Заключение. Развитие экспортного потенциала предприятия, являясь комплексной функцией управления, предполагает системное использование инструментов различной природы, направленных на источники формирования его экспортного потенциала. Одни и те же инструменты могут одновременно воздействовать на несколько источников экспортного потенциала. В то же время один источник может нуждаться в целом наборе инструментов.

При управлении развитием экспортного потенциала машиностроительных предприятий необходимо использовать методику, учитывающую особенности данной группы предприятий. В настоящее время единой методики по данному направлению не существует.

Разработка подобной методики позволяет сформулировать единые правила оценки экспортного потенциала предприятия.

Оценка и исследование каждого источника формирования экспортного потенциала в отдельности не дает точного представления о резервах развития предприятия на внешних рынках. Для всестороннего обоснования и анализа эффективности экспортной деятельности и выявления резервов ее повышения необходимо применять комплексный подход, основанный на системе взаимосвязанных показателей.

Статистические данные Федеральной таможенной службы показывают незначительный прирост экспорта продукции машиностроения в целом по Российской Федерации [15]. Все используемые на сегодняшний день инструменты формирования и развития экспортного потенциала предприятия, прежде всего, направлены на увеличение объемов экспорта предприятия в стоимостном выражении и снижение его издержек.

Библиографические ссылки

1. Волкова Е. В. Экспортный потенциал промышленных предприятий: теория, методология, практика : монография. Самара : СГЭУ, 2007, 159 с.
2. Демина И. Д. Концепция, теория и практика контроля внешнеэкономической деятельности хозяйствующих субъектов. М. : Маркетинг, 2007. 116 с.
3. Сейфуллаева М. Международный менеджмент. Москва : КноРус, 2012, 232 с.

4. Фролов И. Э. Особенности возникновения и развития высокотехнологичных производств и инновационных рынков в зарубежных странах и России. Тезисы к теме. [Электронный ресурс]. 2011. URL: <http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=asp-m> (дата обращения: 02.12.2014).

5. Гарифуллин Р. Ф. Стратегии инновационного развития предприятия машиностроения // Вопросы инновационной экономики. 2011. № 6 (6). С. 27–34.

6. Michael E. Porter On Competition. Hardcover, 1998. 485 с.

7. Белякова Г. Я., Фокина Д. А. Классификационный анализ инструментов развития экспортного потенциала машиностроительного предприятия [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: www.science-education.ru/117-13762 (дата обращения: 02.12.2014).

8. Трифонова Е. Ю. Механизмы стратегического планирования внешнеэкономической деятельности промышленных предприятий : монография. Новгород : ННГУ. 2004.

9. Стариков Е. Н. Управление развитием экономического потенциала отраслевого комплекса : автореф. дис. ... канд. экон. наук. Екатеринбург, 2008. 21 с.

10. Волкодавова Е. В. Международные экономические миссии как фактор повышения экспортного потенциала промышленных предприятий : монография. Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2002. 102 с.

11. О стратегии развития экономики России / С. Ю. Глазев [и др.] ; под ред. С. Ю. Глазьева. М. : ООП РАН, 2011. 48 с.

12. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» : постановление Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 328.

13. Проект стратегии социально-экономического развития Красноярского края до 2020 года : разработан Правительством Красноярского края [Электронный ресурс] // Официальный портал Красноярского края. URL: <http://www.econ.krskstate.ru/serkrai/strateg/> (дата обращения: 02.12.2014).

14. Старовойтов М. К., Фомин П. А. Практический инструментарий организации управления промышленным предприятием : монография. М. : Высш. шк., 2002. 267 с.

15. Статистика внешней торговли [Электронный ресурс] // Официальный сайт ФТС. URL: <http://www.customs.ru/index.php?option=comcontent&view=article&id=13858&Itemid=2095/> (дата обращения: 02.12.2014).

References

1. Volkodavova E. V. *Eksportnyy potentsial promyshlennykh predpriyatiy: teoriya, metodologiya, praktika* [Export potential of industrial enterprises: the theory, methodology, practice: a monograph]. Samara, SGEU Publ., 2007, 159 p.

2. Demina I. D. *Kontseptsiya, teoriya i praktika kontrolya vneshneekonomicheskoy deyatel'nosti khozyaystvuyushchikh sub"ektov*. [The concept, theory and practice of control of foreign economic activity of business entities]. Moscow, Marketing Publ., 2007, 116 p.

3. Seyfullaeva M. *Mezhdunarodnyy menedzhment* [International Management], Moscow, KnoRus Publ., 2012, 232 p.

4. Frolov I. E. *Osobennosti vozniknoveniya i razvitiya vysokotekhnologichnykh proizvodstv i in-novatsionnykh rynkov v zarubezhnykh stranakh i Rossii. Tezisy k teme*. [Features of the emergence and development of innovative high-tech industries and markets in foreign countries and Russia]. Available at: URL: <http://www.ecfor.ru/pdf.php?Id=asp-m>, (accessed 12.02.2014).

5. Garifullin R. F. [Strategy of innovative development of the engineering enterprise]. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki*. 2011, no. 6 (6), p. 27–34 (In Russ.).

6. Michael E. Porter On Competition. Hardcover – October, 1998. 485 p.

7. Belyakova G. Ja., Fokina D. A. [The classification analysis of instruments for development of an export potential of the machine building company]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014, no. 3 (In Russ.). Available at: <http://www.science-education.ru/117-13762>. (accessed 02.12.2014).

8. Trifonova E. Yu. *Mekhanizmy strategicheskogo planirovaniya vneshneekonomicheskoy deyatel'nosti promyshlennykh predpriyatiy* [Mechanisms for strategic planning of foreign trade activities of industrial enterprises]. Novgorod, NNGU Publ., 2004.

9. Starikov E. N. *Upravlenie razvitiem ekonomicheskogo potentsiala otraslevogo kompleksa. Avtoref. dis. kand. ekon. nauk*. [Managing the development of economic potential of the industrial complex: abstract Dr. econ. sci. diss.]. Ekaterinburg, 2008, 21 p.

10. Volkodavova E. V. *Mezhdunarodnye ekonomicheskie missii kak faktor povysheniya eksportnogo potentsiala promyshlennykh predpriyatiy* [International economic mission as a factor in increasing the export potential of industrial enterprises]. Saratov, Izd-vo Saratovskogo universiteta Publ, 2002, 102 p.

11. Glaz'ev S. Yu. et al. *O strategii razvitiya ekonomiki Rossii*. [Development Strategy of the Russian economy]. Moscow, OON RAN Publ., 2011, 48 p.

12. *Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii "Razvitie promyshlennosti i povyshenie ee konkurentosposobnosti". Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 15.04.2014 g. № 328*. [Government Decree of 15.04.2014 N 328 "On approval of the state program of the Russian Federation, The development of industry and increase its competitiveness"] (In Russ.).

13. The draft strategy for socio-economic development of the Krasnoyarsk Territory until 2020. Developed by the Government of the Krasnoyarsk Territory. The official portal of the Krasnoyarsk Territory (In Russ.) Available at: http://www.econ.krskstate.ru/ser_krai/strateg/ (accessed: 02.12.2014).

14. Starovoytov M. K., Fomin P. A. *Prakticheskiy instrumentariy organizatsii upravleniya promyshlennym predpriyatiem* [Practical tools of industrial enterprise management.] Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2002. 267 p.

15. Foreign trade statistics. Official website of the Federal Customs Service. (In Russ.). Available at: <http://www.customs.ru/index.php?option=comcontent&view=article&id=13858&Itemid=2095/> (accessed: 02.12.2014).

СТАТИСТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ УРОВНЕМ ЛЕГАЛИЗАЦИИ КРИМИНАЛЬНЫХ ДОХОДОВ, ИНВЕСТИЦИОННЫМ КЛИМАТОМ И ИННОВАЦИОННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИЮ. М. Брюханов¹, А. А. Лукин², И. Р. Фатьянова¹¹Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова
Российская Федерация, 117997, г. Москва, Стремянный переулок, 36²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: bruhanov@i-ias.ru, trust-audit@yandex.ru

Объемы финансирования ракетно-космической отрасли требуют создания системы эффективного контроля целевого использования бюджетных средств, средств гособоронзаказа, противодействия выводу денежных средств за границу и обналачиванию через фиктивные фирмы и договоры. Финансовый мониторинг операций, связанных с легализацией криминальных доходов в результате хищений средств из бюджета и вывода их через транзитные счета в офшорные зоны, включает в себя систему превентивного прогнозирования угроз и уязвимостей в региональном и отраслевом разрезе. Выявлению существенных факторов легализации криминальных доходов в региональном разрезе посвящено описание проведенного исследования в предлагаемой статье. Предметом исследования является выявление внешних факторов уровня легализации криминальных доходов в региональном разрезе. Цель исследования – предложить превентивный механизм противодействия легализации доходов, полученных преступным путем, через создание информационной базы на уровне принятия предварительных решений по объемам финансирования и контролю целевого использования средств, направляемых на финансирование ракетно-космической отрасли в разрезе федеральных округов Российской Федерации. Методология проведения исследования базировалась на ранжировании причинно-следственных связей на основе статистической обработки данных отчетности ФОИВ, результатов экспертных опросов, макроэкономической статистики финансового мегарегулятора – Банка России. В рамках научной гипотезы исследования описаны и обработаны результаты рейтингования инвестиционного климата и инновационного потенциала федеральных округов как факторы уровня легализации криминальных доходов. Проведен регрессионно-корреляционный анализ парной регрессии, выявлена негативная статистическая связь между уровнем инвестиционного климата и уровнем легализации криминальных доходов, а также негативная статистическая связь между уровнем инновационного потенциала и уровнем легализации криминальных доходов. Установленные тенденции могут быть использованы в системе подготовки управленческих решений по противодействию незаконному использованию бюджетных средств, направляемых на финансирование ракетно-космической отрасли.

Ключевые слова: финансовый мониторинг, легализация криминальных доходов, инвестиционный климат, инновационный потенциал, ракетно-космическая отрасль, федеральные округа, причинно-следственные связи.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 233–244**THE STATISTICAL RELATIONSHIP BETWEEN THE LEVEL OF MONEY LAUNDERING, INVESTMENT CLIMATE AND INNOVATION POTENTIAL OF THE REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION**Y. M. Brioukhanov¹, A. A. Lukin², I. R. Fatyanova¹¹Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny per., Moscow, 117997, Russian Federation²Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation

Funding aerospace industry requires the creation of a system of effective control of target use of budgetary funds, funds of the state defense order, counter cash withdrawal abroad and cashing through fictitious companies and contract. Financial monitoring operations associated with legalities criminal income as a result of theft of funds from the budget and bringing them through transit accounts in offshore zones include a system of preventive forecasting of threats and vulnerabilities at the regional and sectoral breakdown. Identification of significant factors in money

laundering in the regional section is devoted to the description of the research conducted in this article. The study is the identification of external factors in the level of money laundering in the regional context. The purpose of the study is to offer preventing mechanism of counteraction to legalization of incomes obtained in a criminal way through the creation of a database on the level of adoption of initial decision on the funding and control of target use of funds allocated to the rocket and space industry in the Federal districts of the Russian Federation. Methodology of the research was based on the ranking of causal relations on the basis of statistical data reporting Federal authorities, expert surveys, macroeconomic statistics financial mega regulator of the Bank of Russia. Within the scientific hypotheses of the study the results of the ranking of the investment climate and innovation potential Federal districts as factors in the level of money laundering are described. Regression-correlation analysis of binary regression revealed a negative statistical relationship between the level of the investment climate and the level of money laundering, as well as a negative statistical relationship between the level of innovative capacity and the level of money laundering are conducted. Established trends can be used in the system of managerial decisions on combating illegal use of budgetary funds allocated for the financing of the rocket and space industry.

Keywords: financial monitoring, legalization of criminal income, investment climate, innovation, rocket and space industry, Federal district, causation.

Введение. Декларация инновационного развития, увеличения доли высокотехнологичной продукции в ВВП страны одновременно с обеспечением роста благосостояния населения неизбежно выводит на проблему оптимального соотношения между распределением на потребление и накопление национального дохода. В настоящее время наблюдается отрицательный прирост инвестиций в основные средства, база для улучшения благосостояния зависит от конъюнктуры мирового рынка углеводородов. Скрытым резервом решения поставленных задач стратегии долгосрочного развития являются ресурсы теневой экономики, объем которой оценивается от 15 до 40 % ВВП Российской Федерации [1]. Выявить угрозы и уязвимости в легализации криминальных доходов после их делегализации из программ, финансируемых из бюджета, позволяют предложенные подходы к формированию решений по направлению финансирования в предприятия ракетно-космической отрасли в разрезе федеральных округов. В статье описаны факторы и приведен расчет регрессии уровня инвестиционного климата, а также уровня инновационного потенциала на уровень легализации криминальных доходов в целях повышения эффективности принимаемых инвестиционных решений, финансируемых из бюджета.

Инвестиционный климат как фактор вывода средств за границу Российской Федерации. России необходим переход на инновационный путь развития, выведение страны в число ведущих мировых экономик с высоким уровнем благосостояния, развитой инфраструктурой, существенной долей высокотехнологичного сектора в ВВП страны. Особенно актуальны эти задачи для регионов с высокой долей предприятий военно-промышленного комплекса, включая ракетно-космическую отрасль [2].

Необходимым условием реализации данных задач являются масштабные инвестиции в производства, новые технологии, обучение. Однако на сегодняшний день доля инвестиций в основной капитал в ВВП составляет 20,6 %, а для реализации задач по модернизации экономики ее необходимо увеличить до 25 %, а в дальнейшем – до 30 %.

Десятого октября 2012 г. Федеральной службой государственной статистики Российской Федерации в 80 субъектах Российской Федерации проведено

выборочное обследование инвестиционной активности организаций, осуществляющих деятельность по добыче полезных ископаемых, в обрабатывающих производствах, производстве и распределении электроэнергии, газа и воды. В нем приняли участие 10,3 тыс. организаций.

Обследование осуществлялось на основе формы федерального статистического наблюдения № ИАП «Обследование инвестиционной активности организаций», утвержденной приказом Росстата от 14.08.2008 г. № 189 [3].

Основной целью обследования являлось получение информации об инвестиционной активности организаций в 2012 г. и инвестиционных намерениях предпринимателей на 2013 г. Результаты обследования были распространены на всю совокупность единиц статистического наблюдения.

По результатам проведенного обследования в 2012 г. инвестиции в основной капитал осуществляли 94 % организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, и 48 % малых предприятий (без микропредприятий).

Высокая инвестиционная активность наблюдалась в республиках Саха (Якутия), Хакасия, Башкортостан, Чукотском автономном округе, Оренбургской и Псковской областях, где инвестиции в основной капитал осуществляли свыше 94 % организаций.

Среди субъектов с низкой инвестиционной активностью числятся: Амурская область, где инвестиционная деятельность зафиксирована у 57 % организаций, Ивановская область (70 %), Республика Алтай (78 %), Приморский край (88 %).

Российский рынок капитала носит спекулятивный характер. Российские банки, как правило, в 2013 г. реализовывали крупные проекты с помощью схем государственно-частного партнерства с использованием средств госкомпаний и бюджета [4].

В силу того, что многие банки отошли от кредитования инвестиционных проектов в пользу вложений в корпоративные облигации, более уязвимые для отмывания криминальных доходов, то навыки проектного финансирования реальной экономики нарабатываются на основе «круговорота капитала» [5], экспорта капитала в офшоры и реэкспорта в российские инвестиционные проекты (рис. 1, 2).

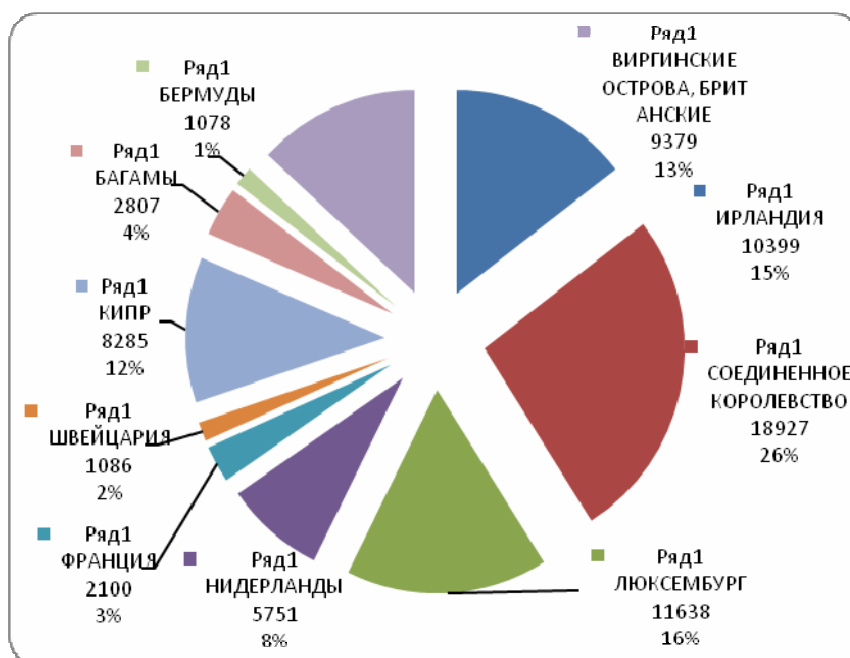


Рис. 1. Структура прямых иностранных инвестиций в 2013 г. в Российскую Федерацию

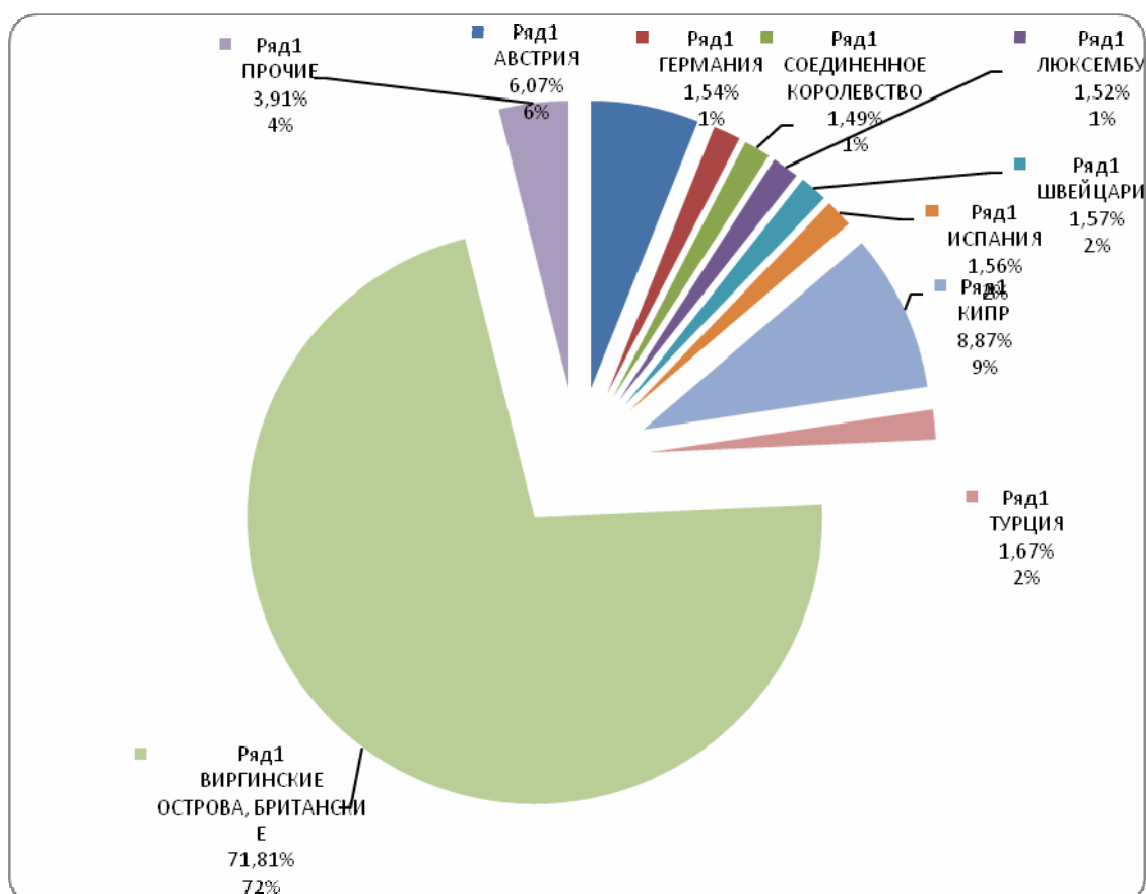


Рис. 2. Структура прямых инвестиций из Российской Федерации в 2013 г. за границу

По объемам вывода средств за границу единоличным лидером является ЦФО. По статистике Банка России [6] вывод средств за границу образуется на 87 %

резидентами г. Москвы, на 10 % – резидентами Тюменской области и на 4 % – резидентами г. Санкт-Петербурга (рис. 3), что больше 100 % сальдо, так как

есть единственный Сибирский федеральный округ, в котором в 2013 г. наблюдался ввоз капитала, удельный вес в этом показателе Красноярского края – 95 % (табл. 1).

Ключевыми проблемами экономического развития в России представители бизнеса называют коррупцию, неэффективность государственного аппарата, высокие налоговые ставки. Все эти факторы способствуют неэффективному распределению ресурсов страны и препятствуют росту конкурентоспособности.

Негативным моментом для инвестиционного климата является снижение количества трудоспособного населения.

Стоит отметить, что политическая и криминальная нестабильность в ряде регионов перевешивает все возможные выгоды от инвестиций. В некоторые регионы РФ инвесторы не инвестируют по причине криминализации и коррумпированности местной власти.

В России многие официальные процедуры бюрократизированы и отнимают время, в связи с этим для быстрого выполнения или решения каких бы то ни было проблем нередко, по гипотезе исследования, для ускорения процесса приходится использовать связи и взятки, теневой наличный оборот в сфере легализации криминальных доходов.

Институциональные проблемы судебной системы в виде нехватки кадров и независимости не позволяют эффективно урегулировать корпоративные споры, инвесторы жалуются на недостаточную либерализацию рынков.

Перечисленные факторы являются основными. Они оказывают решающее воздействие на принятие решений об инвестировании капитала российскими и зарубежными инвесторами. Указанные факторы формируют инвестиционный климат страны и отдельных регионов.

В мае 2014 г. были опубликованы результаты рейтинга инвестиционного климата в Субъектах Российской Федерации, составленного по инициативе общественных организаций «Деловая Россия», «Опора России», «Российский союз промышленников и предпринимателей», ННО «Торгово-промышленная палата Российской Федерации», АНО «Агентство стратегических инициатив на основе опросов и статистической информации ФОИВ» [7] (табл. 2, 3).

По данным Росстата, методика расчетов которого существенно отличается от методики расчетов Банка России, в 2013 г. в Россию поступило 20,1 млрд долл ПИИ (119,6 % относительно уровня 2012 г.), при этом 8,9 млрд долл (или 44 % от общего объема) имели офшорное происхождение [8].

Инновационный потенциал как фактор развития криминальных технологий анонимности платежей и отмывания доходов в виде виртуальных валют. На сегодняшний день для России характерно заметное расслоение регионов по уровню их инновационного развития. В качестве подтверждения приведены результаты исследования инновационной активности в российских регионах, проведенного экспертами Ассоциации инновационных регионов России (АИРР).

По итогам исследования АИРР был сформирован рейтинг инновационного развития регионов России [9].

Рейтинг формировался по публикуемым данным Росстата, Роспатента, с учетом валового регионального продукта, использованы данные фонда «Общественное мнение». Структура и система показателей рейтинга: показатели организованы в двухуровневую иерархию, они агрегируются в общий показатель – индекс инновационного развития регионов России (ИИРР).

Таблица 1

Вертикальный анализ вывода средств из Российской Федерации в 2013 г.

Субъекты Российской Федерации	2013 г.					
	Сальдо		Платежи из РФ		Платежи в РФ	
Всего по Российской Федерации	86712		162530		75818	
в том числе:						
Центральный федеральный округ	75840	87,46 %	126881	78,07 %	51041	67,32 %
Московская область	–1542	–1,78 %	4694	2,89 %	6236	8,23 %
г. Москва	75836	87,46 %	117154	72,08 %	41318	54,50 %
Северо-Западный федеральный округ	3220	3,71 %	9091	5,59 %	5872	7,74 %
г. Санкт-Петербург	3511	4,05 %	6693	4,12 %	3183	4,20 %
Южный федеральный округ	504	0,58 %	636	0,39 %	132	0,17 %
Северо-Кавказский федеральный округ	175	0,20 %	225	0,14 %	49	0,07 %
Приволжский федеральный округ	2425	2,80 %	4644	2,86 %	2219	2,93 %
Уральский федеральный округ	9281	10,70 %	10689	6,58 %	1407	1,86 %
Тюменская область	8390	9,68 %	8418	5,18 %	28	0,04 %
Сибирский федеральный округ	–7109	–8,20 %	5858	3,60 %	12966	17,10 %
Красноярский край	–6799	–7,84 %	4871	3,00 %	11670	15,39 %
Дальневосточный федеральный округ	506	0,58 %	886	0,54 %	380	0,50 %

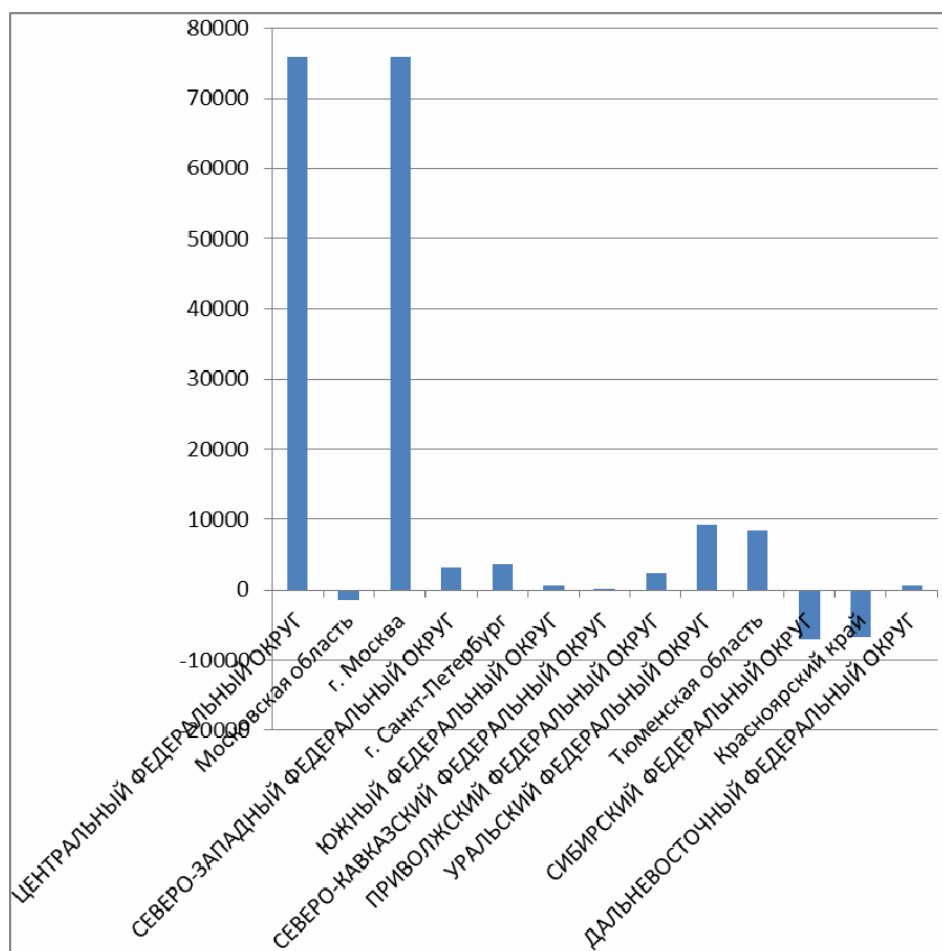


Рис. 3. Сальдо платежей из/в Российскую Федерацию по субъектам РФ, в которых зарегистрированы резиденты, в 2013 г. (участие в капитале, реинвестирование доходов, долговые инструменты)

Таблица 2

Результаты национального рейтинга состояния инвестиционного климата в субъектах РФ (сводная таблица)

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЙТИНГА – ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ИНДЕКС	
Регион	Рейтинг
Калужская область, Ульяновская область, Красноярский край, Республика Татарстан, Костромская область	I
Тульская область, Краснодарский край, Томская область, Алтайский край	II
Владимирская область, Ростовская область, Челябинская область, Ленинградская область	III
Самарская область, Хабаровский край, г. Москва, Республика Саха (Якутия)	IV
Свердловская область, Ставропольский край, г. Санкт-Петербург, Приморский край	V

Таблица 3

Состояние инвестиционного климата в федеральных округах РФ

Округ	Средний рейтинг	Ранг
ЦФО	2,50	3,5
СЗФО	3,00	5
ПФО	2,00	2
ЮФО	2,50	3,5
СКФО	5,00	8
УФО	4,00	6
СФО	1,67	1
ДФО	4,33	7

Каждый показатель относится к одному из трех типов:

- потенциал в создании инноваций (вес 20 %);
- потенциал коммерциализации инноваций (вес 30 %);
- результативность инновационной политики (вес 50 %).

Агрегированный индекс рассчитывается как $I = 0,2K1 + 0,3K2 + 0,5K3$.

Эксперты Ассоциации разделили все субъекты РФ на пять групп: «сильные инноваторы» (до 11 места включительно), «среднесильные» (до 34 места включительно), «средние» (до 57 места включительно) и «среднеслабые» (до 83 места). Позиции, занимаемые регионами в каждой выделенной группе, определялись значениями базовых показателей, наиболее емко характеризующих состояние инновационной сферы различных территорий.

В табл. 4 представлены рейтинги федеральных округов как суммарные рейтинги входящих в них субъектов Федерации.

Анализ рейтинга инновационного развития регионов России, а также результатов распределения регионов в соответствии с достигнутыми ими значениями основных показателей, характеризующих результаты инновационной активности, позволил сделать следующие выводы:

1. Регионы России по уровню развития инновационной деятельности и обеспеченности инновационного процесса необходимыми ресурсами развиты крайне неоднородно [10].

Среди регионов выделяется ТОП-15 территорий, аккумулирующих большую часть финансовых, кадровых и т. д. ресурсов. Они характеризуются высокими показателями инновационного развития. Гипотеза исследования предполагает позитивную связь регионов с киберпреступлениями в легализации криминальных доходов и негативную связь с преступлениями по незаконной банковской деятельности в форме обналичивания на основе фиктивной деятельности.

2. Наибольшая часть инновационно активных регионов сосредоточена в Центральном федеральном округе (г. Москва и Московская, Калужская и Ярославская области), Приволжском федеральном округе (Нижегородская, Самарская, Саратовская области, Пермский край, Чувашская Республика и Республика Татарстан), а также – в Сибирском федеральном округе (Томская, Новосибирская, Омская области). В Северо-Западном федеральном округе выделяются г. Санкт-

Петербург и Ленинградская область. Гипотеза исследования предполагает, что эти регионы являются кластерами киберпреступлений.

3. К числу основных факторов, стимулирующих киберпреступления в регионах, следует отнести:

- наличие крупных НИИ и университетов, формирование инновационно-промышленных кластеров;
- кадровая обеспеченность и возможность выбора квалифицированных специалистов на рынке;
- лучшая (по сравнению с другими регионами) обеспеченность финансовыми ресурсами, более широкая доступность альтернативных форм финансирования высокорисковых инновационных проектов (венчурные фонды и другие подобные институты);
- уровень инфраструктурной и социально-бытовой обеспеченности выше, чем в большинстве других регионов.

4. Преимущественная часть субъектов РФ относится к группе регионов с относительно невысокими показателями инновационного роста. Около трети регионов демонстрируют крайне низкие результаты развития сферы исследований и разработок и по гипотезе исследований являются базой для традиционных способов легализации криминальных доходов: фирмы однодневки, массовые адреса, массовые директора и др. (к таким регионам в первую очередь относятся субъекты Южного федерального округа и Северо-Кавказского федерального округа).

5. Невысокие показатели развития киберпреступлений в большей части данных территорий обусловлены следующими факторами:

- слаборазвитая промышленная база регионов либо превалирование отраслей, относящихся, как правило, к невысокому технологическому уровню производства;
- как правило, данные регионы являются регионами-донорами, т. е. применяется дотационный принцип финансирования местных бюджетов, которые, соответственно, создают уязвимость с точки зрения хищений с последующей легализацией доходов, полученных преступным путем;
- отсутствие стимулов и мотивации для инновационного развития;
- низкий уровень развития социально-бытовых условий инновационной сферы;
- нехватка профильных специалистов.

Таблица 4

Рейтинг инновационного развития федеральных округов Российской Федерации

Наименование федерального округа	Совокупный рейтинг	Ранг
ЦФО	8,39	1
СЗФО	4,29	3
ПФО	6,95	2
ЮФО	2,18	7
СКФО	1,81	8
УФО	2,34	6
СФО	4,28	4
ДФО	2,77	5

Для статистического анализа был взят рейтинг инновационного развития Ассоциации инновационных регионов России с данными за 2010–2011 гг. С учетом длительности жизненного цикла информационных технологий эти данные были использованы для статистического исследования влияния на уровень легализации криминальных доходов в 2013 г.

На основе рейтинга инновационного развития регионов России (обзор АИРР «Показатели и рейтинги инновационного развития регионов в Европейском Союзе и России» [11]) построен сводный рейтинг для федеральных округов суммированием рейтингов субъектов Федерации, входящих в округ (табл. 4).

Инновационный потенциал региона согласно гипотезе исследования косвенно создает базу для криминальных инноваций. Криминальные инновации в сфере финансов – это передовые технологии (цифровые), внедрение которых обеспечивает качественное развитие криминального бизнеса. Они являются связующим звеном между научно-техническим прогрессом и жизнью преступного сообщества. Криминальные инновации служат залогом интенсивного развития технологий преступлений, в частности технологий легализации преступных доходов, и непосредственно качества криминальной деятельности.

К информационным технологиям, определяющим инновационное развитие финансовой сферы, относятся:

1. Мобильные технологии, беспроводные сети – предоставление банковских услуг в любое время и из любого места, удаленный доступ к серверу, повышение доступности банковских услуг. В 2015 г. 1,3 млрд человек будут работать дистанционно, в 2016 г. будут созданы мобильные корпорации. Мобильные технологии позволяют анонимно с помощью разового кода обращаться к электронному кошельку, обналечивать или переводить денежные средства [12].

2. Технологии больших данных – потребительское кредитование, ведение кредитных историй, скоринговые системы определения уровня кредитоспособности. Технологии позволяют управлять большим числом номерных счетов, открытых анонимно.

3. Робототехнологии – компьютерные программы для управления инвестиционными решениями на глобальных рынках ценных бумаг и рынке Форекс, искусственный интеллект, осуществляющий осознанный выбор. Технологии позволяют совершать анонимные сделки или управление денежными средствами, в том числе в криминальных целях.

4. Облачные технологии, размещение баз знаний в Интернете с возможностью обмена, планирования, учета, избирательного поиска, обновления. Внешняя память, позволяющая избежать изъятие информации с физических носителей.

5. Платежные системы на основе виртуальных валют, фиатные валюты, цифровые валюты. Средство ухода из реальной валюты в виртуальную с последующей обратной конвертацией с высоким уровнем анонимности [13].

Мобильные и облачные технологии – самые перспективные в настоящее время для развития финансового сектора.

К 2020 г. 60 % технической базы устройств составят беспроводные модемы. Технологии становятся не только средством, но также и услугой, предлагаемой провайдерами.

Легализация криминальных доходов. Новые цифровые финансовые продукты предоставляют возможности для развития киберпреступлений.

Основная цель высокотехнологичных преступлений состоит в нарушении тайны персональной или частной информации, воровство секретов и денег, блокирование работы технических систем.

Финансовый доход – основной движущий стимул киберкриминала и инновационного капитала.

В 2013 г. меры надзорного реагирования были применены к 115 банкам в виде ограничений или запретов на осуществление отдельных операций, которые, по мнению регулятора, считаются сомнительными, связаны с обналечиванием денежных средств и выводом средств за границу [14].

Вопрос соблюдения кредитными организациями требований законодательства в области ПОД/ФТ рассматривался в ходе 419 проверок Банка России.

Вскрыты нарушения законодательства и обстоятельства, свидетельствующие о ненадлежащем управлении кредитными организациями риском легализации (отмывания) доходов, полученных преступным путем, в том числе отмечены многочисленные факты несоответствия правил внутреннего контроля банков по ПОД/ФТ требованиям законодательства, установлена вовлеченность ряда кредитных организаций в проведение сомнительных операций различного характера [15].

В 2013 г. в отношении 415 кредитных организаций было возбуждено 1233 дела об административных правонарушениях по статье 15.27 КоАП, в том числе 457 дел – в отношении должностных лиц. Если учесть что на 01.01.2013 г. количество действующих кредитных организаций составляло 956 [14], то 43 % кредитных организаций допускали правонарушения в сфере ПОД/ФТ (рис. 4).

Анализ показывает снижение во втором полугодии 2013 г. по сравнению со вторым полугодием 2012 г. объема сомнительных операций. Объем, который фиксирует Банк России, связанный с выводом денежных средств за рубеж, снизился более чем в два раза, а объем операций с наличными денежными средствами, соответственно, более чем на треть [15].

Накопленная статистика отзыва банковских лицензий [16] с учетом общего количества банков, имеющих регистрацию в субъектах федерального округа, позволяет определить рейтинг уязвимости региона в сфере легализации криминальных доходов (табл. 5).

Таким образом, нами определены функция и факторы для статистического исследования. Показателем функции легализации криминальных доходов является отзыв банковских лицензий за нарушения в сфере ПОД/ФТ. Фактор вывода денежных средств за границу – инвестиционный климат, фактор незаконного проведения сомнительных операций в сфере наличного обращения – инновационный потенциал. Оба фактора по гипотезе имеют обратную связь с функцией.

Проверка гипотезы состоит из двух частей. Первое предположение – чем хуже инвестиционный климат, тем выше уровень легализации криминальных доходов, выражаемый уровнем транзитных операций, связанных с выводом денежных средств за границу, второе предположение – чем ниже уровень инновационного потенциала, тем выше уровень легализации криминальных доходов, выражаемый уровнем незаконного обналичивания денежных средств.

Проведем проверку гипотезы о статистической связи между уровнем легализации криминальных доходов и уровнем инвестиционного климата, в качестве измерителей уровней используется рейтинговая оценка (табл. 6).

Рассмотрим показатели регрессионной статистики, характеризующие точность модели для имеющихся исходных данных (рис. 5). Коэффициент парной корреляции R показывает умеренную надежность формулы, близкую к сильной. Данными модели можно пользоваться для прогнозирования и подготовки решений по финансированию ракетно-космической отрасли в разрезе федеральных округов. Коэффициент R^2 показывает качество уравнения регрессии, модель на 42 % объясняет изменения уровня легализации криминальных доходов уровнем инвестиционного климата (связь обратная). Для проверки значимости модели регрессии использована F -статистика для зависимой переменной. Показатель значимости модели F равен $0,08 > 0,05$, превышение минимума погрешности не позволяет утверждать, что уравнение в целом значимо для уровня надежности 95 %. Используя

функцию Excel «ФРАСПОБР», найдено табличное значение критерия Фишера – 5,99, которое больше фактического – 4,42. Проверка значимости коэффициента при независимой переменной уравнения регрессии по P -значению дает результат 0,08, что также превышает минимум погрешности – 0,05. Это означает, что нельзя утверждать с надежностью 95 %, что улучшение рейтинга инвестиционного климата в федеральном округе на 1 снижает на 2,38 % уровень легализации доходов, полученных преступным путем, по показателю отношения отзыва лицензий на банковскую деятельность за нарушение Закона № 115-ФЗ к количеству действующих банков в федеральном округе, но параметры довольно близки к значимым, требуется проведение дальнейших исследований. Вероятность надежности модели 92 %, что не достигает норматива 95 %. Проведем проверку по критерию Стьюдента. Используя функцию Excel «СТЫЮД-РАСПОБР», найдено табличное значение критерия Стьюдента – 2,44 ($p = 95 \%$), 1,94 ($p = 90 \%$), таким образом, только для вероятности 90 % уравнение в целом значимо и значимы его коэффициенты, для вероятности 95 % табличное значение критерия Стьюдента больше фактической t -статистики ($2,44 > 2,10$), следовательно, нормативное требование значимости для уровня 95 % не выполняется.

Проведем проверку гипотезы о статистической связи между уровнем легализации криминальных доходов и уровнем инновационного потенциала, в качестве измерителей уровней используется рейтинговая оценка (табл. 7).

Таблица 5

Уровень легализации криминальных доходов

Федеральный округ	Количество отзыванных банковских лицензий за нарушение Закона РФ № 115-ФЗ в федеральном округе с 02.02.2013 г. по 01.05.2014 г.	Количество банков в федеральном округе на 01.01.2013 г.	Рейтинг уязвимости (2/3)	Ранг
1	2	3	4	5
ЦФО	19	564	0,033688	3
СКФО	7	50	0,14	8
ПФО	4	106	0,037736	4,5
СФО	2	53	0,037736	4,5
УФО	2	44	0,045455	7
ДФО	1	23	0,043478	6
СЗФО	0	70	0	1,5
ЮФО	0	46	0	1,5

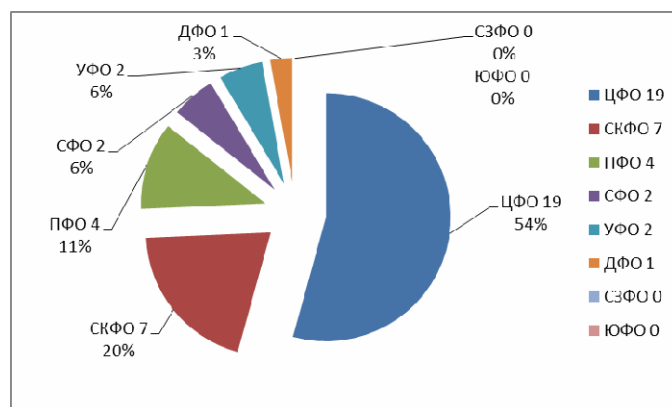


Рис. 4. Региональная структура легализации криминальных доходов в 2013 г.

Таблица 6

**Уровень легализации криминальных доходов и уровень инвестиционного климата
по федеральным округам за 2013 г. (база парной регрессии)**

Наименование федерального округа	Средний рейтинг инвестиционного климата (X)	Рейтинг уязвимости (Y)
ЦФО	2,50	0,033688
СЗФО	3,00	0
ПФО	2,00	0,037736
ЮФО	2,50	0
СКФО	5,00	0,14
УФО	4,00	0,045455
СФО	1,67	0,037736
ДФО	4,33	0,043478

ВЫВОД ИТОГОВ								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный R	0,651322							
R-квадрат	0,424221							
Нормированный R-квадрат	0,328257							
Стандартная ошибка	0,03566							
Наблюдения	8							
<i>Дисперсионный анализ</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	FРАСПОБР(0,05;1;6)		
Регрессия	1	0,005621	0,005621	4,420658	0,080196	5,987378		
Остаток	6	0,00763	0,001272					
Итого	7	0,013251						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
Y-пересечение	-0,03209	0,037543	-0,85473	0,425506	-0,12395	0,059774	-0,12395	0,059774
Переменная X 1	0,023792	0,011316	2,102536	0,080196	-0,0039	0,051481	-0,0039	0,051481

Рис. 5. Результаты регрессионного анализа
по независимой переменной – уровень инвестиционного климата

Таблица 7

**Уровень легализации криминальных доходов и уровень инновационного потенциала
по федеральным округам за 2013 г. и 2011 г. (база парной регрессии)**

Наименование федерального округа	Совокупный рейтинг инновационного потенциала	Средний рейтинг инновационного потенциала по субъектам	Реверсивный рейтинг, обратный графе 3 (X)	Рейтинг уязвимости (Y)
1	2	3	4	5
ЦФО	8,39	0,47	2,15	0,033688
СЗФО	4,29	0,39	2,56	0
ПФО	6,95	0,50	2,01	0,037736
ЮФО	2,18	0,36	2,75	0
СКФО	1,81	0,26	3,87	0,14
УФО	2,34	0,39	2,56	0,045455
СФО	4,28	0,36	2,80	0,037736
ДФО	2,77	0,31	3,25	0,043478

ВЫВОД ИТОГОВ								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный R	0,691485							
R-квадрат	0,478152							
Нормированный R-квадрат	0,391177							
Стандартная ошибка	0,033949							
Наблюдения	8							
<i>Дисперсионный анализ</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	1	0,006336	0,006336	5,497602	0,057474			
Остаток	6	0,006915	0,001153					
Итого	7	0,013251						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
У-пересечение	-0,0966	0,060426	-1,59859	0,161028	-0,24445	0,051261	-0,24445	0,051261
Переменная X 1	0,050585	0,021574	2,344696	0,057474	-0,00221	0,103375	-0,00221	0,103375

Рис. 6. Результаты регрессионного анализа по независимой переменной – уровень инновационного потенциала

Рассмотрим показатели регрессионной статистики, характеризующие точность модели для имеющихся исходных данных (рис. 6). Коэффициент парной корреляции $R = 0,69$ показывает умеренную надежность формулы, близкую к сильной. Данными модели можно пользоваться для прогнозирования и подготовки решений по финансированию ракетно-космической отрасли в разрезе федеральных округов. Коэффициент R^2 показывает качество уравнения регрессии, модель на 48 % объясняет изменения уровня легализации криминальных доходов уровнем инновационного потенциала (связь обратная). Для проверки значимости модели регрессии использована F -статистика для зависимой переменной. Показатель значимости F равный $0,057 > 0,05$ не позволяет утверждать, что уравнение в целом значимо. Используя функцию Excel «ГРАСПОБР», найдено табличное значение критерия Фишера – 5,99, которое больше фактического – 5,50. Проверка значимости коэффициента при независимой переменной уравнения регрессии по P -значению дает результат 0,057, что также превышает минимум погрешности 0,05. Это означает, что нельзя утверждать с надежностью 95 %, что улучшение рейтинга инновационного потенциала федерального округа на 1 снижает на 5,06 % отношение количества отозванных лицензий на банковскую деятельность за нарушение Закона № 115-ФЗ к количеству действующих банков в федеральном округе, но параметры довольно близки к значимым, требуется проведение дальнейших исследований. Вероятность надежности модели 94,2 %, что не достигает норматива 95 %. Проведем проверку по критерию Стьюдента. Используя функцию Excel «СТЮДРАСПОБР», найдено табличное значение критерия Стьюдента – 2,44 ($p = 95 \%$), 1,94 ($p = 90 \%$),

таким образом, только для вероятности 90 % уравнение в целом значимо и значимы его коэффициенты, для вероятности 95 % табличное значение критерия Стьюдента больше фактической t -статистики ($2,44 > 2,34$), следовательно, нормативное требование значимости 95 % не выполняется.

Заключение. Статистическая проверка гипотезы выявила тенденцию влияния улучшения инвестиционного климата на снижение уровня легализации доходов, полученных преступным путем, коэффициент корреляции для гипотезы 0,65. С вероятностью 90 % улучшение инвестиционного климата на 1 процентный пункт снижает уровень легализации на 0,02 процентных пункта.

Связь между повышением инновационного потенциала региона и снижением уровня легализации криминальных доходов более существенная и значимая, положительный коэффициент корреляции 0,69, регрессия – повышение инновационного потенциала региона на 1 процентный пункт способствует снижению легализации криминальных доходов на 0,05 процентных пункта.

Расчеты по двухфакторной линейной регрессионной модели позволили повысить надежность формулы, коэффициент множественной корреляции достиг значения 0,72. Таким образом, можно констатировать подтверждение гипотезы на уровне выявленной тенденции с вероятностью 90 %.

Благодарности. Работа поддержана ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г. В. Плеханова».

Acknowledgments. This work was supported by the Plekhanov Russian University of Economics.

Библиографические ссылки

1. Интервью А. Г. Силуанова на радио «Эхо Москвы» 21.06.2013 г. [Электронный ресурс] // Пресс-центр Минфина РФ. URL: http://www.minfin.ru/ru/press-center/?id_4=32582 (дата обращения: 24.11.2014).
2. Ерыгин Ю. В., Карелин О. И. Проблемы финансирования инновационной деятельности на предприятиях оборонно-промышленного комплекса / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т им. акад. М. Ф. Решетнева. Красноярск, 2007. 132 с.
3. Статистический бюллетень 2012 г. [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики. URL: www.gks.ru/bgd/regl/B12_04/IssWWW.exe/Stg/d07/02-00.htm (дата обращения: 24.11.2014).
4. Екимова К. В., Федина Е. В. Об особенностях финансирования процессов образования региональных кластеров // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. 2013. № 08. С. 66–69.
5. World Investment Report 2013: Global Value Chains: Investment and Trade for Development UNITED NATIONS PUBLICATION Sales No. E.13.II.D.5 ISBN 978-92-1-112868-0 eISBN 978-92-1-056212-6. [Электронный ресурс] URL: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2013_en.pdf (дата обращения: 24.11.2014).
6. Прямые инвестиции за 2013 г. Статистика внешнего сектора. Статистика [Электронный ресурс] / Банк России. URL: <http://www.cbr.ru/statistics/?PrtId=svs> (дата обращения: 24.11.2014).
7. Национальный рейтинг состояния инвестиционного климата в субъектах Российской Федерации [Электронный ресурс] / Агентство стратегических инициатив. Май 2014. URL: http://www.asi.ru/upload_docs/Rating2014.pdf (дата обращения: 24.11.2014).
8. Инвестиции. Факты и комментарии : информационно-аналитический бюллетень [Электронный ресурс]. 2013. Выпуск № 32. Департамент содействия инвестициям и инновациям ТПП РФ; Торгово-промышленная палата Российской Федерации. URL: <http://www.tpprf.ru/ru/publications/2564/> (дата обращения: 24.11.2014).
9. Рейтинг инновационных регионов России для целей мониторинга и управления (версия 2013-2.0) [Электронный ресурс] / Ассоциация инновационных регионов России. URL: <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2014/19919/4000.pdf> (дата обращения: 24.11.2014).
10. Валентей С. Д. Разработка оригинальной методики рейтингования субъектов РФ // Плехановский научный бюллетень. 2012. № 2. С. 145–151.
11. Показатели и рейтинги инновационного развития регионов в Европейском Союзе и России [Электронный ресурс] / Поволжское отделение Российской инженерной академии. Самара, 2013. URL: <http://www.i-regions.org/upload/pokazateliinnovacionnogo razvitiyaregionovESiRF.pdf> (дата обращения: 24.11.2014).
12. Руководство ФАТФ по применению риск-ориентированного подхода к предоплаченным картам, мобильным платежам и услугам онлайн-платежей [Электронный ресурс] / перевод с англ. подготовлен Международным учебно-методическим центром по финансовому мониторингу; ФАТФ. Париж, 2013. URL: http://www.mumcfm.ru/index.php/en/component/docman/cat_view/4-RBA%20mobile%20internet%20payments.pdf (дата обращения: 24.11.2014).
13. Виртуальные валюты : отчёт ФАТФ. Ключевые определения и потенциальные риски в сфере ПОД/ФТ. [Электронный ресурс] / ФАТФ/ОЭСР; перевод подготовлен Международным учебно-методическим центром по финансовому мониторингу АНО «МУМЦФМ». 2014. URL: www.cbr.ru/today/anti_legalisation/fatf/virtualnye_valyuty_fatf_2014.pdf (дата обращения: 24.11.2014).
14. Годовой отчет Банка России за 2013 г. [Электронный ресурс] / ЗАО «АЭИ «ПРАЙМ». URL: http://www.cbr.ru/publ/God/ar_2013.pdf (дата обращения: 24.11.2011).
15. Выступление Председателя Банка России Э. С. Набиуллиной на XXV съезде Ассоциации российских банков 2 апреля 2014 г. [Электронный ресурс] / пресс-центр Банка России. URL: http://www.cbr.ru/press/print.aspx?file=press_centre/Nabiullina_XXV-ARB_02042014.htm&pid=press&sid=ITM_25880 (дата обращения: 24.11.2014).
16. Полный список банков, прекративших свою деятельность вследствие ликвидации или отзыва лицензии Банком России в период с 1991 по 2015 гг. [Электронный ресурс] / ООО «Информационное агентство «Банки.ру». URL: <http://www.banki.ru/banks/memory/> (дата обращения: 24.11.2014).

References

1. Intervju A. G. Siluanovana Radio "EkhoMoskvy" 21.06.2013. Presscentr Minfin RF [An interview with A. G. Siluanov on the Radio "Echo of Moscow" 21.06.2013. Press Centre the Ministry of Finance of the Russian Federation]. Available at: http://www.minfin.ru/ru/press-center/?id_4=32582 (accessed 24.11.2014).
2. Erigin Y. V., Karelin O. I. Problemy finansirovaniya innovatsionnoi deyatel'nosti na predpriyatiyakh oboronno-promislennogo kompleksa. [Problems of financing of innovative activity of enterprises of the military-industrial complex.]. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2007, 132 p.
3. Statisticheskii bulletin 2012 goda. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoi statistiki [Statistical Bulletin 2012. Federal state statistics service]. Available at: http://www.gks.ru/bgd/regl/B12_04/IssWWW.exe/Stg/d07/02-00.htm (accessed 24.11.2014).
4. Ekimova K. V., Fedina E. V. [About the peculiarities of financing the formation of regional clusters]. Vestnik Rossiiskogo ekonomicheskogo universiteta im. G. V. Plekhanova. 2013, no. 08, p. 66–69 (In Russ.).
5. World Investment Report 2013: Global Value Chains: Investment and Trade for Development United Nations Publication. Available at: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/wir2013_en.pdf (accessed 24.11.2014).

6. *Pryamie investitsii za 2013 god. Statistika vneshnego sektora. Statistika. Bank Rossi i* [Direct investments for 2013. Statistics external sector. The statistics. The Bank Of Russia]. Available at: <http://www.cbr.ru/statistics/?PrId=svs> (accessed 24.11.2014).
7. *Natsionalnii reiting sostoyaniya investitsionnogo klimata v sub'ektakh Rossiiskoi Federatsii, mai 2014. Agentstvo strategicheskikh iniciativ* [National ranking of the investment climate in the Russian Federation, may 2014/ the Agency for strategic initiatives]. Available at: http://www.asi.ru/upload_docs/Rating2014.pdf (accessed 24.11.2014).
8. *Informatsionno-analiticheskii bulletin "Investitsii. Fakti I kommentarii, 2013, vip. 32.* [Information-analytical Bulletin "Investments. Facts and comments". 2013, iss. 32]. Available at: <http://www.tpprf.ru/ru/publications/2564/> (accessed 24.11.2014).
9. *Reiting innovatsionnikh regionov Rossii dlya tselei monitoringa i upravleniya (versiya 2013-2.0). Associatsiya innovatsionnikh regionov Rossii* [The rating of innovative regions of Russia for the purposes of monitoring and control (version 2013-2.0). The Association of innovative regions of Russia]. Available at: <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2014/19919/4000.pdf> (accessed 24.11.2014).
10. Valentey S. D. [Development of original methods of rating of the subjects of the Russian Federation] *Plekhanovskii nauchnii bulletin*. 2012, no. 02, p. 145–151 (In Russ.).
11. *Pokazateli i reiting iinnovatsionnogo razvitiya regionov v Evropeiskom Souze I Rossii. Povolgskoe Otdelenie Rossiiskoi Ingenernoii Akademii, Samara avgust 2013.* [Indicators and ratings of innovative development of regions in the European Union and Russia. Volga Department of Russian Engineering Academy, Samara August 2013]. Available at: <http://www.i-regions.org/upload/pokazateliinnovacionnogorazvitiyaregionovESiRF.pdf> (accessed 24.11.2014).
12. FATF (2013), FATF Guidance for a Risk-Based Approach to Prepaid Cards, Mobile Payments and Internet-Based Payment Services, FATF, Paris. Available at: www.fatf-gafi.org/topics/fatfrecommendations/documents/rba-npps-2013.html (accessed 24.11.2014).
13. FATF (2014), FATF Report: Virtual Currencies - Key Definitions And Potential AML/CFT Risks, FATF, Paris. Available at: <http://www.fatf-gafi.org/media/fatf/documents/reports/virtual-currency-key-definitions-and-potential-aml-cft-risks.pdf> (accessed 24.11.2014).
14. *Godovoi otchet Banka Rossii za 2013 god.* [Annual report of the Bank of Russia for 2013]. ZAO "AEI"PRIM" Publ. Available at: http://www.cbr.ru/publ/God/ar_2013.pdf (accessed 24.11.2014).
15. *Vistuplenie Predsedatelya Banka Rossii E. S. Nabiullinoi na XXV s'ezde Associatsii rossiiskikh bankov 2 aprelya 2014 goda. Press-centr Banka Rossii* [The speech of the Chairman of the Bank of Russia E. S. Nabiullina at the XXV Congress of the Association of Russian banks April 2, 2014. Press-centre of the Bank of Russia]. Available at: http://www.cbr.ru/press/print.aspx?file=press_centre/Nabiullina_XXV-ARB_02042014.htm&pid=press&sid=ITM_25880 (accessed 24.11.2014).
16. *Polnii spisok bankov, prekrativshikh svou deyatel'nost' vsledstvi likvidatsii ili otziva licenzii Bankom Rossii v period s 1991 po 2015 gg. OOO "Informatsionnoe agentstvo "Banki.ru"* [The full list of banks that ceased its activities due to liquidation or revocation of a license by the Bank of Russia in the period from 1991 to 2015. OOO "news Agency "Banks.ru"']. Available at: <http://www.banki.ru/banks/memory/> (accessed 24.11.2014).

НАЛОГООБЛОЖЕНИЕ ПОЛИСИСТЕМНЫХ МОНОПОЛИЙ

В. А. Бубнов, Д. С. Хаустов, Г. А. Хоменко

Иркутский государственный университет путей сообщения
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15
E-mail: bubnov_v@irgups.ru, dmitry.khaustov@rambler.ru, khomenko.gosha@mail.ru

Международные финансовые санкции, введенные против нашей страны в 2014 г., и наметившаяся рецессия ставят перед российской экономической наукой проблему поиска путей дальнейшего развития страны. Инфраструктурные проекты, как показывает мировой опыт, всегда являлись мощным средством стимулирования экономического роста. Для Российской Федерации, самой крупной страны в мире, наибольшую актуальность представляет транспортная инфраструктура, в которой ОАО «Российские железные дороги» играет определяющую роль. Железнодорожный транспорт, с момента его появления, традиционно является мощным локомотивом социально-экономического развития страны. Система налогообложения российских корпораций определена в отдельных статьях Налогового кодекса РФ, что затрудняет понимание влияния налогов на финансово-экономические результаты их деятельности. Как показывают статистические данные, крупные корпорации являются налогоплательщиками, формирующими основные доходы консолидированного федерального бюджета. Отдельные корпорации можно отнести к полисистемным монополиям, в том числе и ОАО «РЖД». Полисистемные монополии обладают существенным мультипликативным эффектом для экономического роста и развития. Следовательно, налоговая политика в отношении их должна учитывать эти особенности. Осуществленный анализ позволяет комплексно взглянуть на налоговую политику российского государства в отношении крупнейших корпораций, которая носит явно выраженный фискальный характер, в результате чего происходит изъятие финансовых ресурсов в централизованные государственные фонды в ущерб корпоративным финансам. Намечается тенденция снижения инвестиционной активности со стороны крупного бизнеса. Это касается как традиционной инфраструктуры, так и наукоемкой – аэрокосмической. Это привело к существенному снижению темпов экономического роста за период 2011–2014 гг., а в 2015–2016 гг. ожидается рецессия. Сформулированные положения позволяют использовать налогово-бюджетную политику для расширенного воспроизводства на основе использования потенциала полисистемных монополий. Это способно оказать существенное мультипликативное воздействие на российскую экономику, что в конечном итоге будет способствовать ускорению темпов социально-экономического развития нашей страны и росту налоговых поступлений во все уровни бюджета и государственные внебюджетные фонды.

Ключевые слова: полисистемная монополия, налоги, налогообложение, социально-экономическое развитие, корпорация.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 245–252**TAXATION POLYSYSTEMIC MONOPOLIES**

V. A. Bubnov, D. S. Khaustov, G. A. Khomenko

Irkutsk State University of Railway Transport
15, Chernyshevsky Str., Irkutsk, 664074, Russian Federation
E-mail: bubnov_v@irgups.ru, dmitry.khaustov@rambler.ru, khomenko.gosha@mail.ru

International financial sanctions imposed against our country in 2014, and outlined the recession put before the Russian economic science, the problem of finding ways of further development of the country. Infrastructure projects, as international experience shows, has always been a powerful tool to stimulate economic growth. For the Russian Federation – the largest country in the world is the greatest relevance transport infrastructure, in which JSC “Russian Railways” play a decisive role. Rail transport, since its inception, has traditionally been a powerful engine of social and economic development of the country. Russian system of taxation of corporations is defined in separate articles of the Tax Code, which makes it difficult to understand the impact of taxes on the financial and economic results of their activities. As statistics show, large corporations are taxpayers, form the basic income of the consolidated federal budget. Individual corporations can be attributed to polysystemic monopolies, including JSC “Russian Railways”. Polysystemic monopolies have a significant multiplier effect for economic growth and development. Consequently, the tax policy in respect thereof shall be taken into account these features. Implemented analysis allows a comprehensive

look at tax policy of the Russian state in relation to the largest corporations, which has obviously expressed fiscal nature. In resulting in the withdrawal of financial resources in central government funds to the detriment of corporate finance. There is a tendency of decrease in investment activity on the part of big business. This applies to both traditional infrastructure and knowledge-based – aerospace. This has led to a significant reduction in the rate of economic growth for the period 2011–2014 year, and in 2015–2016 is expected recession. Worded provisions allow the use of fiscal policy for the expanded reproduction through the use of potential polysystemic monopolies. This could have a significant multiplicative effect on the Russian economy, which ultimately will contribute to accelerate the pace of socio-economic development of our country and the growth of tax revenues at all levels of the budget and state funds.

Keywords: polysystem monopoly, taxes, taxation, socio-economic development corporation.

Введение. Российская экономика за последние тридцать лет была вынуждена делать нелегкий выбор дальнейших путей развития. При этом основным вопросом являлась дальнейшая судьба естественных монополий. Инфраструктурные монополии, такие как ОАО «Российские железные дороги», ОАО «Транснефть», ОАО «Сбербанк», ОАО «Газпром», Роскосмос, во многом влияют на экономический рост в Российской Федерации. Это в свою очередь требует четкого понимания данного явления в экономике, в том числе через призму налогообложения.

Экономическая сущность инфраструктуры. Как обобщает О. Рыкалина, «инфраструктуру принято подразделять на производственную, социально-бытовую и институциональную. Объектами производственной инфраструктуры являются: материально-техническое снабжение, грузовой транспорт, складское хозяйство, упаковочная индустрия, коммунальное хозяйство, строительная индустрия, связь, ремонтное обслуживание, каналы, речные и морские порты, аэропорты, железные и автомобильные дороги. К социально-бытовой инфраструктуре относятся: пассажирский транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, бытовое обслуживание, торговля и общественное питание, связь, здравоохранение, образование, банки, туризм, физическая культура и спорт. Институциональная инфраструктура включает: государственное управление, правосудие, финансы и кредит, сертификацию, лицензирование, экологию, налогообложение, безопасность, охрану правопорядка.

Необходимо отметить, что такие объекты, как транспортное хозяйство (грузовой и пассажирский транспорт), складское хозяйство, связь, коммунальное хозяйство, железные и автомобильные дороги, речные и морские порты, аэропорты, мосты и тоннели, одновременно входят в производственную и социально-бытовую инфраструктуру, так как обслуживают как материальное производство, так и население» [1].

Наличие развитой инфраструктуры оказывает существенное развитие на хозяйственную динамику региона. Так у Ю. Н. Гольской и И. А. Кузнецовой «в регионах с развитой сетью железнодорожных путей выявлена корреляционная связь объемов отправленных грузов с темпами роста ВРП. Установлено 37 регионов с сильной, 29 регионов со средней, 8 регионов со слабой корреляционной связью» [2]. Среди регионов с сильной корреляционной связью присутствует также и Иркутская область.

Налоговое регулирование деятельности полисистемных монополий. Уровень развития экономики прямо влияет на бюджетно-налоговую политику.

Следовательно, важным вопросом является выявление особенности налогообложения крупнейших корпораций, которые можно рассматривать в качестве полисистемных. В части первой НК РФ [3; 4] мы находим особые преференциальные условия по изменению срока уплаты налога и сбора. Как известно, последнее может осуществляться в форме отсрочки, рассрочки, инвестиционного налогового кредита (п. 3 ст. 61 НК РФ).

Отсрочка или рассрочка по уплате налога представляет собой изменение срока уплаты налога при наличии оснований, предусмотренных НК РФ, на срок, не превышающий один год, соответственно с единовременной или поэтапной уплатой суммы задолженности (абзац 1-й п. 1 ст. 64 НК РФ). В то же время отсрочка или рассрочка по уплате федеральных налогов в части, зачисляемой в федеральный бюджет, на срок более одного года, но не превышающий три года, может быть предоставлена по решению Правительства РФ (абзац 2-й п. 1 ст. 64 НК РФ).

Однако при соблюдении ряда условий отсрочка или рассрочка по уплате федеральных налогов на срок, не превышающий пять лет, может быть предоставлена по решению министра финансов Российской Федерации (абзац 2-й п. 1 ст. 64 НК РФ).

Данное понятие отражено в абзаце 2-м п. 1 ст. 64.1 НК РФ, из которого следует, что указанная отсрочка или рассрочка может быть предоставлена, если размер задолженности организации на 1-е число месяца подачи заявления о предоставлении отсрочки или рассрочки *превышает 10 млрд руб.* и ее единовременное погашение создает угрозу возникновения неблагоприятных социально-экономических последствий.

Статья 64.1 НК РФ была введена Федеральным законом от 26.11.2008 г. № 224-ФЗ. Очевидно, что включение указанной статьи в текст НК РФ было связано с попытками нивелировать негативные последствия мирового финансового кризиса 2008–2010 гг., как раз в то время докатившегося до России. У многих крупнейших отечественных корпораций начались проблемы с ликвидностью, в связи с чем в статье 64.1 появился абзац 2-й п. 5: «Отсрочка или рассрочка, предусмотренная настоящей статьей, может предоставляться без способов ее обеспечения».

При изменении срока уплаты налогов важно учитывать издержки налогового администрирования, по мнению А. П. Киреенко для малого и среднего бизнеса это не всегда целесообразно [5]. Крупные корпорации благодаря объемам финансовых активов, как правило, окупают все расходы налоговых органов по отсрочке, рассрочке и инвестиционному налоговому кредиту.

Одним из наиболее значимых налогов с точки зрения формирования доходной части федерального бюджета является налог на добавленную стоимость (НДС). Налогообложение НДС производится по ставкам (ст. 146, 149, 164 НК РФ): без НДС, 0, 10, 18 %.

Напомним, что ставки 0 % и без НДС различаются необходимостью в первом случае подтверждения обоснованности применения нулевой ставки (ст. 165 НК РФ) и отсутствием таковой необходимости – во втором.

Среди видов деятельности, которые, на наш взгляд, можно отнести к полисистемным (в ряде случаев) и инфраструктурным, не облагаются НДС следующие:

- оказание услуг по предоставлению права проезда транспортных средств по платным автомобильным дорогам общего пользования федерального значения, осуществляемых в соответствии с договором доверительного управления автомобильными дорогами, учредителем которого является РФ, за исключением услуг, плата за оказание которых остается в распоряжении концессионера в соответствии с концессионным соглашением (подп. 4.2 п. 2 ст. 146 НК РФ);

- оказание услуг по перевозке пассажиров городским пассажирским транспортом общего пользования (за исключением такси, в том числе маршрутного). При этом к услугам по перевозке пассажиров городским пассажирским транспортом общего пользования относятся услуги по перевозке пассажиров по единым условиям перевозок пассажиров по единым тарифам за проезд, установленным органами местного самоуправления, в том числе с предоставлением всех льгот на проезд, утвержденных в установленном порядке (абзац 1-й и 2-й подп. 7 п. 2 ст. 149 НК РФ);

- услуг по перевозке пассажиров морским, речным, железнодорожным или автомобильным транспортом (за исключением такси, в том числе маршрутного) в пригородном сообщении при условии осуществления перевозок пассажиров по единым тарифам с предоставлением всех льгот на проезд, утвержденных в установленном порядке (абзац 1-й и 3-й подп. 7 п. 2 ст. 149 НК РФ).

Все перечисленные выше транспортные услуги в современном обществе относятся к инфраструктуре или, говоря языком российской методологической школы, транспортная отрасль должна быть организована инфраструктурно. Последнее означает, что транспортная отрасль вообще и ОАО «Российские железные дороги» в частности должна отвечать и в большинстве случаев отвечает следующим организационным принципам [6]:

- 1) высокая автономность работы транспортной системы;

- 2) крайне высокая устойчивость функционирования транспортной системы;

- 3) высокий потенциал транспортной сети, позволяющий развивать множество других структур и систем (например, железнодорожная сеть позволяет вводить в разработку новые месторождения полезных ископаемых, в узловых пунктах железнодорожного сообщения возникают и растут города, благодаря путям сообщения развиваются транспортно-экспедиторские компании и т. д.);

- 4) избыточность возможностей железнодорожной сети, изначально обеспечивавших функцию подстраховки на случай аварий, а впоследствии – функцию развития, что, строго говоря, относится не только к транспорту, но и, например, к платежным системам на базе дорожных чеков или пластиковых карт.

Описанные выше признаки позволяют нам говорить об инфраструктуре как о полисистеме [7]. По нашему мнению, к полисистемным монополиям можно, в частности, отнести услуги по перевозке пассажиров железнодорожным транспортом в пригородном сообщении (так называемые электрички), которые к тому же несут ярко выраженную социальную функцию. Содержание платных дорог федерального значения также, на наш взгляд, должно быть отнесено к полисистемным монополиям. Муниципальный транспорт, безусловно, являясь инфраструктурой, в то же время слишком локален для того, чтобы считаться на полном праве полисистемной монополией.

Среди видов деятельности, которые можно отнести к области компетенций полисистемных монополий, облагаемых НДС по ставке 0 %, можно отметить следующие (подп. 2.1–2.8., 3, 3.1, 4, 5, 9, 9.1, 12 п. 1 ст. 164 НК РФ):

- услуги по международной перевозке товаров, т. е. перевозки товаров морскими, речными судами, судами смешанного (река–море) плавания, воздушными судами, железнодорожным транспортом и автотранспортными средствами, при которых пункт отправления или пункт назначения товаров расположен за пределами территории РФ;

- услуги по предоставлению принадлежащего на праве собственности или на праве аренды, в том числе финансовой аренды (лизинга), железнодорожного подвижного состава и (или) контейнеров для осуществления международных перевозок;

- транспортно-экспедиционные услуги, оказываемые на основании договора транспортной экспедиции при организации международной перевозки;

- транспортно-экспедиционные услуги и услуги по предоставлению принадлежащего на праве собственности или на праве аренды, в том числе финансовой аренды (лизинга), железнодорожного подвижного состава и (или) контейнеров для осуществления международных перевозок, оказываемые при организации и осуществлении перевозок железнодорожным транспортом от места прибытия товаров на территорию РФ (от портов или пограничных станций, расположенных на территории РФ) до станции назначения товаров, расположенной на территории РФ;

- работы (услуги), выполняемые (оказываемые) организациями трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, по транспортировке нефти, нефтепродуктов вне зависимости от даты их помещения под соответствующую таможенную процедуру из пункта отправления, расположенного на территории РФ, до границы РФ для последующего вывоза трубопроводным транспортом за пределы территории РФ, либо до морских портов РФ для последующего вывоза за пределы территории РФ морским транспортом, либо до пункта перевалки (перегрузки, слива, налива)

на иные виды транспорта, в том числе на трубопроводный, расположенный на территории РФ, для последующего вывоза за пределы территории РФ иными видами транспорта, в том числе трубопроводным;

- работы (услуги), выполняемые (оказываемые) организациями трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, по перевалке и (или) перегрузке нефти и нефтепродуктов, вывозимых за пределы территории РФ, в том числе в морских, речных портах, вне зависимости от даты их помещения под соответствующую таможенную процедуру;

- услуги по организации транспортировки трубопроводным транспортом природного газа, вывозимого за пределы территории РФ (ввозимого на территорию РФ), в том числе помещенного под таможенную процедуру таможенного транзита, а также услуг по транспортировке (организации транспортировки) трубопроводным транспортом природного газа, ввозимого на территорию РФ для переработки на территории РФ;

- услуги, оказываемые организацией по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью по передаче по единой национальной (общероссийской) электрической сети электрической энергии, поставка которой осуществляется из электроэнергетической системы РФ в электроэнергетические системы иностранных государств;

- работы (услуги), выполняемые (оказываемые) российскими организациями (за исключением организаций трубопроводного транспорта) в морских, речных портах по перевалке и хранению товаров, перемещаемых через границу РФ, в товаросопроводительных документах которых указан пункт отправления и (или) пункт назначения, находящийся за пределами территории РФ;

- услуги по предоставлению железнодорожного подвижного состава и (или) контейнеров, а также транспортно-экспедиционные услуги, оказываемые российскими организациями или индивидуальными предпринимателями, владеющими железнодорожным подвижным составом и (или) контейнерами на праве собственности или на праве аренды, в том числе финансовой аренды (лизинга), для осуществления перевозки или транспортировки железнодорожным транспортом экспортируемых товаров или продуктов переработки при условии, что пункт отправления и пункт назначения находятся на территории РФ;

- работы (услуги), выполняемые (оказываемые) организациями внутреннего водного транспорта, в отношении товаров, вывозимых в таможенной процедуре экспорта при перевозке (транспортировке) товаров в пределах территории РФ из пункта отправления до пункта выгрузки или перегрузки (перевалки) на морские суда, суда смешанного (река–море) плавления или иные виды транспорта;

- работы (услуги), непосредственно связанные с перевозкой или транспортировкой товаров, помещенных под таможенную процедуру таможенного транзита при перевозке иностранных товаров от таможенного органа в месте прибытия на территорию РФ до таможенного органа в месте убытия с территории РФ;

- услуги, оказываемые зарубежными организациями и индивидуальными предпринимателями, по предоставлению принадлежащего на праве собственности или на праве аренды, в том числе финансовой аренды (лизинга), железнодорожного подвижного состава и (или) контейнеров для осуществления услуг по перевозке или транспортировке железнодорожным транспортом товаров, перемещаемых через территорию РФ с территории иностранного государства, не являющегося членом Таможенного союза (ТС), в том числе через территорию государства – члена ТС, или с территории государства – члена ТС на территорию другого иностранного государства, в том числе являющегося членом ТС;

- транспортно-экспедиционные услуги, оказываемые зарубежными организациями и индивидуальными предпринимателями на основе договора транспортной экспедиции при организации услуг по перевозке или транспортировке железнодорожным транспортом товаров, перемещаемых через территорию РФ с территории иностранного государства, не являющегося членом ТС, в том числе через территорию государства – члена ТС, или с территории государства – члена ТС на территорию другого иностранного государства, в том числе являющегося членом ТС;

- услуги по перевозке пассажиров и багажа при условии, что пункт отправления или пункт назначения пассажиров и багажа расположены за пределами территории РФ, при оформлении перевозок на основании единых международных перевозочных документов;

- товары (работы, услуги) в области космической деятельности;

- выполняемые российскими перевозчиками на железнодорожном транспорте работы (услуги) по перевозке или транспортировке экспортируемых за пределы территории РФ товаров и вывозу с территории РФ продуктов переработки на территории РФ;

- работы (услуги), выполняемые российскими перевозчиками на железнодорожном транспорте, связанные с перевозкой или транспортировкой экспортируемых за пределы территории РФ товаров и вывозом с территории РФ продуктов переработки на территории РФ, стоимость которых указана в перевозочных документах на перевозку экспортируемых товаров (вывозимых продуктов переработки);

- выполняемые (оказываемые) российскими перевозчиками на железнодорожном транспорте работы (услуги) по перевозке или транспортировке товаров, вывозимых с территории РФ на территорию государства – члена ТС, и работы (услуги), непосредственно связанные с перевозкой или транспортировкой указанных товаров, стоимость которых указана в перевозочных документах на перевозку товаров;

- выполняемые (оказываемые) российскими перевозчиками на железнодорожном транспорте работы (услуги) по перевозке или транспортировке товаров, перемещаемых через территорию РФ с территории иностранного государства, не являющегося членом ТС, в том числе через территорию государства – члена ТС, или с территории государства – члена ТС на территорию другого иностранного государства, в том

числе являющегося членом ТС, и работы (услуги), непосредственно связанные с перевозкой или транспортировкой указанных товаров, стоимость которых указана в перевозочных документах на перевозку товаров;

– работы (услуги) по перевозке (транспортировке) вывозимых за пределы территории РФ или ввозимых на территорию РФ товаров морскими судами и судами смешанного (река–море) плавания на основании договоров фрахтования судна на время (тайм-чартер).

Относительно представленного выше перечня можно сделать следующие выводы.

1. Ставка НДС 0 % имеет отношение, прежде всего, к внешнеторговой инфраструктуре. Наибольший интерес со стороны законодателя проявлен к железнодорожному и трубопроводному видам транспорта, т. е. к вывозу сырья. В общем-то, это предсказуемо в силу структуры российского экспорта. Кроме того, транспортная составляющая внешнеторговой инфраструктуры даже формально занимает первое место среди функциональных подсистем последней [8].

2. Значительное число дополнительных подпунктов (подп. 2.1–2.8, 3.1, 9.1 п. 1 ст. 164 НК РФ) указывает на то, что законодатель адаптировал налоговую систему под нужды инфраструктур и полисистемных монополий на протяжении 2000–2014 гг. Нет сомнений, что «отладка» законодательства будет происходить и дальше.

3. В определенном смысле «белой вороной» выглядят товары (работы, услуги) в области космической деятельности среди работ и услуг по вывозу сырья. Космонавтика – один из немногих видов высокотехнологичных услуг, оказываемых инфраструктурой, функционирующей в РФ, что, вероятно, и предопределило желание ее поддержать с помощью нулевой ставки НДС. Нельзя не отметить стратегического значения космических инфраструктур, в частности GPS, в контроле западных стран, прежде всего США, над характером и динамикой хозяйственного развития стран экономической периферии. Результатом в том числе и этих воздействий является воспроизводство отношений в рамках категориальной рамки «центр–периферия», т. е. того процесса, что сейчас принято называть глобализацией [9].

4. Очевидно, что услуги транспортной инфраструктуры, оказываемые на территории РФ, облагаются НДС по ставке 18 % (п. 3 ст. 164 НК РФ). Среди них: перевозка пассажиров и багажа в поездах дальнего следования, грузовые перевозки по территории РФ, транспортно-экспедиторские услуги по грузовым перевозкам по территории РФ, услуги по предоставлению в аренду подвижного состава и (или) контейнеров и т. п.

Следующей законодательной новацией, представляющей собой «эхо» мирового финансового кризиса, докатившегося до России в 2009 г. в форме дефицита ликвидности в отечественной экономике, является введенный Федеральным законом от 17.12.2009 г. № 318-ФЗ заявительный характер возмещения НДС.

Заявительный порядок возмещения НДС представляет собой осуществление зачета (возврата) суммы этого налога, заявленной к возмещению в налоговой

декларации, до завершения проводимой на основе этой налоговой декларации камеральной налоговой проверки (п. 1 ст. 176.1 НК РФ). В частности, право на применение заявительного порядка возмещения налога имеют налогоплательщики-организации, у которых совокупная сумма НДС, акцизов, налога на прибыль организаций и НДСПИ, уплаченная за три календарных года, предшествующих году, в котором подается заявление о применении заявительного порядка возмещения налога, без учета сумм налогов, уплаченных в связи с перемещением товаров через границу РФ и в качестве налогового агента, составляет *не менее 10 млрд руб.* Указанные налогоплательщики вправе применить заявительный порядок возмещения налога, если со дня создания соответствующей организации до дня подачи налоговой декларации прошло *не менее трех лет* (подп. 1 п. 2 ст. 176.1 НК РФ).

Заявительный порядок возмещения НДС – не такая уж явная преференция для крупнейших отечественных корпораций. Не секрет, что камеральная налоговая проверка (с учетом проверок в обособленных налоговых подразделениях) крупнейших российских налогоплательщиков идет практически непрерывно, а указанная законодательная новация призвана запустить механизм ускорения возврата «входящего» НДС, т. е. пополнения оборотных средств крупнейших российских компаний, ряд из которых представляет собой полисистемные монополии.

На момент написания статьи самым «свежим» образцом адаптации налогового законодательства к нуждам полисистемных монополий является интродукция в НК РФ понятия «налоговый мониторинг» (ФЗ от 04.11.2014 № 348-ФЗ). Согласно этому закону налоговые органы не вправе проводить выездные налоговые проверки за период, за который проводится налоговый мониторинг в отношении налогов, обязанность по исчислению и уплате которых возложена на налогоплательщика (п. 5.1 ст. 89 НК РФ).

Основным понятием, которым оперирует законодатель при осуществлении налогового мониторинга, является регламент информационного взаимодействия (между налогоплательщиком и налоговыми органами). В регламенте информационного взаимодействия отражается порядок представления налогового органу документов (информации), служащих основаниями для исчисления (удержания), уплаты (перечисления) налогов и сборов в электронной форме, и (или) доступа к информационным системам организации, в которых содержатся указанные документы (информация), по выбору организации. Также в регламенте информационного взаимодействия указывается порядок ознакомления налогового органа с подлинниками таких документов в случае необходимости (абзац 1-й п. 6 ст. 105.26 НК РФ).

При этом налогоплательщик-организация вправе обратиться в налоговый орган с заявлением о проведении налогового мониторинга при одновременном соблюдении следующих условий (п. 3 ст. 105.26 НК РФ):

1) совокупная сумма НДС, акцизов, налога на прибыль организаций и НДСПИ, подлежащих уплате в бюджетную систему РФ за календарный год, предшествующий году, в котором представляется

заявление о проведении налогового мониторинга, без учета налогов, подлежащих уплате в связи с перемещением товаров через таможенную границу ТС, составляет *не менее 300 млн руб.*;

2) суммарный объем полученных доходов по данным годовой бухгалтерской (финансовой) отчетности налогоплательщика-организации за календарный год, предшествующий году, в котором представляется заявление о проведении налогового мониторинга, составляет *не менее 3 млрд руб.*;

3) совокупная стоимость активов по данным бухгалтерской (финансовой) отчетности налогоплательщика-организации на 31 декабря календарного года, предшествующего году, в котором представляется заявление о проведении налогового мониторинга, составляет *не менее 3 млрд руб.*

Положения о налоговом мониторинге вступают в силу с 01 января 2015 г. (п. 1 ст. 2 ФЗ от 04.11.2014 г. № 348-ФЗ). Будущее покажет, какой макроэкономический и общесоциальный эффект принесет эта законодательная новация.

Консолидированная группа налогоплательщиков. В то же время такая законодательная новация, как консолидированная группа налогоплательщиков (гл. 3.1 НК РФ), ориентированная на крупнейшие финансово-промышленные группы, не показала значимых результатов – по крайней мере, они не доступны широкой общественности. Хотя в теории консолидированная группа налогоплательщиков должна была предоставлять определенные преимущества, как налогоплательщикам, так и налоговым органам.

«Во-первых, использование консолидированной отчетности по налогу на прибыль организаций и уплата этого налога в целом исходя из финансового результата по консолидированной группе налогоплательщиков снижают стимулы для применения трансфертного ценообразования участниками такой группы в целях минимизации сумм налога. Следовательно, снижаются и негативные эффекты, связанные с перемещением налоговой базы между субъектами РФ и муниципальными образованиями. Во-вторых, создаются условия для объединения ряда процедур налогового администрирования, применяемых по отношению к участникам консолидированной группы налогоплательщиков, путем переложения основных обязанностей по исчислению и уплате налога на прибыль организаций, уплате пеней и штрафов, а также по представлению в налоговый орган соответствующей налоговой декларации на одно лицо – ответственного участника консолидированной группы налогоплательщиков. Это приведет к снижению издержек, связанных с исполнением законодательства о налогах и сборах. В-третьих, объединение налоговой базы по налогу на прибыль организаций создает для взаимозависимых организаций – участников консолидированной группы налогоплательщиков преференции, которые выражаются в возможности суммировать прибыли и убытки различных участников этой группы при исчислении налога на прибыль организаций» [10].

Наконец, имеется ряд особенностей налогообложения производственного капитала инфраструктур и полисистемных монополий.

Например, согласно п. 2 ст. 358 НК РФ не облагаются транспортным налогом:

- пассажирские и грузовые морские, речные и воздушные суда, основным видом деятельности которых является осуществление пассажирских и (или) грузовых перевозок;
- самолеты и вертолеты санитарной авиации и медицинской службы;
- морские стационарные и плавучие платформы, морские передвижные буровые установки и буровые суда.

Согласно той же статье, транспортным налогом облагаются автомобили, мотоциклы, мотороллеры, автобусы и другие самоходные машины и механизмы на пневматическом и гусеничном ходу, самолеты, вертолеты, теплоходы, яхты, парусные суда, катера, снегоходы, мотосани, моторные лодки, гидроциклы, несамоходные (буксируемые суда) и другие водные и воздушные транспортные средства (п. 1 ст. 358 НК РФ). Из этого перечня транспортных средств можно сделать вывод, что космические транспортные средства, железнодорожные локомотивы, трамваи и троллейбусы освобождены от уплаты транспортного налога.

Существуют свои особенности при определении объекта налогообложения и формирования налоговой базы по налогу на имущество организаций. В частности, не признаются объектами налогообложения по указанному налогу (подп. 5 и 6 п. 4 ст. 374 НК РФ):

- ледоколы, суда с ядерными энергетическими установками и суда атомно-технологического обслуживания;
- космические объекты.

Производственный капитал полисистемных монополий упомянут также и статье 380 НК РФ. Согласно п. 1 последней, стандартная налоговая ставка по налогу на имущество организаций не может превышать 2,2 %. Однако согласно п. 3 той же статьи, налоговые ставки, определяемые законами субъектов РФ в отношении железнодорожных путей общего пользования, магистральных трубопроводов, линий энергоснабжения, а также сооружений, являющихся неотъемлемой технологической частью указанных объектов, не могут превышать в 2013 г. 0,4 %, в 2014 г. – 0,7 %, в 2015 г. – 1,0 %, в 2016 г. – 1,3 %, в 2017 г. – 1,6 %, в 2018 г. – 1,9 %. Это происходит на фоне снижения рентабельности деятельности ОАО «РЖД» в течение ряда последних лет [11].

Результаты проведенного анализа налогообложения. Становится достаточно очевидно, что НК РФ предусматривает существенные льготы по имущественным налогам на объекты инфраструктуры. Однако почему они вообще облагаются налогом? Например, упомянутый выше п. 3 ст. 380 НК РФ введен Федеральным законом от 29.11.2012 г. № 202-ФЗ в период постепенного скатывания российской экономики в рецессию. Логичнее было бы вообще освободить от налогообложения производственный капитал полисистемных монополий. Однако этого не случилось.

На наш взгляд, тому две причины. Во-первых, чисто фискальный интерес расширенного правительства.

Во-вторых, можно вспомнить соображения Дж. М. Кейнса. В своей наиболее известной работе он пишет, «что до достижения уровня полной занятости рост капитала вообще не стимулируется слабой склонностью к потреблению, а напротив, сдерживается ею. Только в условиях полной занятости слабая склонность к потреблению способствует росту капитала. Более того, опыт показывает, что в нынешних условиях сбережения... более чем достаточны, и мероприятия, направленные на перераспределение доходов и ведущие к усилению склонности к потреблению, могут оказаться весьма благоприятными для роста капитала. <...> Если государство использует поступления от налога на наследство на покрытие своих обычных расходов, так что налоги на доходы и на потребление соответственно уменьшаются или вовсе отменяются, тогда, конечно, верно, что политика высоких налогов на наследство увеличивает склонность общества к потреблению, усиливает, как правило (т. е. за исключением условий полной занятости), также и побуждение к инвестированию...» [12]. На наш взгляд, мы можем заменить словосочетание «налог на наследство» на «налоги на имущество», и все становится на свои места: введение налогообложения железнодорожных путей, линий электропередач и магистральных трубопроводов может простимулировать полисистемные монополии более активно использовать имеющиеся у них в наличии объекты инфраструктуры. Но здесь важно не заменить финансовым капиталом производственный, о чем справедливо предупреждал Г. Форд [13], который наблюдал данную тенденцию еще в начале XX века.

На наш взгляд, в описанных выше особенностях налогообложения заключается одна из причин того, что российский крупный бизнес пережил кризис 2008–2009 гг. существенно лучше, чем ожидалось. «Он не только сумел избежать массовых банкротств, но и смог продолжить зарубежную инвестиционную экспансию, совершенствование структур корпоративного управления и переход от модели «одна фирма – один хозяин» к более гибкой модели «альянса совладельцев» [14]. При этом «российское правительство использовало собственные ресурсы для снабжения экономики кредитными средствами. <...> чтобы позволить крупным российским компаниям реструктурировать свои долговые обязательства и не допустить перехода пакетов акций, заложенных в обеспечение внешних займов, в собственность зарубежных кредиторов» [14]. Это, в свою очередь, будет способствовать росту инвестиционной активности реального сектора экономики в целом и полисистемных монополий в частности [15].

Заключение. Стимулирование комплексного развития (экономического, социального и социально-экономического) является основной задачей на современном этапе. Эффективное налогообложение полисистемных монополий должно выполнять не только фискальную, но и регулирующую функцию. Это способно оказать положительное влияние как на традиционную инфраструктуру – железнодорожный транспорт, так и на наукоемкую – аэрокосмическую отрасль.

Библиографические ссылки

1. Рыкалина О. Инфраструктура как фактор экономического роста и ее логистическая составляющая // *Логистика*. 2012. № 2. С. 36–39.
2. Гольская Ю. Н., Кузнецова И. А. Оценка влияния транспорта на социально-экономическое развитие регионов // *Известия Иркутской государственной экономической академии*. 2010. № 5(73). С. 61–64.
3. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть первая) от 31.07.1998 г. № 146-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: http://бюджет-сервис.рф/doc/fz/fz_146_nalog_kodeks_1.htm (дата обращения: 01.09.2014).
4. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 05.08.2000 г. № 117-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: http://бюджет-сервис.рф/doc/fz/fz_117_nalog_kodeks_2.htm (дата обращения: 01.09.2014).
5. Киреенко А. П. Налоговая система: накопленный опыт и пути развития. Иркутск : Изд-во БГУЭП, 2004. 242 с.
6. Копылов Г. Регион-сеть и региональные программы // *Федеральные и региональные программы России*. 2005. № 41. С. 82–95.
7. Бубнов В. А., Хаустов Д. С., Хоменко Г. А. Полисистемная монополия: бюджетно-налоговый аспект. Новосибирск : Наука, 2015. 224 с.
8. Улыбина Т. П. Сущность методики управления развитием инфраструктуры внешней торговли региона // *Известия Иркутской государственной экономической академии*. 2009. № 1(63). С. 112–115.
9. Хаустов Д. С. Глобализация: типичность и уникальность с позиций мир-системного анализа // *Известия Иркутской государственной экономической академии*. 2010. № 5 (73). С. 127–130.
10. Консолидированные группы налогоплательщиков. Кто они? [Электронный ресурс]. URL: <http://nalogkodeks.ru/konsolidirovannye-gruppy-nalogoplat/> (дата обращения: 09.11.2014).
11. Финансовая отчетность по российским стандартам ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. URL: http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32#3 (дата обращения: 30.09.2014).
12. Кейнс Дж. М. Общая теория занятости, процента и денег / пер. с англ. проф. Н. Н. Любимова. М. : Гелиос АРВ, 2012. 352 с.
13. Форд Г. Сегодня и завтра. М. : Финансы и статистика, 1992. 240 с.
14. Афонцев С., Ли Дж. Российский крупный бизнес в условиях глобального кризиса // *Вопросы экономики*. 2013. № 5. С. 40–55.
15. Шуплецов А. Ф. Инвестиции: основы выбора и принятия решений. Иркутск : Изд-во БГУЭП, 2003. 334 с.

References

1. Rykalin A. [Infrastructure as a factor of economic growth and its logistic component]. *Logistika*. 2012, No. 2, P. 36–39 (In Russ.).
2. Gol Y. N., Kuznetsova I. A. [Assessing the impact of transport on the socio-economic development of regions]. *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy*

ekonomicheskoy akademii. 2010, No. 5 (73), P. 61–64 (In Russ.).

3. *Nalogovyy kodeks Rossiyskoy Federatsii (chast' pervaya) ot 31.07.1998 № 146-FZ*. [Tax Code of the Russian Federation (part one) from 31.07.1998 № 146-FZ. Available at: http://бюджет-сервис.пф/doc/fz/fz_146_nalog_kodeks_1.htm (accessed: 01.09.2014).

4. Tax Code of the Russian Federation (Part Two) from 05.08.2000 № 117-FZ. Available at: http://бюджет-сервис.пф/doc/fz/fz_117_nalog_kodeks_2.htm (accessed: 01.09.2014).

5. Kireenko A. P. *Nalogovaya sistema: nakoplenyy opyt i puti razvitiya* [The tax system: lessons learned and the way forward]. Irkutsk, Izd. BGUEP Publ., 2004, 242 p.

6. Kopylov G. [Area Network and regional programs]. *Federal'nye i regional'nye programmy Rossii*. 2005, No. 41, P. 82–95 (In Russ.).

7. Bubnov V. A., Khaustov D. S., Khomenko G. A. *Polisistemnaya monopoliya: byudzheto-nalogovyy aspekt* [Polysystem monopoly: the budget and tax aspect]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2015, 224 p.

8. Ulybina T. P. [The essence of the method of management of the development of foreign trade infrastructure in the region]. *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii*. 2009, No. 1 (63), P. 112–115 (In Russ.).

9. Khaustov D. S. [Globalization: typical and unique from the standpoint of world-systems analysis]. *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii*. 2010, No. 5(73), P. 127–130 (In Russ.).

10. *Konsolidirovannye gruppy nalogoplatel'shchikov. Kto oni?* [Consolidated group of taxpayers. Who are they?]. Available at: <http://nalogkodeks.ru/konsolidirovannye-gruppy-nalogoplat> (accessed: 09.11.2014).

11. *Finansovaya otchetnost' po rossiyskim standartam OAO "RZHD"* [The financial statements according to Russian standards of JSC "Russian Railways"]. Available at: http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32#3 (accessed: 30.09.2014).

12. Keynes J. *Obshchaya teoriya zanyatosti, protsenta i deneg* [General Theory of Employment, Interest and Money]. Trans. from English. prof. N. N. Lyubimov. Moscow, Gelios ARV Publ., 2012, 352 p.

13. Ford G. *Segodnya i zavtra*. [Today and tomorrow]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1992, 240 p.

14. Afontsev S., Lee J. [Russian big business in the global crisis]. *Voprosy ekonomiki*. 2013, No. 5, P. 40–55 (In Russ.).

15. Shupletsov A. F. *Investitsii: osnovy vybora i prinyatiya resheniy*. [Investing: Fundamentals of choice and decision-making]. Irkutsk, Izd-vo BGUEP Publ., 2003, 334 p.

**РОЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ РЫНКОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ
ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ИННОВАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ**З. А. Васильева¹, И. В. Филимонок¹, А. А. Лукьянова², А. Н. Фалалеев²¹Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

E-mail: ifilimonenko@sfu-kras.ru

²Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева

Российская Федерация, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89

В период смены модели экономического развития неизбежно усиливается неравномерность внутренних преобразований в региональных экономических системах (РЭС), обостряются противоречия между структурой спроса и предложения на локальных рынках продукции и ресурсов, что приводит к увеличению структурных дисбалансов и снижению устойчивости РЭС. Большая часть данных проблем обусловлена современными особенностями развития экономики: пространственным характером размещения, технологической многоукладностью и отраслевой неравномерностью инновационного развития, вследствие которых потребности субъектов хозяйствования различаются в разных секторах экономики. В результате перед субъектами управления регионом возникают задачи одновременного создания условий как для устойчивого функционирования существующих рынков конкурентоспособной продукции и традиционных экономических ресурсов, так и для формирования новых рынков инновационной продукции и нового качества ресурсов. Исследование особенностей данного периода позволило рассматривать устойчивость РЭС, с одной стороны, как способность к непрерывному наращиванию показателей социально-экономического развития при повышении эффективности использования ресурсов, с другой – как способность к сохранению целевой траектории развития с учетом структурных изменений в сегментах экономики региона. Наличие причинно-следственных связей между процессами развития в рыночной, воспроизводственной подсистемах региона и эффектами экономического роста раскрывает роль локальных рынков (элементы рыночной подсистемы, структурные факторы роста, индикаторы экономического развития) и различные аспекты влияния на устойчивость РЭС, позволяет использовать локальные рынки в управлении устойчивостью РЭС. Обоснован системный характер влияния локальных рынков на устойчивость экономики региона. Определена необходимость формирования двух групп условий: необходимых для достижения эффектов регионального развития в сегментах экономики региона и достаточных, обеспечивающих сбалансированность изменений в системе локальных рынков.

Ключевые слова: локальный рынок, устойчивость региональной экономической системы, переход к инновационной модели развития, необходимые и достаточные условия устойчивости, сбалансированность.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 253–261**THE ROLE OF LOCAL MARKETS IN PROVIDING STABILITY OF REGIONAL ECONOMY
IN THE TIME OF CONVERSION TO INNOVATION MODEL OF DEVELOPMENT**Z. A. Vasil'eva¹, I. V. Filimonenko¹, A. A. Luk'yanova², A. N. Falaleev²¹Siberian Federal University

79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

E-mail: ifilimonenko@sfu-kras.ru

²Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafev,

89, Ada Lebedeva str., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

In the time of economic model changes the regional economic systems' (RES) internal transformation flatness increases inevitably, the contradictions between supply and demand on the local markets become sharper, that reduces to structural misbalance' increase and RES stability decrease. The most part of the problems numbered is specified by contemporary economic development peculiarities: spatial type of placement, technologically heterogeneous economy and trade irregularity of the innovation development, in consequence of which the needs of economic players are various in different sectors. As the result, the tasks of providing conditions for existing competitive products and traditional economic resources, stable work of the market, and new innovation products and new quality of resources markets formation as well come into existence. This period of features investigation allowed scrutinizing RES' firmness as the aptitude for persistent increase of socio-economic development indicators in the terms of resources usage efficiency

rise, and also as the facility for retention of target trajectory of development in terms of structural changes in the regional economic sections. The existence of cause-and-effect relations between the development processes in the market reproduction subsystem of the region and the economic growth effects uncover the local market role (elements of the market subsystem, structural factors of growth, economic development indicators) and the various aspects of impact on the RES' firmness, make possible to use the local markets to manage RES stability. The systemic type of local market influence on the regional economic stability is substantiated in the article. The necessity of two groups of conditions forming is determined. These two groups consist of indispensable and sufficient factors for achievement of regional development effects in the regional economic segments and provide balanced changes in the local market system.

Keywords: the local market, the regional economic system stability, conversion to innovation model of development, indispensable and sufficient factors of stability, balance.

Введение. Анализ индекса глобальной конкурентоспособности России и ведущих стран мира позволил установить, что ключевыми проблемами национальной экономики РФ, препятствующими достижению высокого уровня конкурентоспособности и свидетельствующими о недостаточно эффективном инновационном развитии, являются:

- низкий уровень инновационной деятельности, внедрения инновационных разработок в экономику и скорости диффузии инноваций на региональных рынках, преобладание рынков традиционных технологий;
- слабый уровень технологического развития экономики за счет как недостаточного количества собственных разработок, так и недостаточного трансфера зарубежных технологий;
- недостаточно эффективное развитие товарных рынков, несмотря на их значительный текущий объем, положительные темпы роста и высокий потенциал развития;
- невысокая конкурентоспособность продукции региональных производителей, слабый контроль рынка;
- невысокие инвестиции бизнеса в человеческий капитал;
- крайне медленное повышение качества среды обитания и качества жизни населения в результате слабой активности процессов сохранения природных ресурсов и постепенного восстановления их возобновляемой части;
- невысокий уровень квалификации работников, низкая трудовая этика на предприятиях и в организациях, низкий уровень заработной платы.

По мнению отечественных экспертов, большая часть проблем инновационного развития сконцентрирована на уровне регионов и обусловлена особенностью современного развития экономики – технологической многоукладностью, неоднородностью темпов модернизации и инновационной активности, неравномерностью отраслевого развития и высокой дифференциацией социально-экономического развития муниципальных образований [1; 2]. Как отмечено в Стратегии инновационного развития России до 2020 г., многоукладный характер российской экономики, принципиально различающиеся технологический уровень и институциональные условия развития различных секторов экономики исключают возможность определения единой, универсальной для всех секторов модели инновационного развития [3; 4].

Особенностью перехода к инновационному сценарию развития для России является одновременное

решение задач резкого сокращения разрыва в уровне технологического развития экономики в целом и создания условий для обеспечения опережающего прорывного развития в тех секторах, которые определяют ее будущую специализацию в мировом хозяйстве [2].

Современные особенности развития экономики. Переход региональной экономической системы (РЭС) к инновационному развитию сопровождается возникновением дифференцированных изменений в структурных элементах и их взаимосвязях в разных сегментах экономики региона (в соответствии с разными моделями экономического развития), несогласованность которых приводит к потере устойчивости экономического развития не только отдельных регионов, но и государства в целом. Следствиями пространственного характера размещения, технологической многоукладности экономики и неравномерности инновационного развития являются:

1. Существование в экономике региона сегментов различных технологических уровней (традиционные технологии, модернизации, инновационного развития), соответствующих разным типам экономического роста и моделям развития, а именно:

- сегмент традиционных технологий – отличается наиболее слабой интенсивностью процессов модернизации и преобладанием обычных технологических разработок, отражающих средний уровень производства;
- сегмент модернизации – характеризуется активными процессами технологической модернизации и расширения экономики, отличается от предыдущего применением технологий, обладающих новизной и технико-экономическими преимуществами по сравнению с традиционными технологиями-аналогами;
- сегмент инновационного развития – характеризуется активным внедрением инновационных технологий, отличающихся новизной и уникальностью, не имеющих технологий-аналогов.

2. Трансформация параметров спроса и предложения на рынках конечной продукции и ресурсов вследствие переориентации потребностей субъектов хозяйствования на ресурсоэффективные технологии и инновации в сегментах региональной экономики. В условиях модернизации характер изменений, как правило, связан с количественным перераспределением потребностей между традиционными и ресурсоэффективными технологиями, не оказывающих существенного влияния на структуру экономики региона.

В условиях инновационного развития характер изменений связан с переориентацией потребностей экономических агентов на рынки инновационных ресурсов (технологии, кадры, образование), качественно изменяющих структуры спроса и предложения, оказывающих существенное влияние на изменение структуры экономики регионов. При этом неоднородная структура и динамический характер потребностей вызывают необходимость одновременного обеспечения процессов формирования локальных рынков инновационной продукции и устойчивого функционирования рынков традиционной конечной продукции и ресурсов.

3. Наличие временного лага между периодами возникновения и удовлетворения инновационных потребностей в сегментах экономики вследствие технологических особенностей воспроизводства конечной продукции и ресурсов. Так, например, период подготовки профессиональных кадров «нового качества» для инновационных потребностей экономики регионов варьируется от 1–2 лет – для уровня начального профессионального образования, до 4–6 – для высшего профессионального образования.

Установленные проблемы и выделенные особенности для регионов России в период смены модели экономического развития позволяют рассматривать в качестве объектов управления локальные рынки и вызывают необходимость исследования типовых моделей экономического развития в сегментах экономики региона, выявления характера происходящих в них изменений и определения необходимых и достаточных условий устойчивости РЭС в целом.

Роль локальных рынков в процессе перехода экономики региона к инновационной модели развития. Поскольку экономическая сущность локального рынка как элемента рыночной подсистемы РЭС состоит в удовлетворении внутренних потребностей экономических агентов рынков, различающихся по уровням технологических решений, используемых в сегментах экономики, необходимо обосновать возможность использования локальных рынков в обеспечении устойчивости РЭС. В результате исследования причинно-следственных связей между процессами развития в рыночной, воспроизводственной подсистемах региона и эффектами экономического роста установлено, что в условиях открытости национальной экономики новые свойства локальных рынков формируют мультиаспектную роль, в соответствии с которой в инновационном развитии регионов локальные рынки выступают в качестве [5]:

- элементов рыночной подсистемы, определяющих условия устойчивого развития РЭС на основе соответствия инновационного потенциала региона требованиям развития рынков с учетом взаимосвязей изменений спроса и предложения;

- структурных факторов экономического роста, позволяющих обеспечивать формирование потенциала инновационного развития региона на основе выявления причинно-следственных связей между состоянием системы локальных рынков, изменением региональных воспроизводственных пропорций и динами-

кой параметров экономического роста (внутреннего и внешнего спроса региона);

- индикаторов экономического развития, позволяющих обеспечивать сбалансированность структурных сдвигов локальных рынков на основе диагностики изменений в сегментах экономики региона, обусловленных инновационными потребностями субъектов рынков.

Исследование влияния локальных рынков на развитие РЭС позволило сформулировать вывод, что большинство отечественных ученых раскрывают условия, этапы и закономерности обособленного развития отдельных видов рынков, не оценивая их взаимосвязи и системное влияние на изменение параметров спроса и предложения в сегментах экономики региона.

Однако экономическая сущность локального рынка в условиях перехода экономики региона к инновационной модели развития требует системного характера взаимодействия экономических агентов рынков конечной продукции (товары, услуги) и рынков ресурсов (профессиональные кадры, образование) при формировании параметров внутреннего спроса на изменение потребностей экономики. Системный характер взаимодействия экономических агентов обусловлен необходимостью согласования потребностей инвестиционных проектов в ресурсах развития (профессиональные кадры, образование) в соответствии с уровнем технологической новизны (проект модернизации, проект инновационного развития) и масштабом проекта (значимый для субъектов хозяйствования крупномасштабный проект):

- для проектов модернизации взаимодействие базируется на согласовании требований к количеству и срокам формирования ресурсов, традиционных для экономики региона;

- для проектов инновационного развития – на прогнозировании количества и нового качества ресурсов, а также согласовании периодов их формирования в экономике региона с учетом особенностей циклов технологической подготовки.

Поскольку процессы планирования и согласования потребностей носят системный и циклический характер, это вызывает необходимость моделирования устойчивости экономики региона и требует определения, с одной стороны, условий, обеспечивающих формирование потенциала инновационного развития региона, с другой стороны, требований к обеспечению эффектов развития РЭС.

Дифференцированный характер изменений (количественные перераспределения, количественные и качественные изменения) не позволяет использовать одинаковые условия, требования и эффекты устойчивости в сегментах экономики региона. Для разграничения параметров моделирования типовых изменений в сегментах экономики региона и применения одинаковых процедур оценки их взаимосвязей используется метод декомпозиции, позволяющий выделить сегменты по типу экономического развития. Такой подход позволяет устанавливать темпы модернизации и инновационного развития для каждого типа сегментов с учетом системного характера влияния локальных рынков, определяющих:

1) размер изменений на локальных рынках ресурсов;
2) степень влияния вида ресурсов на перераспределение структуры спроса локального рынка между ресурсами инновационного развития и ресурсами модернизации;

3) степень влияния различных видов ресурсов на взаимосвязи структурных изменений спроса на локальных рынках.

Базируясь на результатах исследования теорий экономического развития (сырьевая, секторная, предпринимательская, новая экономическая география, устойчивое развитие) и приняв в качестве основополагающего принцип непрерывности Визера (взаимосвязь и взаимообусловленность изменений в системе), установим основные различия между типами экономического развития на основе следующих базовых характеристик [6–15]: тип экономического роста как характеристика, поясняющая факторную обусловленность долговременной положительной динамики экономического развития; набор активных факторов, воздействующих на накопление потенциала в подсистемах региона; обеспечивающие условия для достижения результатов экономического развития; синергетические эффекты регионального развития.

Следует отметить, что в экономической науке, несмотря на большое количество исследований, посвященных моделям развития экономических систем, не сложилось единой типологии, фиксирующей существенные различия моделей. Объяснением этому является разнообразие целей и акцентов научных исследований. Сопоставление моделей [16–19] и уровней экономического развития стран (Всемирный экономический форум [20]) позволило охарактеризовать каждую стадию экономического развития по базовым характеристикам (табл. 1).

Проведенное исследование позволило определить, что основной характеристикой процесса перехода экономики региона к инновационной модели развития является прогрессивность, в соответствии с которой возникновение новых элементов и связей в структуре потребностей субъектов хозяйствования в сегментах экономики региона повышает эффективность использования экономических ресурсов и последовательность смены стадий: от устойчивого экономического к инновационному развитию.

Необходимые и достаточные условия устойчивости экономики региона. Исследование потенциальных условий прогрессивного развития позволило выявить необходимые свойства региональной экономической системы для перехода к инновационному развитию, среди которых [21–25]:

– открытость РЭС – возможность системы обмениваться с внешней средой продукцией или услугами, ресурсами, финансами или информацией; данное свойство системы достигается оптимальным сочетанием факторов внутреннего и внешнего спроса, потоками привлекаемых в регион внешних инвестиций, трансфером трудовых ресурсов и технологий;

– социальная ориентация – стремление системы в любых преобразованиях обеспечивать гармоничное сочетание экономических интересов с общественной полезностью;

– кооперативность процессов – способность элементов системы к взаимодействию, которое усиливается в ходе процесса развития и способствует его ускорению; для РЭС в условиях перехода к инновационной модели развития свойство обеспечивается за счет взаимодействия субъектов хозяйствования при формировании параметров спроса на инновационные виды продукции и ресурсов;

– сбалансированность – стремление системы к интеграции в развитии элементов, взаимосвязям структурных сдвигов, возникающих в результате влияния НТП, пропорциональности их размеров и упорядоченности возникновения в подсистемах региона (воспроизводственной, рыночной);

– динамичность – структурные изменения в элементах подсистем региона в результате процессов модернизации и инновационного развития; основные изменения в элементах региональной экономической системы связаны с возникновением структурных сдвигов (в экономике – изменение структуры производства и занятости по видам экономической деятельности; в социальной сфере: на рынках труда – изменение структуры кадровой потребности по профессиям и квалификациям, на рынках образования – изменение структуры подготовки профессиональных кадров по укрупненным группам специальностей, в природной среде – изменение структуры потенциала природных ресурсов);

– устойчивость – стремление системы к сохранению основных свойств (целостности, автономности) и достижению целей развития при любых изменениях внешней и внутренней среды.

Различный характер изменений в структуре потребностей субъектов хозяйствования позволяет установить соответствие разных стадий экономического развития для сегментов экономики региона (традиционный, модернизационный, инновационный). Так, например, для сегментов традиционных технологий и модернизации в большей степени соответствует стадия устойчивого экономического развития (табл. 1):

1) в сегментах традиционных технологий стабильный характер спроса на экономические ресурсы определяет устойчивую структуру экономики; в то же время общие процессы переориентации потребностей региональной экономики на ресурсоэффективные и инновационные технологии вызывают сокращение данного сегмента экономики региона;

2) в сегментах модернизации характер изменений в параметрах спроса и предложения, как правило, связан с количественным перераспределением потребностей между традиционными и ресурсоэффективными технологиями, не оказывающим существенного влияния на структуру экономики региона.

Для инновационного сегмента экономики в соответствии с переориентацией потребностей экономических агентов на инновационные ресурсы (технологии, кадры, образование), качественно изменяющие структуры спроса и предложения, оказывающие существенное влияние на изменение структуры экономики регионов, стадией является инновационное развитие.

Таблица 1

Характеристика стадий и моделей экономического развития по базовым элементам

Стадия развития	Модели экономического развития	Базовые элементы			
		Тип экономического роста	Набор активных (ключевых) факторов	Обеспечивающие условия	Эффект синергии
Факторное развитие	Трансформация Экономическая реконструкция Системные преобразования	Факторный	Фактор капитала Уровни использования ресурсных потенциалов Пропорции распределения ресурсов Состояние мировых рынков сырья Управление по элементам воспроизводственной подсистемы	Неограниченные запасы ресурсов	Ускорение перехода на рыночный путь развития
Устойчивое экономическое развитие	Индустриально-сырьевая Инновационно-сырьевая Инновационно-ресурсная	Устойчивый экономический	Природные ресурсы Конкурентоспособная продукция с высокой долей добавленной стоимости Интенсивность модернизации Внутренняя конъюнктура локальных рынков Управление по элементам рыночной подсистемы (традиционные рынки продукции и ресурсов)	Ресурсоэффективность экономики за счет инвестиций в технологическую модернизацию Достижение сбалансированности количественных изменений ресурсов традиционных рынков	Проникновение инновационных разработок во все сферы жизнедеятельности общества
Инновационное развитие	Инновационно-индустриальная Инновационное развитие	Инновационный	Профессиональные кадры Инновации Уровни использования ресурсов Внешняя рыночная конъюнктура Внутренняя конъюнктура локальных рынков Управление по элементам рыночной подсистемы (инновационные рынки продукции и ресурсов)	Ресурсоэффективность экономики за счет инвестиций в инновации Достижение сбалансированности количественных и качественных изменений ресурсов традиционных и новых рынков	Переход экономической системы на новый технологический уклад Новые виды энерготехнологий и источников энергии Создание высокоинформационного общества

Таким образом, разные стадии экономического развития и несинхронность преобразований в сегментах экономики обуславливает необходимость использования различных обеспечивающих условий устойчивости в РЭС. При исследовании экономического содержания понятия «устойчивость» в развитии региональных экономических систем определено, что в экономической науке существует два аспекта исследуемого понятия.

Первый аспект определяется концепцией устойчивого развития экономических систем, впервые сформулированной на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (ЮНСЕД) в 1992 г. и сначала ориентированной на комплексное социоприродное развитие. Впоследствии концепция нашла активное применение в контексте социально-экономического развития [26–30]. Ключевыми понятиями данной концепции являются устойчивые процессы преобразований в экономических системах, в результате которых эксплуатация ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технологического развития, организационные мероприятия увеличивают прибавочную стоимость при сокращении потребления ресурсов, минимизации отходов и загрязнения окружающей среды. Таким образом, первый аспект устойчивого развития региональных экономических систем выделяет в качестве критерия ресурсоэффективность РЭС.

Второй аспект устойчивого развития связан с принципами математической теории устойчивости А. А. Ляпунова и возможностью системы возвращаться в исходное состояние после полученного возмущения. Применение принципов математической теории устойчивости по отношению к региональной экономической системе позволило определить устойчивость как характеристику системы сохранять целевую траекторию развития в условиях открытости национальной экономики, несмотря на турбулентность внешней среды [29; 30].

Обобщая выделенные аспекты, будем понимать под *устойчивостью региональной экономической системы* в условиях перехода к инновационной модели развития способность РЭС к сохранению целевой траектории развития с учетом структурных изменений в подсистемах (воспроизводственной, рыночной) в результате диффузии инноваций, непрерывному наращиванию показателей социально-экономического развития (стратегическая конкурентоспособность региона, повышение социальной стабильности и качества жизни населения) при эффективном использовании инновационных ресурсов (сокращение потребления, минимизация отходов и загрязнения окружающей среды).

Выявление свойств региональной экономической системы в условиях перехода к инновационному развитию позволяет нам включить в состав характеристик процесса перехода экономики региона к инновационной модели развития следующие:

- управляемость (по целям) параметрами инновационных изменений в структуре потребностей региональной экономики, позволяющая определять условия инновационного воспроизводства (изменения в элементах воспроизводственной подсистемы) РЭС

на основе рыночных инноваций, обладающих более высокой скоростью возникновения и развития;

- плановость отраслевого и территориального развития, позволяющая реализовывать переход к инновационному развитию региона по заранее выработанному плану, синхронизирующему внедрение инновационных и инвестиционных проектов развития и обеспечение диффузии инноваций в подсистемах РЭС;

- взаимосвязанность и пропорциональность обновлений в экономике (отрасли, территории) и системе региональных рынков, позволяющая сохранить целостность системы и обеспечить сбалансированность параметров структурных сдвигов в подсистемах РЭС.

Проведенное уточнение предоставило возможность исследовать переход к инновационной модели развития как управляемый процесс изменений в структуре спроса и предложения локальных рынков, направленный на обеспечение сбалансированности параметров инновационной диффузии, в результате которого регион приобретает способность гармонизации целевых параметров функционирования и сохранения целевой траектории развития. Условия устойчивости региональной экономической системы с учетом различных типов преобразований (количественные перераспределения, количественные и качественные изменения), с нашей точки зрения, следует определять с учетом особенностей развития сегментов экономики региона (традиционных технологий, модернизации, инновационного развития). Структурные изменения в РЭС, отличаясь периодом возникновения и динамикой развития в сегментах экономики региона, не позволяют использовать одинаковые обеспечивающие условия, эффекты и требования устойчивости. Необходимость подобного разграничения обусловлена тем, что исследование типовых моделей экономического развития (устойчивое экономическое, инновационное) позволило выделить наличие зависимостей между факторами, условиями обеспечения, механизмами и эффектами развития, свойственными регионам с технологически многоукладной экономикой (табл. 2).

В результате анализа условий, обеспечивающих устойчивость типовых моделей экономического развития, определены необходимые и достаточные условия устойчивости для сегментов экономики региона. В качестве необходимых условий устойчивости выделены:

- в традиционном и модернизационном сегментах – устойчивое функционирование локальных рынков продукции региональной полезности и традиционных рынков ресурсов для обеспечения оптимизации внутреннего и внешнего спроса региона;

- в инновационном сегменте – формирование новых локальных рынков инновационной продукции и нового качества ресурсов для создания потенциала инновационного развития и расширения внешнего спроса региона.

Определены достаточные условия устойчивости РЭС на основе оптимизации структурных сдвигов, обусловленных неравномерным характером изменений потребностей:

Характеристики типовых моделей экономического развития по базовым элементам

Элементы	Типовые модели экономического развития	
	Устойчивое экономическое	Инновационное
Тип экономического роста	Устойчивый экономический рост	Инновационный рост
Задачи	Активизация процессов модернизации, внедрения ресурсосберегающих и природоохран-ных технологий Баланс спроса и предложения на традицион-ных локальных рынках Развитие традиционных локальных рынков	Диффузия инноваций в сегментах экономики региона Баланс спроса и предложения на новых локаль-ных рынках Формирование новых локальных рынков
Ключевые факторы	Конкурентоспособная продукция с высокой долей добавленной стоимости Внутренний региональный спрос Локальные рынки конечной продукции, обла-дающие региональной полезностью	Инновационная продукция Внутренний и внешний спрос Локальные рынки ресурсов (профессиональные кадры, образование), характеризующиеся инно-вационной перспективностью
Обеспечивающие условия	Ресурсоэффективность за счет модернизации экономики	Ресурсоэффективность за счет диффузии инно-ваций в экономику
Механизм	Сбалансированность структурных сдвигов локальных рынков	
	Управление функционированием РЭС, сба-лансированностью количественных структур-ных сдвигов спроса на традиционных рынках	Управление развитием РЭС, сбалансированно-стью количественных и качественных структур-ных сдвигов спроса на традиционных и новых рынках

1) сбалансированность количественных парамет-ров спроса между локальными рынками традицион-ной продукции и рынками ресурсов в традиционном и модернизационном сегментах экономики;

2) сбалансированность количественных измене-ний и соответствие качественных параметров спроса между локальными рынками инновационной продук-ции и рынками ресурсов нового качества в сегментах инновационного развития;

3) сбалансированность количественных и каче-ственных параметров спроса локальных рынков (про-дукция, ресурсы), обусловленных неравномерностью и неустойчивостью изменений структурных сдвигов в связи с разной степенью процессов модернизации и инновационного развития региона.

Заключение. Таким образом, для регионов с тех-нологически многоукладной экономикой, ориентиро-ванных на инновационную модель развития, необхо-димые условия обеспечения устойчивости определяют-ся, с одной стороны, оптимизацией управления процессами формирования инновационных рынков и функционирования традиционных рынков; с другой стороны, достижением эффектов экономического раз-вития РЭС. Достаточные условия устойчивости опре-деляются сбалансированностью параметров спроса и предложения (по времени возникновения, количест-венным и качественным характеристикам) в системе локальных рынков конечной продукции и ресурсов. При этом непрерывность процессов развития эконо-мики региона моделируется дискретными периодами в соответствии с программными показателями интен-сивности модернизации и инновационного развития.

Библиографические ссылки

1. Белякова Г. Я., Батукова Л. Р. К вопросу о мо-дернизации социально-экономических систем: теоре-тические основы и роль государства // Проблемы современной экономики. 2010. № 4. С. 8–12.
2. Национальная инновационная система и госу-дарственная инновационная политика Российской Федерации [Электронный ресурс] : базовый докл. к обзору ОЭСР национальной инновационной систе-мы Российской Федерации. М. : М-во образования и науки РФ, 2009. 208 с. URL: [http://rosmu.ru/ activ-ity/attach/opinions/114/doklad.pdf](http://rosmu.ru/activ-ity/attach/opinions/114/doklad.pdf).
3. Инновационная Россия – 2020. Проект страте-гии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 г. [Электронный ресурс]. М., 2010. URL: <http://www.economy.gov.ru>
4. Стратегия инновационного развития Россий-ской Федерации на период до 2020 г. [Электронный ре-сурс]. URL: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/4432/11.12.08-2227r.pdf>.
5. Филимоненко И. В. Роль и место локальных рынков в устойчивом развитии региона // Современ-ные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <http://www.science-education.ru/117-13733> (дата обра-щения: 30.06.2014).
6. Denison E. Trends in American Economic Growth, 1929–1982. Wash. : The Brookings Institution, 1985.
7. Джеффри Д. Сакс, Фелипе Ларрен Б. Макроэко-номика: Глобальный подход. М. : Дело, 1996. С. 629.
8. Ерохина Е. А. Закономерности экономического развития: системно-самоорганизационный подход //

Вестник Томского государственного университета. 2003. № 280. С. 127–129.

9. Ерохина Е. А. Теория экономического развития: системно-синергетический подход. Томск : Изд-во ТГУ, 1999. 160 с.

10. Ивашковский С. Н. Макроэкономика [Электронный ресурс] : учеб. 2-е изд. М. : Дело, 2002. 472 с. URL: <http://lib.kbsu.ru/Elib/books/16/48/>.

11. Кейнс Дж. М. Общая теория занятости, процента и денег // Избр. произведения. М. : Экономика, 1993.

12. Кондратьев Н. Д. Избранные сочинения. М. : Экономика, 1993.

13. Митчелл У. Экономические циклы: Проблема и ее постановка. М. : Госиздат, 1930.

14. Фридмен М. Количественная теория денег. М. : 3-я тип. РАН, 1996.

15. Шумпетер Й. Теория экономического развития. [Электронный ресурс]. М. : Прогресс, 1982. URL: <http://socioline.ru/book/j-shumpeter-teoriya-ekonomicheskogo-razvitiya>.

16. Самаруха А. В. Современные условия перехода Сибири на модель устойчивого развития // Изв. ИГЭА. 2009. № 6 (68). С. 75–79.

17. Самаруха В. И., Краснова Т. Г., Плотникова Т. Н. Методика оценки потенциальных возможностей развития инновационных программ на региональном уровне // Изв. Иркут. гос. экон. акад. 2009. № 2. С. 31.

18. Самаруха В. И., Наумова Е. М. Управление социально-экономическим развитием Байкальской природной территории. Иркутск, 2009. С. 20–21.

19. Шевченко И. В., Александрова Е. Н., Савченко М. И. Выбор стратегического приоритета развития России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2005. № 1 (1). С. 26–32.

20. The Global Competitiveness Report 2011–2012 [Электронный ресурс] // World Economic Forum. Geneva, 2012. 381 p. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GenderGap_Report_2012.pdf.

21. Алаев Э. Б. Социально-экономическая география : понятийно-терминологический словарь. М. : Мысль, 1983. 350 с.

22. Гранберг А. Г. Основы региональной экономики. М. : ГУ ВШЭ, 2003.

23. Садыкова Э. Ц. Исследование формирования структуры региональной экономической системы // Вестн. ВСГУТУ. 2012. № 2 (37). С. 147–151.

24. Инновационный тип развития экономики / В. В. Архангельский [и др.]. М. : Изд-во РАГС, 2008. С. 711.

25. Стратегия инновационных преобразований экономики России в посткризисный период // Лебедевские чтения / под общ. ред. А. Н. Фоломьева (20 апр. 2010 г.). М. : Изд-во РАГС, 2010.

26. Порфирьев Б. Н. Факторы ограничения потенциала долгосрочного экономического роста: оценка и прогноз природных и техногенных рисков // Перспективы развития экономики России: прогноз до 2030 года : коллективная монография / под ред. акад. В. В. Ивантера, М. Ю. Ксенофонта. М. : Анкил, 2013. С. 146–187.

27. Порфирьев Б. Н., Терентьев Н. Е. Проблемы устойчивого развития экономики в мировом и региональном измерении // Управление риском. 2013. № 1. С. 68–69.

28. Умаханов М. И., Шахпазова Р. Д. Устойчивое развитие региона: модель, основные направления, концепция. М. : Юнити-Дана : Закон и право, 2006. 143 с.

29. Чупров С. В. Развитие научных воззрений об устойчивости экономических систем в исторической ретроспективе // Историко-экономические исследования. 2013. Т. 14, № 1–2. С. 15–32.

30. Чупров С. В. Управление устойчивостью производственных систем: теория, методология, практика. 2-е изд., испр. и доп. Иркутск, 2012. (Сер. «Управление устойчивостью производственных систем»).

References

1. Belyakova G. Ya., Batukova L. R. [On the question of upgrading the socio-economic systems: theoretical foundations and the role of government]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*. 2010, no. 4, p. 8–12 (In Russ.).

2. *Natsional'naya innovatsionnaya sistema i gosudarstvennaya innovatsionnaya politika Rossiyskoy Federatsii: bazovyy dokl. k obzoru OESR natsional'noy innovatsionnoy sistemy Rossiyskoy Federatsii* [National Innovation System and gosu-donative innovation policy of the Russian Federation: the base of the reports. the review of the OECD national innovation systems, we the Russian Federation.]. Moscow, 2009, 208 p. (In Russ.). Available at: <http://rosmu.ru/activity/attach/opinions/114/doklad.pdf>.

3. *Innovatsionnaya Rossiya – 2020. Proyekt strategii innovatsionnogo razvitiya Ross. Federatsii na period do 2020 g.* [Innovative Russia – 2020 Draft strategy of innovative development of the Russian Federation for the period up to 2020]. Moscow, 2010. Available at: <http://www.economy.gov.ru>.

4. *Strategiya innovatsionnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 g.* [The strategy of innovative development of the Russian Federation, for the period up to 2020]. Available at: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/4432/11.12.08-2227r.pdf>.

5. Filimonenko I. V. [The role and place of local markets in the sustainable development of the region]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014, no 3. (In Russ.). Available at: <http://www.science-education.ru/117-13733> (accessed 30.06.2014).

6. Denison E. *Trends in American Economic Growth, 1929–1982*. Wash. : The Brookings Institution, 1985.

7. Dzheffri D. Saks, Felipe Larren B. *Makroekonomika: Global'nyy podkhod*. [Macroeconomics: Global Approach]. Moscow, Delo Publ., 1996, 629 p.

8. Yerokhina Ye. A. [Regularities of economic development: system- self-organization]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2003, no. 80, p. 127–129. (In Russ.).

9. Yerokhina Ye. A. *Teoriya ekonomicheskogo razvitiya: sistemno-sinergeticheskiy podkhod* [Theory of Economic Development : system-synergetic approach]. Tomsk, TGU Publ., 1999, 160 p.

10. Ivashkovskiy S. N. *Makroekonomika* [Macroeconomics]. Moscow, Delo Publ., 2002, 472 p. Available at: <http://lib.kbsu.ru/Elib/books/16/48/>.
11. Keynes Dzh.M. *Obshchaya teoriya zanyatosti, protsenta i deneg. Izbr. proizvedeniya*. [The General Theory of Employment, Interest and Money. Fav. product]. Moscow, Ekonomika Publ., 1993.
12. Kondrat'yev N. D. *Izbrannyye sochineniya* [Selected Works]. Moscow, Ekonomika Publ., 1993.
13. Mitchell U. *Ekonomicheskiye tsikly: Problema i yeye postanovka* [Business Cycles : The problem and its formulation]. Moscow, Gosizdat Publ., 1930.
14. Fridmen M. *Kolichestvennaya teoriya deneg*. [Quantity theory of money]. Moscow, RAN Publ., 1996.
15. Shumpeter Y. *Teoriya ekonomicheskogo razvitiya*. [Theory of Economic Development] Moscow, Progress Publ., 1982. Available at: <http://socioline.ru/book/j-shumpeter-teoriya-ekonomicheskogo-razvitiya>.
16. Samarukha A. V. [Modern conditions of Siberia transition to the model of sustainable development]. *Izv. IGEA*. 2009, no. 6 (68), p. 75–79 (In Russ.).
17. Samarukha V. I., Krasnova T. G., Plotnikova T. N. [Methods of assessing the potential for the development of innovative programs at the regional level]. *Izv. Irkut. gos. ekon. akad.* 2009, no. 2, p. 31 (In Russ.).
18. Samarukha V. I., Naumova Ye. M. *Upravleniye sotsial'no-ekonomicheskim razvitiyem Baykal'skoy prirodnoy territorii* [Management of social and economic development of the Baikal natural territory]. Irkutsk, 2009, p. 20–21.
19. Shevchenko I. V., Aleksandrova Ye. N., Savchenko M. I. [The choice of Russia's strategic priority]. *Natsional'nyye interesy: priority i bezopasnost'*. 2005, no. 1 (1), p. 26–32 (In Russ.).
20. The Global Competitiveness Report 2011–2012. World Economic Forum. Geneva, 2012. 381 p. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GenderGap_Report_2012.pdf.
21. Alayev E. B. *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya: Ponyatiyno-terminologicheskii slovar'* [Socio-economic geography : conceptual and terminological dictionary]. Moscow, Mysl' Publ., 1983, 350 p.
22. Granberg A. G. *Osnovy regional'noy ekonomiki*. [The foundations of the regional economy]. Moscow, GU VSHE Publ., 2003.
23. Sadykova E.Ts. [The study of structure formation of regional economic system]. *Vestn. VSGUTU. Ulan-Ude*, 2012, no. 2 (37), p. 147–151 (In Russ.).
24. Falom'yev A. N. i dr. *Innovatsionnyy tip razvitiya ekonomiki*. [Innovative development of economy]. Moscow, RAGS Publ., 2008, 711 p.
25. Folom'yev A. N. *Strategiya innovatsionnykh preobrazovaniy ekonomiki Rossii v postkrizisnyy period. Lebedevskiy chteniye* [The strategy of innovation economy of Russia in the post-crisis period. Lebedeva reading]. Moscow, RAGS Publ., 2010.
26. Porfir'yev B. N. *Faktory ogranicheniya potentsiala dolgosrochnogo ekonomicheskogo rosta: otsenka i prognoz prirodnkh i tekhnogennykh riskov. Gl. 7, Perspektivy razvitiya ekonomiki Rossii: prognoz do 2030 goda*. [Factors limiting the potential long-term growth : assessment and forecast of natural and technological hazards]. *Perspektivy razvitiya ekonomiki Rossii: prognoz do 2030 goda*. [Prospects for the development of the Russian economy : Forecast to 2030]. Moscow, Ankil Publ., 2013, p. 146–187.
27. Porfir'yev B. N., Terent'yev N. Ye. [Problems of sustainable development of economy in the world and regional dimension]. *Upravleniye riskom*. 2013, no. 1, p. 68–69 (In Russ.).
28. Umakhanov M. I., Shakhpozova R. D. *Ustoychivoye razvitiye regiona: model', osnovnyye napravleniya, kontseptsiya*. [Sustainable development of the region: the model, the main lines, the concept]. Moscow, YUNITI-DANA Publ., Zakon i pravo Publ., 2006, 143 p.
29. Chuprov S. V. [Development of scientific views on the stability of economic systems in historical perspective]. *Istoriko-ekonomicheskiye issledovaniya*. 2013, t. 14, no. 1–2, p. 15–32 (In Russ.).
30. Chuprov S. V. *Upravleniye ustoychivost'yu proizvodstvennykh sistem: teoriya, metodologiya, praktika* [Management of sustainable production systems: theory, methodology, practice]. Irkutsk, 2012.

**КОНТРОЛЛИНГ ПРОИЗВОДСТВА ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ
ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД,
МОДЕЛЬ, МЕТОДИКА**Н. Е. Гильц,¹ В. В. Куимов,² А. И. Таюрский³¹Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31²Сибирский федеральный университет, Торгово-экономический институт
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79/10³Институт проблем непрерывного образования Российской академии образования
Российская Федерация, 660021, г. Красноярск, Казарменный пер., 8
E-mail: negilts@mail.ru, kmarketing05@mail.ru, naukaobr@mail.ru

В экономике России предприятия оборонно-промышленного комплекса в силу специфики реализуемых задач представляют собой высокотехнологичные производства с развитой научно-технической сферой, позволяющие выпускать конкурентоспособную продукцию. Переходные процессы, вызванные реформами экономики страны в конце прошлого столетия, привели к нарастанию кризисных явлений. Значительное сокращение государственного оборонного заказа, свертывание большинства текущих и перспективных разработок, нарушение структурных связей, ухудшение финансово-экономических показателей деятельности предприятий, снижение их производственного и инновационного потенциала существенным образом повлияли на экономическую устойчивость предприятий оборонно-промышленного комплекса. На современном этапе развития экономики требуются новые подходы к управлению: на первый план выходят экономические критерии эффективности, повышаются требования к гибкости управления. Развитие информационных технологий и компьютеризация производственного процесса заставляют современные предприятия превращаться во все более сложные системы. Для обеспечения управляемости таких систем необходимы новые методы контроля. До сих пор наиболее перспективным направлением в разработке новых подходов к управлению предприятием, соединяющим теории принятия решений, информационного обеспечения и организационного моделирования, остается контроллинг. Предложен методический инструментарий оперативного контроллинга производства продукции гражданского назначения, основанный на применении контрольных карт и использовании метода определения границ допустимых отклонений, дополняющий существующий привязкой к целям деятельности предприятий оборонно-промышленного комплекса и позволяющий в едином информационном пространстве отслеживать динамику изменений контролируемых показателей и корректировать управленческие решения.

Ключевые слова: контроллинг, инновационная продукция гражданского назначения, концептуальный подход к контроллингу, модель и методика осуществления контроллинга.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 262–270**CONTROLLING OF PRODUCTION OF INNOVATIVE CIVILIAN PRODUCTS:
CONCEPTUAL APPROACH, MODEL, TECHNIQUE**N. E. Gilts¹, V. V. Kuimov,² A. I. Tayursky³¹Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation²Siberian Federal University, Trade and Economic Institute
79/10, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation³Institute of problems of continuous formation of the Russian Academy of Education
8, Kazarmenny Lane, Krasnoyarsk, 660021, Russian Federation
E-mail: negilts@mail.ru, kmarketing05@mail.ru, naukaobr@mail.ru

In the economy of Russia the enterprises of defense industry complex, owing to specifics of the realized tasks represent the hi-tech productions with the developed scientific and technical sphere allowing to let out competitive production. The transition processes caused by reforms of national economy at the end of the last century led to increase of the crisis phenomena. Considerable reduction of the state defensive order, folding of the majority of the current and perspective development, violation of structural communications, deterioration of financial and economic indicators of activity of the enterprises, decrease in their production and innovative potential essentially affected economic stability of the enterprises of defense industry complex. At the present stage of development of economy new approaches to man-

agement are required: to the forefront there are economic criteria of efficiency, requirements to flexibility of management raise. Development of information technologies and computerization of production force the modern enterprises to turn into more and more difficult systems. New control methods are necessary for ensuring controllability of such systems. Still the most perspective direction in development of new approaches to business management connecting theories of decision-making, information support and organizational modeling there is a controlling. In work the methodical tools of expeditious controlling of production of civil appointment based on use of control cards and use of a method of delimitation of tolerances, supplementing existing a binding to the purposes of activity of the enterprises of defense industry complex and allowing to trace dynamics of changes of controlled indicators and to correct administrative decisions in a common information space are offered.

Keywords: controlling, innovative civilian products, conceptual approach to controlling, model and technique of implementation of controlling.

Введение. Устойчивое развитие предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), достигаемое также за счет расширения военно-технического сотрудничества и развития производства гражданской продукции, является важнейшим условием для решения проблемы обеспечения обороноспособности страны и развития экономики в целом. При планируемых объемах финансирования ОПК в ближайшее десятилетие не представляется возможным обеспечить полномасштабное развитие всего оборонно-промышленного комплекса. Сохранение производственного и инновационного потенциала на предприятиях ОПК, а также обеспечение их устойчивого инновационного развития в этих условиях возможно только на основе программ производства гражданской продукции, использующих инновационный потенциал предприятия [1; 2]. Важнейшими факторами, сдерживающими развитие производства продукции гражданского назначения, являются отсутствие эффективных инструментов управления, а также высокий уровень рисков при выводе продукции на рынок. В связи с этим на первый план выступает задача эффективного управления производством гражданской продукции, что позволит предприятиям ОПК достичь стратегического конкурентного преимущества и создать условия не только для обеспечения устойчивого развития, но и для наращивания инновационного потенциала в основном производстве. Одним из эффективных инструментов управления является контроллинг.

Двойственный характер производства на предприятиях ОПК, диффузия инноваций в производство продукции гражданского назначения, а также высокий уровень рисков при выводе продукции на рынок определяют необходимость совершенствования инструментов контроллинга [3].

Значимость решения проблемы разработки теоретико-методических основ формирования и функционирования системы контроллинга производства продукции гражданского назначения на предприятиях ОПК определяет актуальность настоящего исследования.

Вопросам контроллинга и планирования на предприятиях в современной экономической литературе уделяется достаточно внимания. Научные труды К. Друри, Р. Манна, Э. Майера, А. Дайле, К. Лиссмана, Г. Хомбурга, П. Вебера, Р.С. Каплана, Д. П. Нортона посвящены вопросам описания и разработки классических элементов контроллинга [4–7].

В трудах М. М. Алексеевой, Т. А. Дубровой, А. И. Ильиной, Т. П. Карповой, Г. А. Краюхина,

В. Г. Лебедева, В. П. Савина, В. П. Савчука, Р. А. Фатхутдинова представлены различные аспекты планирования и контроля производственных затрат и осуществления мониторинга с применением его инструментов в деятельности предприятия [8–10].

В работах Д. Хана, Т. Скоуна, Х. Штаймана, Н. Г. Данилочкиной, А. М. Карминского, Э. А. Уткина, Х. Й. Фольмута и других авторов описаны основные инструменты контроллинга, используемые для анализа, планирования и контроля различных сфер деятельности предприятия [11; 12].

Вместе с тем остается недостаточно проработанным вопрос учета особенностей формирования системы контроллинга производства инновационной продукции гражданского назначения на предприятиях ОПК. Не учитываются факторы, оказывающие существенное влияние на обоснованность применения контроллинга и мониторинга в различных сферах деятельности предприятия. Не проводится типизация продукции гражданского назначения, учитывающая сферы осуществления контроллинга. Решение указанных задач приводит к необходимости обоснования применения инструментов контроллинга производства гражданской продукции, а также разработки методики контроллинга, позволяющей обеспечить эффективное управление развитием производства продукции гражданского назначения.

Методический инструментарий оперативного контроллинга производства продукции гражданского назначения. Для отражения реализации функций контроллинга в работе сформирована модель управления производством продукции гражданского назначения, включающая в себя увязку концептуального подхода с бизнес-процессами и результатами управленческого воздействия, с учетом влияния внутренних и внешних факторов развития производства гражданской продукции на стратегическом и оперативном уровнях управления (рис. 1).

Концептуальный подход к контроллингу представляет собой совокупность элементов (цели, задачи, принципы и методы), реализация которых обеспечивает достижение целей, поставленных исходя из миссии и стратегии предприятия с помощью решения конкретных задач. В качестве методов на стратегическом уровне предложены к использованию методы экономического анализа и стратегического планирования, на оперативном уровне – методы качественного и количественного анализа, статистические методы, нормативный метод, модель безубыточности.

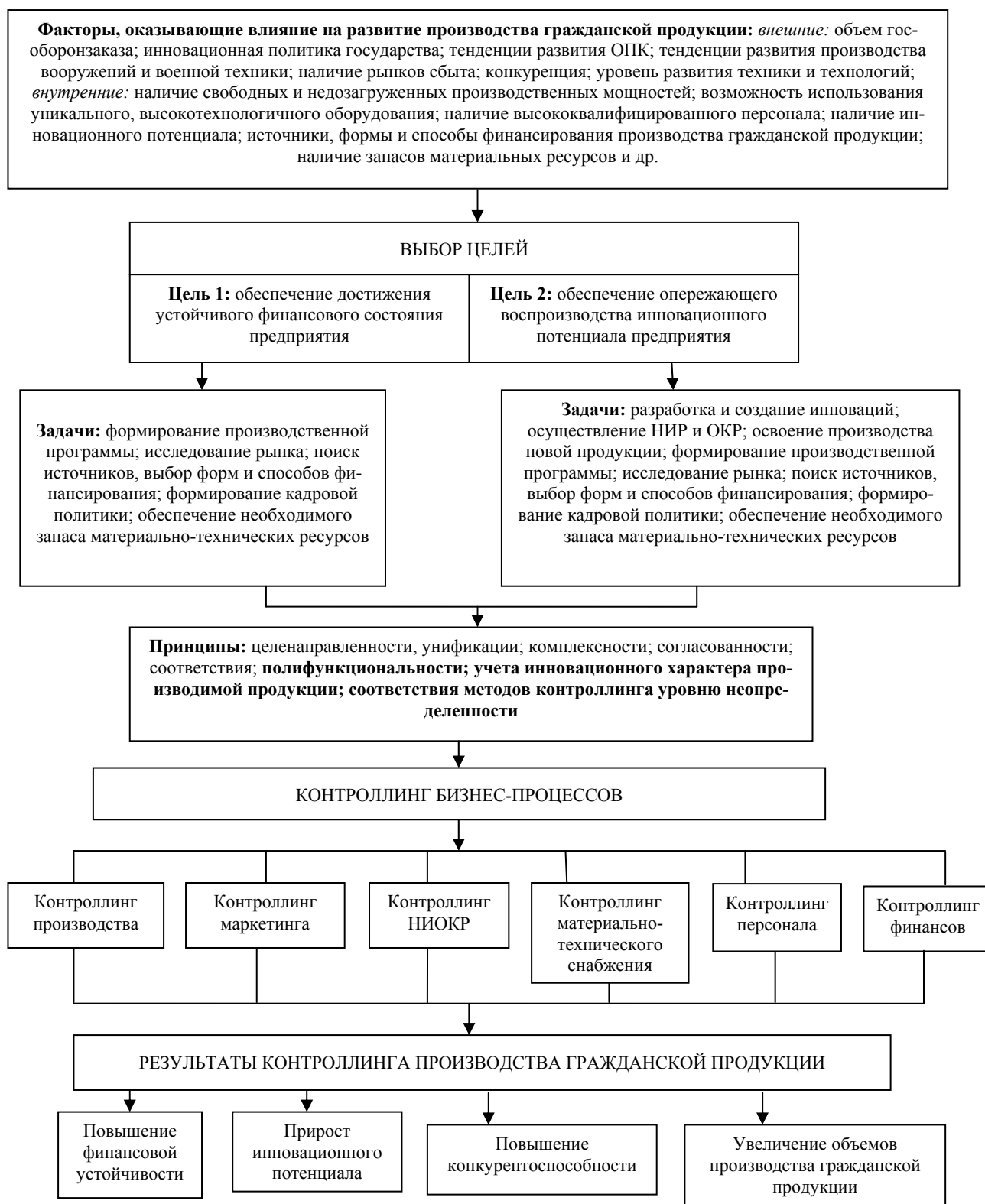


Рис. 1. Модель контроллинга производства гражданской продукции с учетом выявленных факторов, предложенных концептуальных положений и сформулированных принципов

Представленная модель контроллинга позволяет обеспечить эффективное управление бизнес-процессами, что способствует достижению результата развития производства гражданской продукции, который

может выражаться показателями повышения финансовой устойчивости, прироста инновационного потенциала, повышения конкурентоспособности, увеличения объема производства гражданской продукции.

Данная модель является структурно-логической схемой осуществления контроллинга производства гражданской продукции на предприятиях ОПК и является основой для разработки методики контроллинга производства гражданской продукции, основные этапы которой представлены на рис. 2.

На первом этапе осуществляется идентификация типа производимой продукции гражданского назначения и формируется перечень сфер деятельности предприятия ОПК, связанных с производством гражданской продукции.

В исследовании на основе выявленных особенностей деятельности предприятий ОПК выделены следующие типы продукции гражданского назначения: технологически связанная с основным производством и технологически не связанная с основным производством гражданская продукция.

У выделенных типов также имеются свои разновидности: традиционный, модифицированный и совершенно новый гражданский продукт, при этом он может реализовываться на существующем или новом рынках.

Рыночные отношения предъявляют повышенные требования к управлению развитием производства гражданской продукции и предполагают необходимость отслеживания отклонений, которые могут возникнуть вследствие неопределенности, связанной со спросом на гражданскую продукцию, ошибками при проектировании, высокой себестоимостью производства и т. д.

В связи с этим необходимо осуществлять контроллинг в следующих сферах деятельности предприятия:

- производственная, в данной сфере необходимо контролировать наличие свободных и недозагруженных производственных мощностей; возможность использования уникального, высокотехнологичного оборудования для производства гражданской продукции и ряд других показателей;
- маркетинговая, где особенно важно осуществлять контроллинг и мониторинг доли рынка и ряд других показателей;
- научно-техническая, так как гражданская продукция по своей сути имеет инновационный характер;
- финансовая, так как для развития производства гражданской продукции необходимы проведение инновационных исследований, поиск и привлечение дополнительных источников финансирования;
- материально-техническое снабжение, так как выпуск инновационной гражданской продукции предполагает отслеживание хозяйственных связей по обеспечению производства необходимым сырьем и материалами;
- кадровая, так как для производства наукоемкой, высокотехнологичной гражданской продукции необходим высококвалифицированный персонал.

На втором этапе идентифицируются потенциальные сферы осуществления контроллинга в соответствии с проведенной систематизацией факторов. На этом этапе происходит качественный анализ по выделенным факторам: определяются сферы, наиболее подверженные их влиянию, характер влияния факторов и возможность их количественной оценки, т. е. формируется перечень сфер, оказывающих наибольшее

влияние на развитие анализируемого типа продукции гражданского назначения. Контроллинг может осуществляться как по одному типу продукции и сфере, оказывающей наибольшее влияние на его производство, так и по ряду сфер.

На третьем этапе каждая сфера осуществления контроллинга характеризуется своей системой показателей, которые разбиваются на две группы: обобщающие и частные. Контроллинг предлагается вести по двум уровням. На первом уровне контролю подлежат обобщающие показатели по выделенным сферам деятельности: затраты в сфере производства; затраты, связанные с логистикой и продвижением продукции на рынке; затраты на НИОКР; финансовые издержки; затраты на материально-техническое снабжение; затраты на оплату труда.

На втором уровне определяется состав частных показателей в зависимости от сферы и выявленных причин отклонений обобщающих показателей. Контроллинг за частными показателями осуществляется с использованием инструментов мониторинга.

При построении системы показателей контроллинга необходимо учесть следующие требования:

- контроллингом должны быть охвачены те сферы деятельности, где при производстве гражданской продукции могут происходить изменения;
- число показателей должно быть достаточным, чтобы можно было на основе полученных данных делать выводы и принимать управленческие решения;
- значение показателя должно быть выражено одним числом;
- сбор данных, необходимых для проведения контроллинга, не должен быть связан с необходимостью организации сложных и дорогостоящих расчетов.

На четвертом этапе влияние обобщающих показателей на финансовый результат деятельности предприятия можно оценить, применяя показатели чувствительности. В работе предлагается использовать коэффициент эластичности. В этом случае такие коэффициенты будут называться коэффициентами реагирования финансовых результатов на изменения обобщающих показателей. В качестве финансового результата могут выступать выручка, прибыль, маржинальный доход и др. Коэффициент реагирования прибыли на изменение обобщающих показателей показывает, что любое изменение показателей на один процент приведет к изменению прибыли на определенное количество процентов. Чем больше коэффициент реагирования, тем больше риск потери прибыли.

На шестом этапе определяются отклонения по обобщающим показателям. Границы отклонений соответствуют величине доли запаса финансовой прочности, определяемой в соответствии с размером коэффициента, характеризующего долю затрат по обобщающему показателю в соответствующей сфере к общему объему затрат. Отклонение по обобщающему показателю не должно превышать указанную границу. Определение пограничного значения зависит от целей развития предприятия ОПК (этап 7), представленных в модели контроллинга производства гражданской продукции, с учетом выявленных факторов, предложенных концептуальных положений и сформулированных принципов.

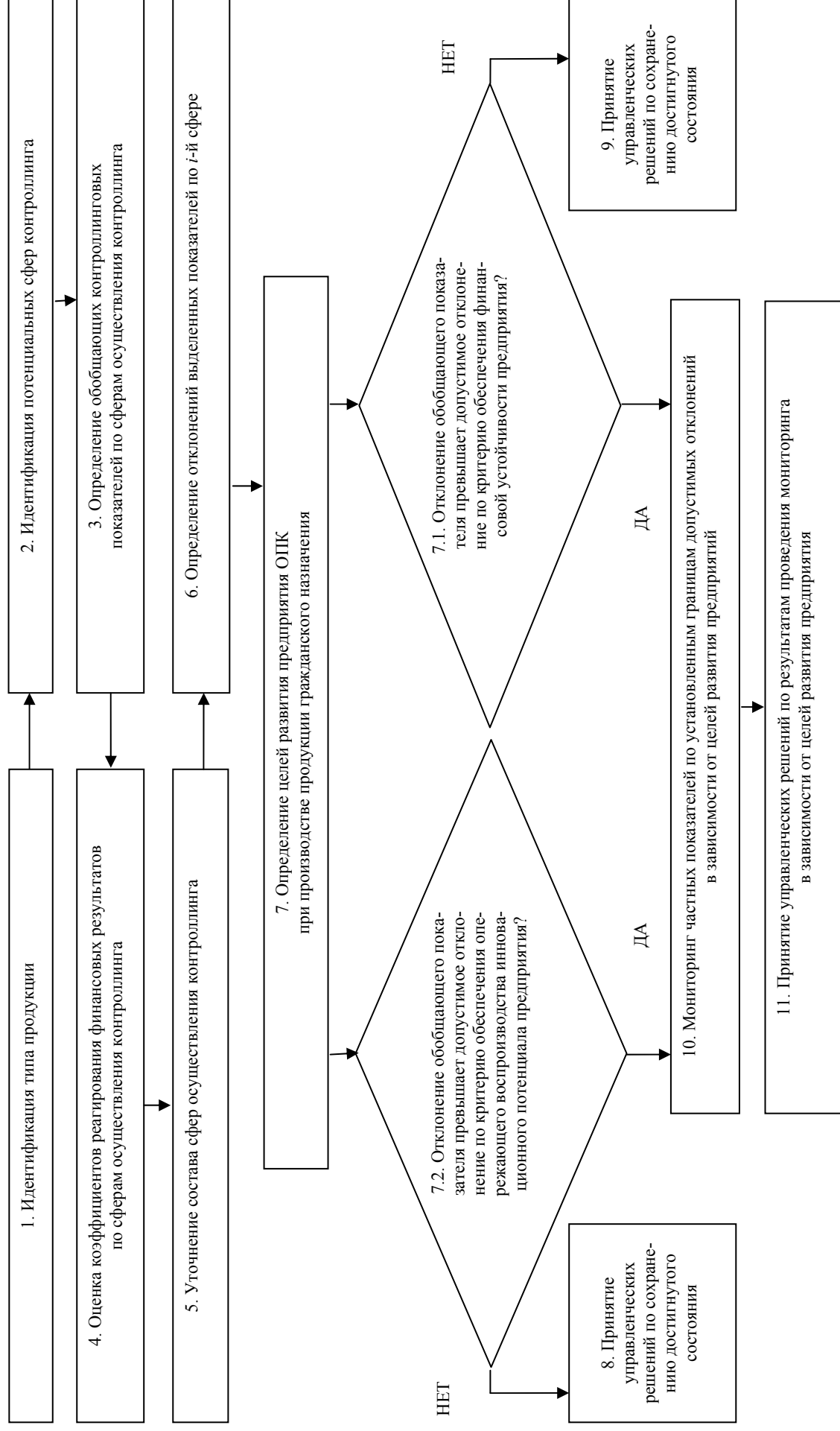


Рис. 2. Этапы методики контроллинга производства гражданской продукции

Далее происходит сравнение запаса финансовой прочности предприятия (ЗФП), а точнее его доли с установленным отклонением. Если цель предприятия – поддержание устойчивого состояния (*этап 7.1*), то критерием выступает ЗФП, который определяется как разница между фактической прибылью и прибылью в точке безубыточности.

Таким образом, можно выбрать наиболее значимые сферы деятельности, оказывающие влияние на финансовый результат (*пятый этап*). Это позволяет уточнить состав сфер.

Если цель предприятия – опережающее воспроизводство инновационного потенциала (*этап 7.2*), то критерий определяется как ЗФП минус дополнительный объем прибыли ($\Delta\P$), необходимой для опережающего воспроизводства инновационного потенциала ($\text{ЗФП}' - \Delta\P$).

Затем происходит сравнение отклонений обобщающего показателя по уточненным сферам контроллинга с первым критерием. При превышении отклонения обобщающего показателя (Δ) над ЗФП ($\Delta > \text{ЗФП}$) принимается решение о проведении мониторинга для выделенной сферы контроллинга по всем частным показателям. То есть происходит переход на *десятый этап*.

При контроле над частными показателями могут применяться статистические методы. Границами отклонений при этом будут служить определяемые значения ЗФП предприятия. Подробно этап организации и проведения мониторинга на предприятии будет представлен ниже.

Если предприятие выбирает путь опережающего развития воспроизводства, то отклонение сравнивается с разницей ЗФП и величиной дополнительного объема прибыли ($\Delta < (\text{ЗФП}' - \Delta\P)$). Если отклонение по показателю меньше разницы запаса финансовой прочности и дополнительного объема прибыли, то происходит переход на *восьмой этап* принятия управленческих решений для стабилизации достигнутого состояния. Если отклонение больше или равно установленной величине, то необходимо перейти к *десятому этапу*.

После завершения этапа мониторинга необходимо проверить полученный результат и вернуться на этап шесть. Возвращение на данный этап будет происходить только тогда, когда предприятие ОПК начинает выпускать новый продукт гражданского назначения. Если тип гражданского продукта не изменится, возвращаться на этап шесть не нужно, принимаются решения для стабилизации достигнутого состояния (*этап восемь и девять*).

Принятие управленческих решений по результатам проведения мониторинга в зависимости от целей развития предприятия производится с помощью использования статистических методов.

В исследовании применение статистических методов для проведения оперативного контроллинга выполнено на примере построения контрольных карт для выявления отклонений в сфере материально-технического снабжения [13].

Началом осуществления мониторинга оперативной деятельности на предприятиях ОПК является

оценка результатов, а завершением – анализ причин отклонений фактических результатов от запланированных. Именно на данном этапе возможно установление критериев оценки в виде контрольных границ, которые обеспечивают формирование и принятие управленческих решений.

Для осуществления мониторинга производства гражданской продукции на оперативном уровне управления предлагается использовать статистические методы контроля, а именно, контрольные карты, которые имеют следующие преимущества:

- большинство процессов и их продукция на выходе имеют характеристики, которые могут быть измерены, так что применимость таких карт потенциально широка;
- измеренное значение содержит больше информации, чем простое утверждение «да-нет»;
- характеристики процесса могут быть проанализированы безотносительно установленных требований. Карты запускаются вместе с процессом и дают независимую картину того, на что процесс способен. После этого характеристики процесса можно сравнивать с установленными требованиями.

Контрольная карта имеет центральную линию CL, соответствующую эталонному значению характеристики, в качестве которого обычно служит среднее арифметическое значение рассматриваемых данных. Кроме того, контрольная карта имеет две статистически определяемые контрольные границы относительно центральной линии CL, которые называются верхней UCL и нижней LCL контрольными границами [14].

Верхняя и нижняя границы на контрольной карте находятся на расстоянии 3σ от центральной линии, где σ – генеральное стандартное отклонение, используемое в статистике. Изменчивость внутри подгрупп является мерой случайных вариаций. Для получения оценки σ вычисляют выборочное стандартное отклонение или умножают выборочный размах на соответствующий коэффициент.

Границы $\pm 3\sigma$ указывают, что около 99,7 % значений характеристики подгрупп попадут в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии. Другими словами, есть риск, равный 0,3 % (или в среднем три на тысячу случаев), что нанесенная точка окажется вне контрольных границ, когда процесс стабилен. Употребляется слово «приблизительно», поскольку отклонения от исходных предположений, таких как вид распределения данных, будут влиять на значения вероятности.

Производство гражданской продукции является серийным. Для анализа этих типов производств предполагается нормальное (гауссово) распределение для вариаций внутри выборок, причем отклонения от этого предположения влияют на эффективность карт. Коэффициенты для вычисления контрольных границ выведены при условии нормальности. Поскольку контрольные границы используются только как эмпирические критерии при принятии решений, целесообразно пренебрегать малыми отклонениями от нормальности. Благодаря центральной предельной теореме выборочные средние значения имеют распределение, приближающееся к нормальному с ростом

объема выборки, даже когда отдельные наблюдения не подчиняются нормальному закону. Это обосновывает возможность предположения о нормальности для $\bar{X}$ -карт даже при объемах выборок, таких малых, как 4 или 5 единиц, взятых для проведения контроля. Если используют отдельные наблюдения для изучения возможностей процесса, истинное распределение важно. Рекомендуется периодически перепроверять выполнение таких предположений, чтобы убедиться, что используемые данные принадлежат одной совокупности. Распределения размахов и стандартных отклонений отличаются от нормального, хотя предположение нормальности использовалось при оценке коэффициентов для вычисления контрольных границ. Такие границы, как правило, приемлемы для процедур принятия эмпирических решений [15].

Карты для количественных данных отражают состояние процесса через разброс (изменчивость от единицы к единице) и через расположение центра (среднее процесса). Поэтому контрольные карты для количественных данных почти всегда применяют и анализируют парами: одна карта для расположения и одна – для разброса. Наиболее часто используют пару $\bar{X}$ - и R -карты.

Задача мониторинга состоит в том, чтобы на основании результатов периодического контроля (т. е. в динамике) выборок значений контролируемых показателей оценивать и корректировать их стабильность. Исследования должны производиться в пять этапов (рис. 3).

На первом этапе происходит определение границ допустимых отклонений для анализируемой сферы.

На появление отклонений в сфере материально-технического снабжения в большей степени влияет показатель обеспеченности запасом. Параметры верхней и нижней границ отклонения по этому показателю определяются размером порогового и страхового уровнями запаса.

На втором этапе необходимо определить средние значения показателей за анализируемый период.

На третьем этапе производится расчет контрольных карт в табличной форме. В таблице приведены формулы для расчета контрольных границ при построении $\bar{X}$ - R -карты. Коэффициенты для соответствующих карт заданы и берутся из стандарта ГОСТ Р 50779.42–99 [14].

На четвертом этапе рассчитанным контрольным границам допустимых отклонений приводится графическое построение контрольной карты.

На пятом этапе происходит процесс принятия управленческих решений. На основе анализа контрольных карт выявляется характер возникающих отклонений. По результатам случайных отклонений управленческие решения не принимаются. В случаях выхода процесса за пределы контролируемых границ, а также в случае, когда процесс не находится в зоне статистически управляемого состояния, принимаются управленческие решения по сферам мониторинга развития производства гражданской продукции.



Рис. 3. Этапы методики мониторинга оперативной деятельности предприятий ОПК

Формулы контрольных границ допуска для карт $\bar{X}-R$

№ п/п	Формула	Пояснения к формуле
1	$UCL = x_0 + A\sigma_0$	UCL – верхняя граница контрольной карты x_0 – центральная линия A – коэффициент для вычисления контрольной границы σ_0 – стандартное отклонение процесса
2	$LCL = x_0 - A\sigma_0$	LCL – нижняя граница контрольной карты
3	$\bar{R} = \frac{\sum R}{k}$	$\bar{R}$ – центральная линия R – размах выборки k – количество выборок
4	$UCL = D_2\sigma_0$	D_2 – коэффициент для вычисления верхней контрольной границы
5	$LCL = D_1\sigma_0$	D_1 – коэффициент для вычисления нижней контрольной границы

Заключение. Таким образом, предложенные инструменты контроллинга развития производства гражданской продукции инновационного типа на машиностроительных предприятиях оборонно-промышленного комплекса позволят в едином информационном пространстве отслеживать динамику изменений контролируемых показателей и корректировать управленческие решения, что обеспечит долгосрочную основу для полноценной работы предприятия в условиях конкуренции.

Библиографические ссылки

1. Erigina L. V., Gilts N. E. Methods of controlling the production of civilian goods at the enterprises of military-industrial machinery complex // *Middle East Journal of Scientific Research*. 2013. № 16 (5). P. 714–720.
2. Гильц Н. Е. Современное состояние и тенденции развития предприятий ОПК и РКО // *Вестник СибГАУ*. 2012. № 4 (44). С. 203–206.
3. Проблемы воспроизводства научно-технического потенциала предприятий оборонно-промышленного комплекса : монография / Г. П. Беяков [и др.] ; под общ. ред. проф. Г. П. Беякова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2010. 164 с.
4. Дайле А. Практика контроллинга / пер. с нем. под ред. и с предисл. М. Л. Лукашевича, Е. Н. Тихоновой. М. : Финансы и статистика, 2001. 336 с.
5. Друри К. Управленческий и производственный учет : учебный комплекс для студентов вузов / пер. с англ. В. Н. Егорова. 6-е изд. М. : Юнити-Дана, 2012. 1423 с.
6. Манн Р., Майер Э. Контроллинг для начинающих. Система управления прибылью М. : Финансы и статистика. 2004. 304 с.
7. Майер Э. Контроллинг как система мышления и управления. М. : Финансы и статистика, 2003, 92 с.
8. Анташов В. А., Уваров Г. В. Практический контроллинг: управленческие решения, инновации // *Экономико-правовой бюллетень*. 2010. № 10. С. 37–48.
9. Ерыгина Л. В. Принципы и инструменты стратегического контроллинга инновационной деятельности предприятий ОПК // *Вестник МАИ*. 2008. Т. 15, № 6. С. 39–44.

10. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А. М. Каменский [и др.]. М. : Финансы и статистика, 2007. 256 с.

11. *Unternehmungsziele im Wandel // Unternehmerischer Wandel / Hrsg. P. Gomez, D. Hahn, G. Müller-Stewens, R. Wunderer. Wiesbaden, 1994. 59 p.*

12. Kupper H.-U. *Controlling. Konzeption, Aufgaben und Instrumente* Stuttgart : Poeschel, 1985. 384 p.

13. Жданов С. А. Экономические модели и методы в управлении. М. : Дело и Сервис, 2009. 358 с.

14. ГОСТ Р 50779.42–99 (ИСО 8258 – 91). Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. М. : Изд-во стандартов, 1999. 99 с.

15. Трояновский В. М. Математическое моделирование в менеджменте : учеб. пособие. М. : Издательство РДЛ, 2010. 256 с.

References

1. Gilts N. E., Gilts N. E. Methods of controlling the production of civilian goods at the enterprises of military-industrial machinery complex. *Middle East Journal of Scientific Research*. 2013, no. 16 (5). p. 714–720.
2. Gilts N. E. [Current state and tendencies of development of defense industry enterprises and RKO]. *Vestnik SibGAU*. 2012, no. 4 (44), p. 203–206 (In Russ.).
3. Belyakov G. P., Lukyanova A. A., Lyachin V. I. et al. *Problemy vosproizvodstva nauchno-tehnicheskogo potentsiala predpriyatiy oboronno-promyshlennogo kompleksa: monografiya* [Problemy of reproduction of scientific and technical capacity of the enterprises of defense industry complex: monograph]. Sib. Gos. Aerokosmich. un-t. Krasnoyarsk, 2010, 164 p.
4. Dayle A. *Praktika kontrollinga: per. s nem* [Practice of controlling]. Moscow, Finansyi i statistika Publ., 2001, 336 p.
5. Druri K. *Upravlencheskiy i proizvodstvenniy uchet* [The management and production accounting]. Moscow, YUNITI-DANA Publ., 2012, 1423 p.
6. Mann R., Mayer E. *Kontrolling dlya nachinayushchikh. Sistema upravleniya pribylyu* [Controlling for beginners. Control system of profit]. Moscow, Finansyi i statistika Publ., 2004, 304 p.

7. Mayer E. *Kontrolling kak sistema myishleniya i upravleniya* [Controlling as system of thinking and management]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2003, 92 p.
8. Antashov V. A., Uvarov G. V. [Practical controlling: administrative decisions, innovations]. *Ekonomiko-pravovoy byulleten*, 2010, no. 10, p. 37–48 (In Russ.).
9. Erygina L. V. [Principles and instruments of strategic controlling of innovative activity of defense industry enterprises]. *Vestnik MAI*. 2008, vol. 15, no. 6, p. 39–44 (In Russ.).
10. Kamenskiy A. M., Olenov N. I., Primak A. G., Falko S. G. *Kontrolling v biznese. Metodologicheskie i prakticheskie osnovy postroyeniya kontrollinga v organizatsiyakh* [Controlling in business. Methodological and practical bases of creation of controlling in organizations]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2007, 256 p.
11. Hahn D. Unternehmungsziele im Wandel, in: *Unternehmerischer Wandel*, Hrsg. P. Gomez, D. Hahn, G. Müller-Stewens, R. Wunderer, Wiesbaden 1994, 59 p.
12. Kupper H.-U. *Controlling. Konzeption, Aufgaben und Instrumente*. Stuttgart: Poeschel, 1985, 384 p.
13. Zhdanov S. A. *Ekonomicheskie modeli i metody v upravlenii* [Economic models and methods in management]. Moscow, Delo i Servis Publ., 2009, 358 p.
14. *GOST R 50779.42–99 (ISO 8258–91) Statisticheskie metody. Kontrolnyie karty Shukharta* [Statistical methods. Control cards of Shukhart]. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov, 1999, 99 p.
15. Troyanovskiy V. M. *Matematicheskoe modelirovanie v menedzhmente* [Mathematical modeling in management]. Moscow, RDL Publ., 2010, 256 p.

© Гильц Н. Е., Куимов В. В., Таюрский А. И., 2014

РОЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В СОВРЕМЕННОЙ ЭКОНОМИКЕ

Л. В. Ерыгина, К. В. Орлова

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: erigina@sibsau.ru, karina13-ok@mail.ru

Малое предпринимательство соответствует запросам практически всех областей экономики Российской Федерации и отвечает требованиям всемирных экономических процессов. Малое предпринимательство дает свободу делового выбора и побуждает эффективную организацию производства. Эти качества малого бизнеса делают его одной из основных составляющих рыночной экономики. В некоторых странах с развитой рыночной экономикой объем продукции малых предприятий превышает половину валового внутреннего продукта (ВВП). Малое предпринимательство не только вносит существенный вклад в ВВП, но и влияет на общий рост экономики. Благодаря малому бизнесу повышается роль конкуренции в экономике, полнее удовлетворяются рыночные потребности в товарах и услугах, заполняются рыночные ниши на всех уровнях – от местного до регионального. Малые предприятия дают дополнительные рабочие места, осваивают местные сырьевые ресурсы, достойный уровень зарплаты расширяет потребительский сектор. Эти факторы положительно влияют на социальную сферу, снимают социальную напряженность, предоставляют возможность участия в предпринимательской деятельности, создания семейного бизнеса, реализации творческого потенциала. Малое предпринимательство эффективно в потребительской сфере, производстве деталей и узлов, изготовление которых крупные предприятия считают нерентабельным. Эффективность малых предприятий проявляется в освоении ресурсосберегающих технологий, в сфере разработки программных продуктов. Малый бизнес способен успешно сотрудничать с предприятиями ракетно-космической промышленности в программах конверсии. Малые инновационные предприятия осуществляют коммерциализацию научных разработок, не требующих больших инвестиций и привлечения существенных материальных, трудовых и энергетических ресурсов. Федеральная программа государственной поддержки малого предпринимательства в РФ рассматривает развитие малого бизнеса в стране как одну из важнейших задач на государственном уровне.

Ключевые слова: малое предпринимательство, малые инновационные предприятия, рыночная экономика.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 271–275**ROLE OF INNOVATIVE SMALL ENTERPRISES IN MODERN ECONOMY**

L. V. Erygina, K. V. Orlova

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: karina13-ok@mail.ru

Small business corresponds to inquiries practically of all areas of economy of the Russian Federation and meets the requirements of the world economic processes. Small business gives freedom of a business choice and induces the effective organization of production. These qualities of small business do it to one of the main components of market economy. In some countries with the developed market economy the volume of production of small enterprises exceeds a half of gross domestic product. Small business not only makes an essential contribution to gross domestic product, but also influences the general growth of economy. Thanks to small business the competition role in economy raises, market needs for goods and services are more stoutly satisfied, market niches at all levels – from local to regional are filled. Small enterprises give additional workplaces, master local raw material resources, the worthy wage level expands a consumer sector. These factors positively influence the social sphere; defuse social tension, participations in business activity, creation of family business, realization of creative potential give opportunity. Small business is effective in the consumer sphere, production of details and knots which production the large enterprises consider unprofitable. Efficiency of small enterprises is shown in development of resource-saving technologies, in the sphere of development of software products. Small business is capable to cooperate successfully with the enterprises of the space-rocket industry in programs of conversion. The small innovative enterprises carry out commercialization of the scientific development which isn't demanding big investments and attraction of essential material, labor and energy resources. The federal Program of the state support of small business in the Russian Federation considers development of small business in the country as one of the major tasks at the state level.

Keywords: small business, small innovative enterprises, market economy.

Введение. Субъекты рыночной экономики должны оперативно реагировать на изменение конъюнктуры рынка. Этим свойством в полной мере обладает малый бизнес, проявляющий необходимую гибкость для успешного позиционирования в непростых условиях рыночных отношений. Такие изменения рынка, как быстрая индивидуализация и дифференциация потребительского спроса, возрастание номенклатуры производимых товаров и услуг, своевременно учитываются малым бизнесом. Мобилизуя значительные финансовые и производственные ресурсы населения, в том числе трудовые и сырьевые, которые в его отсутствие не были бы использованы, отслеживая достижения научно-технического прогресса, субъекты малого предпринимательства становятся важным компонентом национальной и мировой экономики.

В переходный период малое предпринимательство является важнейшим фактором диверсификации экономики, так как малые предприятия действуют в основном в не сырьевых отраслях, зачастую разрабатывая или используя технологии инновационного характера. Чем значительнее доля малого предпринимательства в экономике, тем выше рост занятости населения, что особенно актуально в условиях структурной перестройки экономики и сопровождающего этот процесс определенного роста структурной безработицы. Кроме того, развитие малого бизнеса – это один из решающих факторов инновационного обновления, обновления на принципах реализации человеческого капитала, роста инициативы и ответственности.

Особенности малого бизнеса. Необходимость в серьезных изменениях системы законодательного регулирования сферы малого и среднего предпринимательства стала причиной появления Федерального закона № 209-ФЗ от 24.07.2007 г. «О развитии малого и среднего предпринимательства в РФ». Принятый закон действительно заложил правовые основы деятельности сферы малого и среднего бизнеса. В нем определены субъекты малого и среднего бизнеса, разграничены полномочия органов государственной власти и органов местного самоуправления по вопросам развития предпринимательства, выделены направления поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства, заложены основы создания инфраструктуры поддержки.

Статьей 4 Федерального закона № 209-ФЗ к субъектам малого и среднего предпринимательства отнесены включенные в единый государственный реестр юридических лиц потребительские кооперативы и коммерческие организации (за исключением государственных и муниципальных унитарных предприятий), а также физические лица, внесенные в единый государственный реестр индивидуальных предпринимателей и осуществляющие предпринимательскую деятельность без образования юридического лица (далее – индивидуальные предприниматели), крестьянские (фермерские) хозяйства, соответствующие следующим условиям:

1) для юридических лиц – суммарная доля участия Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, иностранных юридических лиц, иностранных граждан, обществен-

ных и религиозных организаций (объединений), благотворительных и иных фондов в уставном (складочном) капитале (паевом фонде) указанных юридических лиц не должна превышать двадцать пять процентов (за исключением активов акционерных инвестиционных фондов и закрытых паевых инвестиционных фондов), доля участия, принадлежащая одному или нескольким юридическим лицам, не являющимся субъектами малого и среднего предпринимательства, не должна превышать двадцать пять процентов;

2) средняя численность работников за предшествующий календарный год не должна превышать следующие предельные значения средней численности работников для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства:

а) от ста одного до двухсот пятидесяти человек включительно для средних предприятий;

б) до ста человек включительно для малых предприятий; среди малых предприятий выделяются микропредприятия – до пятнадцати человек;

3) выручка от реализации товаров (работ, услуг) без учета налога на добавленную стоимость или балансовая стоимость активов (остаточная стоимость основных средств и нематериальных активов) за предшествующий календарный год не должна превышать предельные значения, установленные Постановлением Правительства Российской Федерации от 22.07.2008 г. № 556 для каждой категории субъектов малого и среднего предпринимательства.

Данным постановлением установлены предельные значения выручки от реализации товаров (работ, услуг) за предшествующий год без учета налога на добавленную стоимость для следующих категорий субъектов малого и среднего предпринимательства:

- микропредприятия – 60 млн рублей;
- малые предприятия – 400 млн рублей;
- средние предприятия – 1 млрд рублей [1].

Сферой деятельности малых предприятий становится, как правило, мелкосерийное или штучное производство с часто меняющейся номенклатурой и ассортиментом продукции. Для малого бизнеса является рентабельным использование ограниченных источников сырья и материалов, утилизация отходов крупных производств, доработка продукции с учетом индивидуальных запросов заказчика, изготовление продукции неудобной в технологическом отношении, с большим объемом ручного, неавтоматизированного труда, удовлетворение запросов ограниченного количества потребителей. Малый бизнес сотрудничает с предприятиями ракетно-космической промышленности в реализации программ конверсии. Малые предприятия успешно изготавливают комплектующие изделия для сборочных предприятий, преобладают в сферах деятельности с высоким риском получения нулевого результата, таких как инновационная деятельность, освоение новых технологий, новых видов изделий [2–4].

Преимущества малого бизнеса. Анализ особенностей малого бизнеса позволяет выделить такие его преимущества перед средним и крупным бизнесом, как:

– быстрая адаптация к местным условиям хозяйствования;

- высокая степень независимости в действиях;
- гибкость и оперативность в принятии управленческих решений;
- способность быстро воспринимать новые идеи;
- относительно невысокие расходы на управление бизнесом;
- оперативная реакция на изменения конъюнктуры рынка;
- способность обходиться меньшими капиталовложениями в расчёте на одного работающего;
- собственники малых предприятий более склонны к сбережению, у них всегда высокий уровень личной мотивации в достижении успеха.

В то же время субъектам малого предпринимательства присущи и определённые недостатки, в частности:

- высокий уровень предпринимательского риска, что предопределяет определённую неустойчивость их положения на рынке;
- зависимость от крупных компаний;
- нехватка финансовых ресурсов и сложности, связанные с привлечением внешних источников финансирования.

Как одну из особенностей можно выделить высокую долю оборотного капитала по сравнению с основным фондом. Если у крупных предприятий это соотношение 80:20, то у малых оно составляет 20:80 [5–7].

Сфера деятельности малых инновационных предприятий. Малые инновационные предприятия осуществляют инновации, которые не требуют значительных инвестиций и привлечения существенных материальных, трудовых и энергетических ресурсов.

Малый инновационный бизнес выступает важным институциональным фактором диффузии знаний и их коммерциализации, трансфера технологий и выведения новых продуктов на рынок. Владельцы малых инновационных предприятий часто имеют более высокую, проникнутую творческим энтузиазмом мотивацию по сравнению с менеджерами, и тем более акционерами крупных компаний.

Малые инновационные предприятия представляют собой специфическую организационную форму инновационной деятельности, имеющую большое значение как для развития экономики страны в целом, так и для удовлетворения индивидуальных потребностей разработчиков новой техники, создателей инноваций, авторов изобретений и открытий.

Малые инновационные организации в России – это не только объективная реальность, но и важный фактор государственной научно-технической политики. Ограниченные экономические возможности государства в краткосрочной и среднесрочной перспективе не в состоянии обеспечить устойчивое развитие научно-технической сферы, причем достаточно реально дальнейшее, примерно трехкратное, сокращение государственных ассигнований на развитие гражданской науки и техники. Это означает, что перспективы развития науки и технологий будут в основном определяться спросом на исследования и разработки со стороны негосударственного сектора экономики. Поэтому государству следует переходить к целенаправленной работе по усилению роли мелких и средних наукоем-

ких фирм, частнопредпринимательского инновационного сектора.

Малые инновационные предприятия в России в настоящее время действуют в сфере разработки программных продуктов, лазерной техники, маркетинговых исследований, в области «улучшающих» нововведений, т. е. в основном заняты модернизацией продукции, производимой крупными предприятиями и имеющей хорошие рыночные перспективы. Именно поэтому они могли бы оказать существенное влияние на улучшение качества и повышение конкурентоспособности производимой продукции. Малые предприятия, созданные специалистами научно-исследовательских институтов, крупных НПО и функционирующие по сути как их необходимые партнеры, занимаются, в зависимости от текущих потребностей, исследованиями, разработками и даже производством. Основное приложение сил таких фирм ориентировано на оказание научно-инженерных услуг.

С народнохозяйственной точки зрения малое инновационное предприятие является эффективным инструментом постоянного обновления всех элементов производственных процессов, обеспечения высокой конкурентоспособности продукции, работ и услуг. Они способны очень динамично и гибко реагировать как на изменения потребительского спроса, так и на новые предложения и перспективы, открывающиеся на базе результатов НИОКР.

Малые инновационные предприятия способны в наибольшей степени снижать социальную напряженность в кризисных ситуациях, в условиях реструктуризации отраслевых производств, предоставляя рабочие места для квалифицированных специалистов и рабочих [8–12].

Вклад малого бизнеса в экономику страны. По сравнению с развитыми странами в российской экономике небольшая доля малого и среднего бизнеса, хотя в последнее время она несколько увеличивается. Об этом премьер-министр РФ Дмитрий Медведев сообщил на совещании с вице-премьерами. «Сегодня удельный вес малого и среднего бизнеса в экономике страны не слишком велик, если его сопоставлять с развитыми странами, хотя этот сектор все равно растет», – сказал глава правительства. По его словам, доля малого и среднего бизнеса в ВВП в России составляет около 20 %, или около 25 % от общей численности занятых. А доля инновационного бизнеса еще совсем небольшая – это около 1 % [13].

В случае выхода малого бизнеса из тени его доля в ВВП России составит 40–50 % против нынешних 19 %, сообщил глава Минэкономразвития Андрей Белоусов, выступая на расширенной коллегии министерства. «Сегодня в этом секторе заняты около 17 млн человек, включая индивидуальных предпринимателей. Это четверть всех занятых в экономике России», – отметил он, ссылаясь на официальные данные. Еще столько же, порядка 18 млн человек, работают в теневом секторе, считают в министерстве. Если создать условия для выхода из тени малых предприятий, то можно увеличить долю малого бизнеса в ВВП до указанной величины, что соответствует уровню развитых стран, добавил А. Белоусов [14].

**Основные показатели деятельности субъектов малого и среднего предпринимательства (МСП)
по состоянию на 01.01.2013 г. (по итогам 2012 г.)**

Показатели	Микро- предприятия	Малые предприятия	Средние предприятия	Индивидуальные предприниматели	Все категории МСП
Количество субъектов МСП, тыс. ед.	1760,0	243,0	13,8	2628,9	4645,7
Среднесписочная численность работников (без внешних совместителей), тыс. чел.	4248,9	6506,8	1719,5	5644,2	18119,4
Оборот (выручка) субъектов МСП от реализации товаров (работ и услуг), млрд руб.	8347,4	15116,3	4110,6	8707,4	36281,7

В начале 2014 г. Федеральная служба государственной статистики опубликовала статистический сборник «Малое и среднее предпринимательство в России». В сборнике представлены данные с 2010 г. по 01 января 2013 г. (см. таблицу).

Сейчас малый бизнес испытывает серьезное давление в виде высокой арендной платы, высоких процентных ставок по кредитам, кроме того, на него ложится чрезмерная фискальная нагрузка в виде страховых платежей, указал министр. Это заставляет малый бизнес работать нелегально.

Между тем Минэкономразвития намерено отстаивать в правительстве свои предложения по смягчению нагрузки на малый бизнес, прежде всего в части страховых отчислений и снижения процентных ставок, кроме того, министерство сформировало предложения по созданию комфортной предпринимательской среды. Они включают ряд направлений деятельности [15].

Заключение. Малое предпринимательство представляет собой существенную структурную часть рыночной экономики, ее массовую базу и интегральный элемент конкурентного рыночного механизма. Без малого бизнеса рыночная экономика не в состоянии ни функционировать, ни развиваться. Становление и развитие малого бизнеса является стратегической проблемой экономической политики в условиях перехода от административно-командной экономики к социально ориентированному рыночному хозяйству. Недооценка роли малого предпринимательства, игнорирование его значительных технико-производственных и социально-экономических потенциалов приобретают в данных условиях характер крупномасштабного стратегического просчета.

Библиографические ссылки

1. О развитии малого и среднего предпринимательства в РФ : федер. закон № 209-ФЗ от 24.07.2007 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_157188/ (дата обращения: 04.12.2014).

2. Кошелева Т. Н. Стратегии развития малого инновационного предпринимательства : монография. СПб. : ГУАП, 2009. 205 с.

3. Государственная программа Российской Федерации «Космическая деятельность России на 2013–2020 годы» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.federal-space.ru/20561/> (дата обращения: 04.12.2014).

4. Зюрина О. А. Роль малого инновационного бизнеса в формировании среднего класса [Электронный ресурс]. URL: http://www.econ.msu.ru/cmt2/lib/a/1430/file/Zurina_O_A.doc (дата обращения: 04.12.2014).

5. Сальников О. В. Комплекс мер по поддержке малого предпринимательства [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomic.narod.ru/nbene/econom/feconom11.htm> (дата обращения: 04.12.2014).

6. Акмаева Р. И. Инновационный менеджмент малого предприятия, работающего в научно-технической сфере : учеб. пособие. Ростов н/Д. : Феникс, 2012. 541 с.

7. Друкер П. Ф. Бизнес и инновации. М. : Вильямс, 2009. 432 с.

8. Валдайцев С. В., Молчанов Н. В., Пекольдт К. Малое инновационное предпринимательство : учеб. пособие. М. : Проспект, 2011. 536 с.

9. Красников В. Я. Государственная инновационная политика в России // Экономические науки. 2010. Т. 62, № 1. С. 37–40.

10. Стратегии инновационного развития до 2020 года. М. : Минэкономразвития России, 2010. 105 с.

11. Стратегия развития науки и инноваций в Российской Федерации до 2015 года. М. : Минобрнауки, 2006. 124 с.

12. Власова В. М. Основы предпринимательской деятельности : учеб. пособие. М. : Финансы и статистика, 2009. 511 с.

13. РБК. Личные финансы [Электронный ресурс]. URL: <http://lf.rbc.ru/news/press/2014/02/03/236194.shtml>.

14. РосБизнесКонсалтинг [Электронный ресурс]. URL: <http://top.rbc.ru/economics/29/04/2013/856181.shtml>.

15. Малое и среднее предпринимательство в России. 2013 : стат. сб. М. : Росстат, 2013. 216 с.

References

1. RF Federal Law “About development of small and average business in the Russian Federation” of July 24,

2009 no. 209. (In Russ.) Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_157188/. (accessed 04.12.2014).

2. Kosheleva T. N. *Strategii razvitiya malogo predprinimatel'stva* [Strategy of development of small innovative business]. St. Petersburg, GUAP Publ., 2009, 205 p.

3. *Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii "Kosmicheskaya deyatel'nost' Rossii na 2013–2020 gody"* [State program of the Russian Federation "Space activity of Russia for 2013–2020"]. (In Russ.). Available at: <http://www.federalspace.ru/20561/>. (accessed 04.12.2014).

4. Zurina O. A. *Rol' malogo innovatsionnogo biznesa v formirovanii srednego klassa* [The Role of small innovative business in formation of middle class]. (In Russ.) Available at: http://www.econ.msu.ru/cmt2/lib/a/1430/file/Zurina_O_A.doc. (accessed 04.12.2014).

5. Sal'nikov O. V. *Kompleks mer po podderzhke malogo predprinimatel'stva* [A package of measures on support of small entrepreneurship]. (In Russ.). Available at: <http://ekonomic.narod.ru/nbene/econom/feconom11.htm>. (accessed 04.12.2014).

6. Akmaeva R. I. *Innovatsionny menedzhment malogo predpriyatiya, rabotayushchego v nauchno-tehnicheskoy sfere: uchebnoe posobie* [Innovative management of the small enterprise working in the scientific and technical sphere: manual]. Rostov na Donu, Feniks Publ., 2012, 541 p.

7. Druker P. F. *Biznes i innovatsii* [Business and innovation]. Moscow, Vil'yams Publ., 2009, 432 p.

8. Valdaytsev S. V., Molchanov N. V., Petsol'dt K. *Maloe innovatsionnoe predprinimatel'stvo: uchebnoe posobie* [Small innovative entrepreneurship: manual]. Moscow, Prospect Publ., 2011, 536 p.

9. Krasnikov V. Ya. [The state innovative policy in Russia]. *Ekonomicheskiye nauki*. 2010, vol. 62, no. 1, p. 37–40 (In Russ.).

10. *Strategiya innovatsionnogo razvitiya do 2020 goda* [Strategy of innovative development till 2020]. Moscow, Minekonomrazvitiya Rossii Publ., 2010, 105 p.

11. *Strategiya razvitiya nauki i innovatsiy v Rossiyskoy Federatsii do 2015 goda* [Strategy of development of science and innovations in the Russian Federation till 2015]. Moscow, Minobrnauki Publ., 2006, 124 p.

12. Vlasova V. M. *Osnovy predprinimatel'skoy deyatel'nosti: uchebnoe posobie* [Bases of business activity: manual]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2009, 511 p.

13. *RBC. Lichnye finansy* [Information portal] Available at: <http://lf.rbc.ru/news/press/2014/02/03/236194.shtml> (accessed 04.12.2014).

14. *RosBiznesKonsalting* [Information portal] Available at: <http://top.rbc.ru/economics/29/04/2013/856181.shtml> (accessed 04.12.2014).

15. *Maloe i srednee predprinimatel'stvo v Rossii. 2013: statisticheskiy sbornik* [Small and Medium Entrepreneurship in Russia. 2013: the statistical collection]. Moscow, Rosstat, 2013, 216 p.

**ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА
НАУКОЕМКОЙ ПРОДУКЦИИ**

Л. В. Ерыгина, Р. В. Смородинов, С. И. Сенашов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: rs105826@gmail.com

Рассмотрены роль и особенности наукоемких производств. Их развитие требует значительных инвестиционных вложений. Это осуществляется путем разработки и внедрения инновационно-инвестиционных проектов. Оценка инновационно-инвестиционных проектов требует тщательного учета большого количества факторов, сочетание которых будет определять эффективность в целом, а также по отдельным стадиям осуществления проекта. Выделены четыре основные стадии проектирования и производства наукоемкой продукции, особое внимание уделено стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Рассматриваются основные проблемы, возникающие на предприятиях при внедрении и оценке эффективности инновационно-инвестиционных проектов производства наукоемкой продукции. В настоящее время происходит ужесточение требований потребителей к качеству и стоимости предлагаемых проектов. Поэтому при разработке проектов необходимо ускорять процесс выхода на рынок нового продукта и его успешного освоения. Новые инновационно-инвестиционные проекты требуют значительных финансовых вложений, отвлекающих средства на длительный период. Кроме того, необходимо проводить обоснование выбора момента начала осуществления инновационно-инвестиционного проекта путем проведения анализа готовности рынка к данному виду инноваций.

С целью текущей оценки перспективности проектов необходимо проведение следующих действий: анализ конъюнктуры рынка, возможных и существующих конкурентов, спроса на новые виды продукции и технологии; учет возможного потенциала предприятия, его соответствия будущим задачам; расчет и анализ финансовых результатов проекта, финансовой устойчивости предприятия.

Ключевые слова: инновационно-инвестиционные проекты, наукоемкость продукции, оценка эффективности, стадии производства, управление проектами.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 276–279

**MAIN ISSUES OF IMPLEMENTATION AND ASSESSMENT OF INNOVATION
AND INVESTMENT PROJECTS OF SCIENCE-INTENSIVE PRODUCTION**

L. V. Erygina, R. V. Smorodinov, S. I. Senashov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: rs105826@gmail.com

The article considers the role and features of high-tech industries. Its development requires the significant investments. This is performed by development and implementation of innovative and investment projects. Evaluation of innovative and investment projects requires consideration of many factors, the combination of which will determine the overall efficiency and individual stages of the project. We identified four basic stages of designing and manufacturing science-intensive products, special attention is given to the stage of research and development work. The article considers the main problems of the enterprises in implementation and evaluation of the effectiveness of innovation and investment projects for the production of science-intensive products. Now there is the toughening of consumer demands for quality and cost of the proposed projects. It is necessary to accelerate the process of entering the market with a new product and its successful mastering when developing new projects. New innovative and investment projects require significant financial investments, diverted resources for a long period. Furthermore, it is necessary to carry out justification for the selection inception of the innovative and investment projects by analyzing market readiness for this type of innovation.

It is necessary to carry out the following steps for the purpose of the current assess of projects promising: analysis of market conditions, potential and existing competitors, demand for new products and technologies, taking into account the possible potential of the company, its compliance with future challenges, calculation and analysis of the financial results of the project, the financial sustainability of the enterprise.

Keywords: innovation and investment projects, science intensity of production, performance evaluation, stages of production, project management.

Введение. В последние годы благоприятная рыночная конъюнктура в Российской Федерации способствовала активизации инвестиционных процессов и подъему промышленного производства в большинстве отраслей экономики. И, как следствие этого, существенно возрос инвестиционный спрос [1].

В современной экономике развитие любого предприятия нельзя представить без использования инвестиций, которые обеспечивают ускорение технического развития, внедрение новых технологий, обновление продукции, совершенствование форм организации труда.

Данный процесс требует значительных финансовых затрат для достижения поставленных целей. Цель развития обеспечивается осуществлением высокоэффективных инвестиционных проектов. Это определяет высокую роль и значение решения проблем, связанных с внедрением и оценкой экономической эффективности инновационно-инвестиционных проектов.

Значительные инвестиции в рыночных условиях требуются при создании наукоемких производств.

Роль инвестиций в развитии наукоемких производств. Наукоемкость отрасли определяется показателем наукоемкости продукции, которая рассчитывается как отношение затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы к общей их величине. Считается, что в наукоемких отраслях данный показатель в 1,2–1,5 раза выше среднего уровня по обрабатывающей промышленности [2–4].

Особенностями наукоемкой продукции часто является уникальность, многофункциональность, многономенклатурность и диверсифицированность, производство является мелкосерийным или индивидуальным. Для такого производства характерна частая сменяемость продукции, разветвленная внутри- и межотраслевая кооперация, наличие высококвалифицированного научного, инженерно-технического персонала, высокая квалификация рабочих. Рассматривая основные особенности и виды наукоемкой продукции, следует отметить, что наукоемкой считается продукция пятого и более высоких технологических укладов.

Развитие наукоемких производств сопровождается путем осуществления инновационно-инвестиционных проектов.

Инвестиционный проект – это обоснование экономической целесообразности, объема и сроков осуществления капитальных вложений, в том числе необходимая проектная документация, разработанная в соответствии с российским законодательством и утвержденными в установленном порядке стандартами (нормами и правилами), а также описание действий по осуществлению инвестиций [5]. Инвестиционный проект объединяет два противоположных, и в известном смысле, самостоятельных процесса – создание

производственного или иного объекта или накопление капитала и последовательное получение дохода [6].

Проблемы, возникающие при внедрении и оценке эффективности инновационно-инвестиционных проектов производства наукоемкой продукции. Оценка инновационно-инвестиционных проектов производства наукоемкой продукции требует тщательного учета большого количества факторов, сочетание которых будет определять эффективность в целом. Вид проекта будет определять те границы, в которых будет получена отдача от него. Так, проект может быть значимым только для организации, в которой происходит внедрение, например, увеличение объема производимой продукции, снижение ее себестоимости, рост конкурентоспособности продукции, улучшение использования ресурсов, повышение качества продукции, освоение новых сегментов рынка. Другие проекты могут повлиять на экономические показатели деятельности отрасли и региона. В конечном итоге это также повлияет на увеличение финансовых результатов организации.

Для инвестиционных проектов производства наукоемкой продукции достаточно сложно сразу определить все возможные результаты, эффективность вложений в целом, в том числе и по основным стадиям их осуществления.

В экономической литературе при определении стадий производства наукоемкой продукции выделяется различное количество стадий [7–12].

На основе проведенного нами анализа предлагается выделять следующие стадии проектирования и производства наукоемкой продукции [13]:

- 1) научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
- 2) подготовка производства;
- 3) освоение производства наукоемкой продукции и продвижение на рынок;
- 4) эксплуатация.

Свои особенности имеют вложения в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. При этом проводятся фундаментальные и прикладные исследования. Результаты их применения трудно выделить и оценить в отдельности.

Другой проблемой является определение периода, за который можно увидеть результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, ведь результаты фундаментальных исследований могут использоваться в течение длительного периода.

Еще одной проблемой являются риски, возникающие при проектировании и осуществлении инвестиционных проектов. Фундаментальные и прикладные исследования могут не сразу дать результат или не дать вообще, новые виды продукции и технологии могут оказаться невостребованными на рынке. Возможная

конкуренция, появление новых альтернативных проектов не позволяют получить ожидаемые экономические и финансовые результаты.

Развитие научных достижений во многих областях и сферах деятельности усиливает конкуренцию, ужесточаются требования потребителей к качеству и стоимости предлагаемых проектов. Поэтому при разработке проектов необходимо ускорять процесс выхода на рынок с новым продуктом и его успешного освоения.

Часто новые инновационно-инвестиционные проекты требуют значительных финансовых вложений, отвлекающих средства на длительный период [14; 15].

Результативность инновационных проектов во многом зависит от условий, в которых они осуществляются. Важно определить, обладает ли производитель достаточным производственным, научно-техническим, кадровым и экономическим потенциалом, имеет ли возможность финансировать значительные затраты, в том числе непредвиденные. Кроме того, необходимо проводить обоснование выбора момента начала осуществления инновационно-инвестиционного проекта, т. е. анализ готовности рынка к данному виду инноваций. Фактор времени влияет на эффективность проектов через значительные результаты их осуществления при дальнейших исследованиях и разработках, появлении новых видов техники и технологий.

При организации процесса производства наукоемкой продукции предприятия координируют деятельность всех подразделений для скорейшего достижения положительных результатов; одновременно необходимо разрабатывать новые поколения продукции, улучшать существующую продукцию.

При этом должны быть учтены следующие факторы: покупатели могут и готовы платить за инновации, применяемые технологии производства, новшества соответствуют затратному потенциалу производителя, объем потенциального спроса на производимую продукцию достаточен, чтобы обеспечить окупаемость всех необходимых затрат, в том числе и на фундаментальные и прикладные научно-исследовательские работы. Существует также ряд проблем, связанных с несовершенством нормативно-правовой базы организации внедрения инновационно-инвестиционных проектов.

В частности, к таким проблемам следует отнести механизм ценообразования на наукоемкую продукцию, вопросы нормативного оформления документации, интеграции предприятий при производстве наукоемкой продукции, оценка вклада от их участия и др.

Основные направления решения возникающих проблем. Важным условием эффективности осуществления капитальных вложений в инновационно-инвестиционные проекты является текущая оценка их перспективности. С этой целью необходимо проведение следующих мероприятий:

- проведение анализа конъюнктуры рынка, возможных и существующих конкурентов, спроса на новые виды продукции и технологии;
- учет возможного потенциала предприятия, его ответственности будущим задачам;
- расчет и анализ финансовых результатов проекта, финансовой устойчивости предприятия.

Для большей достоверности прогнозов можно рассмотреть несколько вариантов развития событий, предусмотреть возможность их регулирования, управлять проектом для устранения возникающих проблем и препятствий.

Необходимо также своевременно решить следующие вопросы:

- ускорить процесс нормативного обеспечения инновационного проекта;
- разработать параметры для осуществления аргументации выбора инновационного проекта;
- за счет интеграции субъектов рынка снизить себестоимость выпускаемой продукции, время ее запуска в производство;
- для участия в проекте должны отбираться те предприятия, совокупный вклад от участия которых даст наиболее оптимальную величину прибыли и затрат;
- провести оптимизацию производственного и финансового цикла изготовления продукции;
- должно быть максимально возможное сокращение длительности цикла выхода товара на рынок при условии улучшения его качества в результате интеграции предприятий;
- отработать механизм ценообразования на выпускаемую продукцию.

Заключение. При внедрении и оценке инновационно-инвестиционных проектов производства наукоемкой продукции предприятия сталкиваются с целым рядом проблем. Достичь необходимых результатов можно путем принятия правильных решений, тщательной подготовки и управления проектами.

Библиографические ссылки

1. Аксенов А. А. Управление государственными инвестициями в высокотехнологичные отрасли: на материалах оборонно-промышленного комплекса : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05. СПб, 2007. 184 с.
2. Панин А. Оценка наукоемкой продукции // Военно-промышленный курьер. 2007. № 32 (198).
3. Schubert T. Are there scale economies in scientific production? On the topic of locally increasing returns of scale // Scientometrics. 2014. Vol. 99, iss. 2, P. 393–408.
4. Экономика инновационной деятельности наукоемких предприятий : учебник / А. А. Колобов [и др.] ; под ред. А. А. Колобова, И. Н. Омельченко. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. 384 с.
5. ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» от 25.02.1999 г. № 39-ФЗ.
6. Четыркин Е. М. Методы финансовых и коммерческих расчетов. М. : Дело ЛТД, 1995. 320 с.
7. Быстров В. А., Лебедев В. И. Экономическая оценка инвестиций в трудовую деятельность : учеб. пособие. Томск : Томский политехн. ун-т, 2010. 329 с.
8. Моисеева Е. В. Себестоимость продукции в условиях наукоемкого производства: взаимосвязь теоретического и прикладного аспектов : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.01, 08.00.05. Иваново, 2007. 24 с.

9. Производственный менеджмент : учебник / под ред. В. А. Козловского. М. : Инфра-М, 2003. 574 с.

10. Никитина Н. В., Керженцев Ф. А. Вопросы управления проектированием и производством наукоемкой продукции // Наука информационного века – 2007 : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Экономические науки. Днепропетровск : Наука, 2007. С. 42–49.

11. Романов Ю. В. Особенности управления производством наукоемкой машиностроительной продукции // Российское предпринимательство. 2002. № 1 (25). С. 74–79.

12. Рыбкина О. В. Организационные резервы повышения эффективности производства наукоемкой продукции : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 05.02.22. Воронеж, 2012. 28 с.

13. Смородинов Р. В. Основные стадии производства наукоемкой продукции // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : материалы X Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи (8–12 апр. 2014, г. Красноярск). В 2 т. Т. 2. Социально-экономические и гуманитарные науки / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2014. С. 41–42.

14. Трефилова А. А. Оценка эффективности инновационного развития предприятия. М. : Финансы и кредит, 2005. 304 с.

15. Guan J. Measuring the innovation production process: A cross-region empirical study of China's high-tech innovations // *Technovation*. 2010. Vol. 30(5). P. 348–358.

References

1. Aksenov A. A. *Upravlenie gosudarstvennymi investitsiyami v vysokotekhnologichnye otrasli: na materialakh oboronno-promyshlennogo kompleksa*. Dis. kan. ekon. nauk. [Management of public investment in high-tech industries: on materials of military-industrial complex]. Ph.D. econ. sci. diss]. St. Petersburg, 2007, 184 p.

2. Panin A. [Evaluation of science-intensive production] *Voenna-promyshlenny kur'er*. 2007, vol. 32(198) (In Russ.).

3. Schubert T. Are there scale economies in scientific production? On the topic of locally increasing returns of scale. *Scientometrics*, 2014, vol. 99, iss. 2, p. 393–408.

4. Kolobov A. A., Kochetov V. V., Omel'chenko I. N. *Ekonomika innovatsionnoy deyatel'nosti naukoemkikh predpriyatiy* [Economics of innovation activity of science-intensive enterprises]. Moscow, MGTU im. N. E. Bauman Publ., 2007, 384 p.

5. RF Federal Law “About investment activities in the Russian Federation in the form of capital investment” of February 25, 1999 N39. (In Russ.). Available at: http://consultant.ru/document/cors_doc_LAW_156882. (accessed 19.12.2014).

6. Chetyrkin E. M. *Metody finansovykh i kommercheskikh raschetov* [Methods of finance and commercial calculations]. Moscow, Delo LTD, 1995, 320 p.

7. Bystrov V. A., Lebedev V. I. *Ekonomicheskaya otsenka investitsiy v trudovuyu deyatel'nost'* [Economic assessment of investment in labor activity]. Tomsk, Tomskiy Politehnicheskiiy universitet Publ., 2010, 329 p.

8. Mokeeva E. V. *Sebestoimost' produktsii v usloviyakh naukoemkogo proizvodstva: vzaimosvyaz' teoreticheskogo i prikladnogo aspektov* [The cost of production in a science-intensive production: the relationship of theoretical and applied aspects], Ivanovo, 2007, 24 p.

9. Kozlovskiy V. A. *Proizvodstvennyy menedzhment* [Production management]. Moscow, INFRA-M Publ., 574 p.

10. Nikitina N. V., Kerzhentsev F. A. [Management issues in the design and manufacture of science-intensive products] *Materialy II Mezhdunar. Nauch.-prakt. konf. “Nauka informatsionnogo veka”* [Proc. 2nd Int. Scientific and Practical Conference “Science of the informational age”]. Dnepropetrovsk, 2007, Nauka publ., p. 42–49 (In Russ.).

11. Romanov Yu. V. [Features of a science-intensive production management engineering products]. *Rossiyskoe predprinimatel'stvo*, 2002, vol. 1(25), p. 74–79 (In Russ.).

12. Rybkina O. V. *Organizatsionnye rezervy povysheniya effektivnosti proizvodstva naukoemkoy produktsii*. Dis. kan. econ. nauk. [Organizational reserves to improve production efficiency of science-intensive products]. Ph.D. econ. sci. diss]. Voronezh, 2012, 28 p.

13. Smorodinov R. V. [Main stages of production of science-intensive products]. *Materialy X Vseros. nauch.-prakt. konf. tvorcheskoy molodezhi “Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики”* [10th All-Russian Scientific and Practical Conference of creative youth “Actual issues of aviation and astronautics”]. Krasnoyarsk, 2014, p. 41–42 (In Russ.).

14. Trefilova A. A. *Otsenka effektivnosti innovatsionnogo razvitiya predpriyatiya* [Evaluation of effectiveness of innovative development company]. Moscow, Financy i Kredit Publ., 2005, 304 p.

15. Guan J. Measuring the innovation production process: A cross-region empirical study of China's high-tech innovations. *Technovation*, 2010, vol. 30(5), p. 348–358.

СТИМУЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

О. Е. Подвербных, Е. С. Семёнкин, А. А. Кузнецов, С. М. Самохвалова

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: podverbnih@sibsau.ru

Развиваясь инновационным путем, высокотехнологичное предприятие вынуждено совершенствовать свою производственную базу, систему материально-технического обеспечения, оптимизировать структуру сбыта продукции, адаптируя их к изменениям. Происходит перестройка организационных структур управления, приобретают опыт и расширяют знания работники и руководители, отлаживается система взаимодействия с экономическими партнерами, создается и укрепляется имидж предприятия. В связи с этим растет инновационный потенциал, расширяются адаптационные способности предприятия к изменениям внешней среды, что, в свою очередь, может позволить реализовать новые возможности, обеспечивая устойчивое развитие предприятия.

Выделены проблемы и направления стимулирования инновационной деятельности высокотехнологичных предприятий. На основе рассмотренных методов стимулирования инновационной деятельности предложен алгоритм стимулирования инновационной деятельности предприятия, включающий следующие этапы: определение целей стратегии инновационного развития предприятий (количественные, качественные), экспертный анализ и оценка проблем и методов стимулирования инновационной деятельности предприятий, выбор методов стимулирования инновационной деятельности, разработка программы стимулирования инновационной деятельности (проекты, мероприятия, контрольные индикаторы), включение программы стимулирования в стратегическую программу предприятия, реализация стратегии инновационного развития высокотехнологичного предприятия, внедрение методов стимулирования.

Ключевые слова: инновационная деятельность, высокотехнологичные предприятия, направления, методы, алгоритм стимулирования инновационной деятельности.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 280–287

STIMULATION OF INNOVATION ACTIVITY OF HIGH-TECH ENTERPRISES

O. E. Podverbnykh, E. S. Semenko, A. A. Kuznetsov, S. M. Samokhvalova

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: podverbnih@sibsau.ru

Developing innovative way, a high-tech enterprise has to develop its manufacturing base the system of logistics support, optimize the structure of sales, adapting them to the changes. There is a reorganization of administrative structures, gain experience and expand the knowledge employees and managers, smoothed system of interaction with economic partners, establish and strengthen the company's image. In this regard, increasing the innovative potential, expanding the adaptive ability of the enterprise to changes in the environment, which in turn can allow the addition of new functionality, ensuring sustainable development of the enterprise.

In the study highlighted the problems and trends stimulation of innovation activity of high-tech enterprises. On the basis of the considered methods to stimulate innovation activities proposed an algorithm to stimulate innovation enterprise, comprising the steps of: defining objectives of the strategy development innovative enterprises (quantitative, qualitative), expert analysis and evaluation of problems and methods to stimulate innovation activities of enterprises, the choice of methods to promote innovation, develop incentive programs innovation activities (projects, activities, control indicators), including incentive programs in the strategic program of the enterprise, the implementation strategy of development high-tech innovative enterprises, the introduction of stimulation methods.

Keywords: innovation activity, high-tech enterprises, directions, methods, algorithm to stimulate innovation activities.

Введение. Одна из наиболее актуальных проблем российской экономики – повышение конкурентоспособности промышленности за счет ее технологического переоснащения и подъема наукоемких высокотехнологичных отраслей производства, создающих высокую добавленную стоимость. Поэтому возникает острая необходимость в получении предприятиями доступа к передовым технологиям.

В данном контексте на протяжении всего периода становления рыночной экономики, модернизации ее отраслей инновационный потенциал и реалии инновационной деятельности на микроуровне отдельного предприятия не достигают сбалансированного результата в виде выпуска конкурентоспособной продукции со значительным высокотехнологичным заделом. Одной из причин является недостаточная готовность самих предприятий к использованию предлагаемых государством инструментов стимулирования инновационной деятельности. Сказанное свидетельствует о необходимости более детального рассмотрения применимости инструментов стимулирования инновационной деятельности в практике стратегического управления высокотехнологичными предприятиями.

Современное состояние высокотехнологичного потенциала российских предприятий. Пока российские технологии сохраняют сравнительно неплохой рейтинг. Отрадно, что, несмотря на объективные трудности в сфере финансирования российской науки, сегодня можно назвать немало технологических направлений, по которым российские разработчики еще сохраняют мировое лидерство. Исследования показали, что в половине технологических направлений в России есть существенные технические или приоритетные достижения в конкретных областях. А, например, в ряде разделов лазерной технологии, ядерной техники, неразрушающего контроля и других направлениях российские разработчики держат мировое лидерство [1].

Есть и другие оценки, которые, в частности, получены в результате поиска российских технологий по 200 запросам иностранных компаний, проведенного фирмой Техноконсалт. Фактически такая оценка отражает мнение иностранных заказчиков из США, Японии, Южной Кореи, Западной Европы. Результат весьма обнадеживающий – 60 % российских технологий были признаны соответствующими мировому уровню [2].

Сегодня практически в любой отрасли можно найти технологии с хорошим экспортным потенциалом. На оборонных предприятиях имеется огромное число разработок так называемого двойного назначения, т. е. таких, которые могут использоваться как в военных, так и в мирных целях. Этот потенциал по своим возможностям во многих случаях не уступает западному уровню с точки зрения конкурентоспособности и применения уникальных технологий.

В то же время реализация инновационной продукции не превышает 10 % от общего объема реализации товаров предприятиями. Спрос на отечественную научно-техническую продукцию на внутреннем и внешнем рынках остается крайне низким из-за ограниченных финансовых возможностей российских покупате-

лей, а также из-за того, что она не всегда сориентирована под конкретные заказы [3]. Развитие российской прикладной науки тормозится также практическим отсутствием платежеспособного спроса на передовые технологии промышленных предприятий. Естественно, в этих условиях многие научные институты стали искать связи с зарубежными заказчиками. Причем «на продажу» предлагаются весьма разнообразные услуги – от готовых разработок и технологий до выполнения разовых исследовательских контактов с соответствующей передачей интеллектуальной собственности. Некоторым это удастся, но в основном из-за низкой продажной стоимости интеллектуального российского потенциала [4].

Коэффициент изобретательности – количество поданных резидентами заявок на изобретения на 1 млн населения – в России примерно в 3–4 раза ниже, чем у таких стран, как Германия и США, и в 18–19 раз ниже по сравнению с Японией. В результате инновационный потенциал России, характеризуемый количеством действующих охранных документов на изобретения и полезные модели, более чем в пять раз ниже инновационного потенциала Германии.

В структуре затрат опытно-конструкторские работы занимают 67 %, больше чем во многих развитых странах. Но, в отличие от других промышленно развитых стран, изобретательская активность в России резко падает по мере приближения к концу научно-технологической цепи. В результате количество действующих патентов на изобретения в 2001 г. более чем 7,5 раз превосходило число свидетельств на полезные модели. В Германии в том же году это отношение для патентов, прошедших регистрацию через Германское бюро патентов и торговых марок (Deutsche Patent und Markenamt – DPMA), составляло 1,25, а с учетом патентов на изобретения, прошедших регистрацию через Европейское патентное бюро, – 2,3 [5].

Россия сильно отстает от развитых стран по доле затрат на исследования и разработки в ВВП. По масштабам финансирования науки она за 1990-е гг. «откатилась» на уровень стран со средним (по абсолютной величине расходов) и даже малым (по доле в ВВП) научным потенциалом. Доля затрат на науку в ВВП в 2001 г. в нашей стране составила 1,16 %, что примерно вдвое меньше среднего по ОЭСР. Низкий уровень изобретательского потенциала, недостаточный спрос со стороны производства на результаты научно-технической деятельности говорят о существовании серьезных внутренних проблем не только в предпринимательской среде, но также и в самой науке. Беда российской инновационной политики в ее традиционной бессистемности. Россия, будучи одной из немногих стран, обладающих достаточно развитым научно-техническим потенциалом, по состоянию институциональных инструментов инновационного процесса находится на уровне ниже пятидесятих годов прошлого века [6]. Все указанные факты свидетельствуют о значительной актуальности выбора и обоснования инструментов стимулирования инноваций в высокотехнологичных отраслях российской экономики.

Особенности использования инструментов стимулирования инноваций. В современных промышленно развитых странах для реализации государственных целей развития инноваций при осуществлении взаимодействия государства, науки и промышленности применяются три основных инструмента.

Первый из них – *государственный контракт*. Не исключается ситуация передачи приобретенного продукта третьей стороне. Заключение контракта, за исключением специально оговоренных ситуаций, является результатом конкурса. В процессе работ по контракту представитель государства имеет право контролировать процесс выполнения работ и корректировать их. В законодательстве нашей страны нет четкого определения контракта по отношению к взаимодействиям с участием сферы науки.

Второй, наиболее распространенный инструмент – *грант*. Он легализует другую форму отношений между государством и научно-исследовательским сектором, а именно, поддержку или стимулирование государством научных исследований и разработок – финансами, собственностью, услугами или еще чем-либо ценным.

Причем предполагается, что до окончания работ по гранту государство не имеет права контроля и вмешательства в их выполнение. Срок выполнения работ оговаривается специальным соглашением. Грант используется особенно часто для поддержки исследований и разработок со стороны государства, если результаты работ неопределенны или не могут принести непосредственную пользу или выгоду в ближайшем будущем. Именно эту форму – де-факто, но не де-юре, используют наши научные фонды – Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) и Российский гуманитарный научный фонд (РГНФ).

Третий, очень важный, институциональный инструмент – *кооперативное соглашение*. Оно вводилось как инструмент сотрудничества и поддержки, не требующий, как и грант, заранее жестко заданного и сиюминутно полезного результата, но отличающийся от него тем, что в нем государству принадлежит право контроля хода работ и четко распределяются права и вклад участников соглашения [7].

На масштабы проведения исследований и разработок существенное влияние оказывает применение методов косвенного стимулирования инвестирования в научно-исследовательскую деятельность. Эти методы, получившие широкое распространение, сводятся к следующим:

- налоговые послабления;
- займы по сниженным кредитным ставкам;
- финансовая поддержка процессов лицензирования государственных научно-исследовательских организаций и высших учебных заведений.

Основные ресурсы инновационной деятельности, выраженные абсолютными показателями числа инновационно активных предприятий и объемов инновационных затрат, сосредоточены в организациях частной либо смешанной (без иностранного участия) форм собственности [8]. В то же время, как показывает анализ статистических данных, отечественные организации частной формы собственности вовсе не оказыва-

ются в числе лидеров, значительно уступая организациям иностранной формы собственности, чей уровень инновационности в два раза превышает средний по России, а также организациям иных форм собственности [9]. Это обуславливает необходимость принятия срочных мер, направленных на формирование в стране эффективного собственника, – развитие фондового рынка, совершенствование процедуры банкротств, активизация антимонопольной политики.

При анализе деятельности предприятий в области технологических инноваций, т. е. в области, непосредственно связанной с необходимостью проведения исследований и разработок, прослеживается тенденция уменьшения уровня инновационности с ростом размера предприятия. Среди организаций, вводящих новую продукцию или усовершенствовавших прежнюю, подвергнув ее значительным технологическим улучшениям, доля инновационной продукции у «усредненных» организаций-гигантов (более 10 000 человек) в три с половиной раза ниже, чем у малых организаций (до 49 человек).

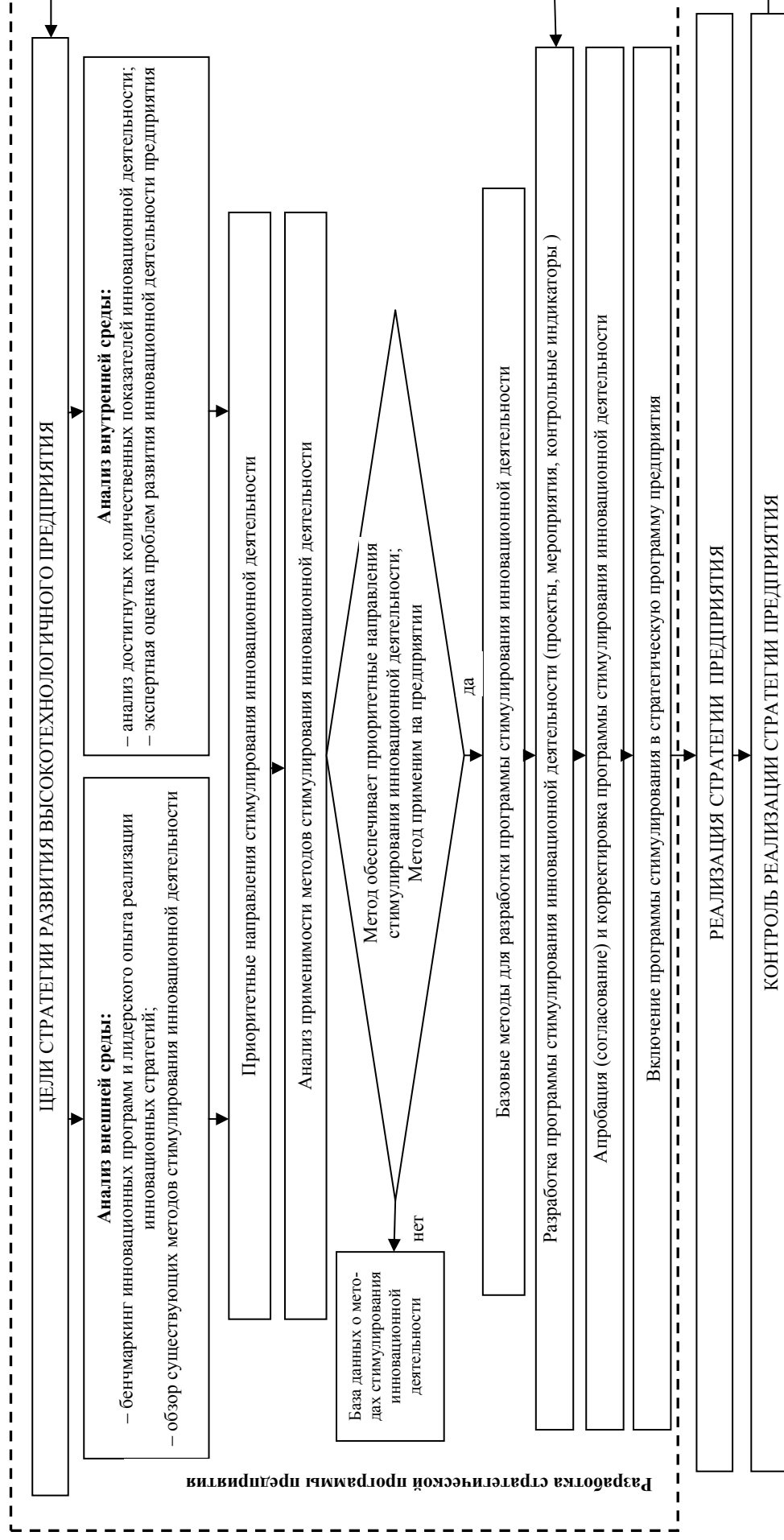
Развиваясь инновационным путем, высокотехнологичное предприятие вынуждено совершенствовать свою производственную базу, систему материально-технического обеспечения, оптимизировать структуру сбыта продукции, адаптируя их к изменениям. Одновременно с этим происходит перестройка организационных структур управления, приобретают опыт и расширяют знания работники и руководители, отлаживается система взаимодействия с экономическими партнерами, создается и укрепляется имидж предприятия. В связи с этим растет инновационный потенциал, расширяются адаптационные способности предприятия к изменениям внешней среды, что, в свою очередь, может позволить реализовать новые возможности, обеспечивая устойчивое развитие предприятия.

Этапы алгоритма стимулирования инновационной деятельности высокотехнологичного предприятия. Предложенный алгоритм стимулирования инновационной деятельности высокотехнологичного предприятия (см. рисунок) включает ряд этапов.

1. Цели стратегии инновационного развития наукоемких предприятий (количественные, качественные). Инновационная стратегия – это набор правил и норм, определяющих процедуру изменения системы отбора и реализации нововведений как в технологии, так и в управлении, технологией в соответствии с общественной ориентацией развития. Сверхзадача инновационной стратегии – максимально гармонизировать интересы участников инновационного процесса [10].

Для определения того, насколько ярко выражен инновационный характер развития предприятия, он должен отличаться целым рядом целевых параметров, среди которых целесообразно выделить следующие:

- доля инновационной продукции в объеме готовой продукции;
- доля высокотехнологичной и наукоемкой продукции в объеме экспорта предприятия;
- величина расходов на НИОКР;
- количество совместных НИОКР с вузами;
- уровень инвестирования в развитие персонала на предприятиях;
- темпы роста производительности труда.



Алгоритм стимулирования инновационной деятельности высокотехнологичного предприятия

При попытке той или иной количественной оценки сложных хозяйственных механизмов систем возникает риск не охватить в полной мере всю систему экономических показателей, отражающих законы и тенденции развития данных механизмов. Поэтому проблему выделения соответствующих критериев можно решить за счет использования показателей, отражающих инновационный характер предприятия не столько с количественной, сколько с качественной стороны. С экономической точки зрения в качестве таких критериев выступают следующие:

- восприимчивость персонала к инновациям или степень инновационной готовности;
 - время на коммерциализацию и реализацию разработок;
 - увеличение доли невещественных или неосязаемых активов в общей структуре активов предприятия.
- С экономико-социологической точки зрения:
- производятся, формируются и доступны любому сотруднику современные информационные технологии и компьютеризированные системы, обеспечивающие инновационную деятельность;
 - имеются развитые инфраструктуры, обеспечивающие создание и сохранение инновационных ресурсов;
 - развитие инновационной инфраструктуры, способной оперативно и гибко реализовать необходимые в данный момент времени инновации, основанные на высоких производственных технологиях, и развернуть инновационную деятельность;
 - четко налаженная гибкая система опережающей подготовки и переподготовки кадров-профессионалов в области инноватики и инновационной деятельности, эффективно реализующих комплексные проекты восстановления и развития отечественных производств и территорий [11].

Настоящий алгоритм определяет условия и процедуры оценки по стимулированию инновационного развития высокотехнологичных предприятий.

2. Анализ и оценка проблем и методов стимулирования инновационной деятельности предприятий. Осуществляются экспертным методом и проходят в три этапа:

- подготовительный этап – отбор предприятий для экспертизы, формирование групп экспертов, их инструктаж, подготовка предприятиями исходных информационных материалов;
- основной этап – индивидуальная работа экспертов с опросными листами и подготовка экспертных заключений;
- завершающий этап – обработка индивидуальных экспертных заключений, обсуждение полученных оценок экспертов и представителей предприятий.

Формирование групп экспертов для оценки проблем инновационной деятельности предприятий осуществляет рабочая группа, занимающаяся разработкой программы стимулирования инновационной деятельности. В состав экспертов включаются ведущие специалисты промышленности науки и техники, топ-менеджеры, специалисты отдела маркетинга и персонала, имеющие опыт работы в конкретной отрасли не менее 15 лет. Численный состав экспертов зависит от масштаба предприятия и составляет величину от 5 до 10 человек.

Опросные листы направляются экспертам, привлеченным к проведению оценки проблем активизации инновационной деятельности на наукоемких предприятиях. В данном блоке требуется определить по 5-балльной шкале уровень проблем активизации инновационной деятельности на наукоемком предприятии.

Полученная на предыдущем этапе выборка о проблемах стимулирования инновационной деятельности далее совмещается с приоритетными направлениями стимулирования инновационной деятельности. Для формализации отождествления выбранных проблем и направлений стимулирования инновационной деятельности составляется таблица (табл. 1).

Таблица 1

Взаимосвязь проблем и направлений стимулирования инновационной деятельности наукоемких предприятий [12]

Проблемы стимулирования инновационной деятельности	Приоритетные направления стимулирования инновационной деятельности
Неразвитость инновационной инфраструктуры наукоемких предприятий	Институциональное обеспечение инновационной деятельности
Дисбаланс финансирования государственного заказа инновационной продукции и инновационных разработок для бизнес-сектора	Аккумуляция финансовых ресурсов на научные исследования и инновации
Недостаточная интеграция производственной и вузовской науки Неразвитость системы поиска и отбора инновационных проектов Отсутствие возможностей коммерциализации результатов исследований и разработок	Координация инновационной деятельности
Старение персонала ключевых подразделений наукоемких предприятий Недостаточно развитая система поиска и поддержки «инновационных талантов» Ограниченность возможностей материального поощрения за инновационную деятельность Ограниченные возможности творческого развития и самореализации в коллективе, системы адаптации персонала к нововведениям	Кадровое обеспечение инновационной деятельности
Низкая обеспеченность современными научно-техническими средствами производства	Техническое обеспечение инновационной деятельности

**Направления и методы стимулирования инновационной деятельности
научеёмких предприятий [13; 14]**

Направления стимулирования ИД	Методы стимулирования ИД
Институциональное обеспечение инновационной деятельности	Создание и развитие инновационных кластеров, наукоградов, государственных научных центров, технопарков, бизнес-инкубаторов, создание инновационной инфраструктуры предприятий
Аккумуляция финансовых ресурсов на научные исследования и инновации	Займы по сниженным кредитным ставкам, прямые и бюджетные дотации, налоговые льготы, гранты, венчурное финансирование, финансовая поддержка лицензирования государственных научно-исследовательских организаций и вузов, амортизационная политика, страхование инновационных рисков
Координация инновационной деятельности	Национальные и региональные программы поддержки инноваций, система технологического аудита инновационных возможностей, поддержка инновационных и наукоёмких предприятий на внешних рынках, таможенное регулирование в отношении инновационной продукции, проведение конкурсного отбора инновационных проектов для стимулирования конкуренции, введение государственных санкций за выпуск устаревшей продукции
Кадровое обеспечение инновационной деятельности	Подготовка высококвалифицированных специалистов, отбор и поддержка «инновационных талантов» на предприятиях, привлечение внешних специалистов в инновационные проекты предприятия
Развитие информационной инфраструктуры поддержки инновации	Развитие системы научно-консультационных услуг, участие государства в системе юридического консалтинга, фондирование инновационных идей и проектов, патентная поддержка, создание правовой базы инновационных процессов, особенно системы защиты авторских прав инноваторов и охраны интеллектуальной собственности
Имиджевая поддержка инновационных проектов	Поддержка общественного статуса инновационной деятельности, формирование инновационной культуры, обеспечение социальной и экологической направленности инноваций
Техническое обеспечение инновационной деятельности	Оснащение предприятий современным оборудованием, компьютерной техникой и программным обеспечением

3. Выбор методов стимулирования инновационной деятельности (ИД).

Задача работой группы состоит в обоснованном выборе конкретных методов стимулирования ИД, которые могут быть применены на данном предприятии. На предыдущих этапах рабочая группа уже определила приоритетные направления стимулирования, далее следует провести экспертную оценку применимости существующих методов стимулирования инновационной деятельности.

В табл. 2 систематизированы существующие и применяемые сегодня в мировой и отечественной практике методы стимулирования, которые соотнесены с направлениями стимулирования.

Далее экспертам предлагается дать оценку применимости различных методов стимулирования инновационной деятельности предприятий. В каждой строке приводится метод стимулирования. Необходимо отметить только один вариант из трех – «Метод приемлем», «Метод используется, но неэффективен», «Метод не приемлем». Кроме того, эксперты должны пояснить причины недостаточной эффективности использования методов стимулирования инновационной деятельности. Ответы экспертов по этим вопросам анализируются и интегрируются.

4. Разработка программы стимулирования инновационной деятельности (проекты, мероприятия, контрольные индикаторы). Выбранные методы стимулирования используются рабочей группой для разработки программы стимулирования инновационной деятельности.

Под программой стимулирования инновационной деятельности будем понимать, комплекс мероприятий (работ) правового, организационного, экономического, социального характера, направленных на решение проблем в сфере инновационной деятельности предприятия, включающий в себя сроки выполнения, ресурсы, исполнителей [15].

Сроки реализации программы должны входить в период реализации стратегии инновационного развития. Ответственными за реализацию проектов / мероприятий могут быть назначены руководители соответствующих подразделений предприятия, участники рабочей группы разработки данной программы или представители отдела развития предприятия.

5. Включение программы стимулирования в стратегическую программу предприятия. На данном этапе осуществляется совместная работа рабочей группы программы стимулирования и рабочей группы, ответственной за разработку инновационной стратегии развития. Предложенная программа стимулирования согласовывается и включается в стратегическую программу как один из ее разделов.

6. Реализация стратегии инновационного развития высокотехнологического предприятия. Внедрение методов стимулирования.

В процессе реализации стратегии в предложенную программу стимулирования инновационной деятельности могут быть внесены корректировки за счет возникновения непредвиденных изменений во внутренней и внешней среде предприятия.

Заключение. Мировой прогресс продуктов и технологий в значительной мере обеспечивается эффективной инновационной деятельностью высокотехнологичных предприятий. Отечественными предприятиями высокотехнологичных отраслей по-прежнему создается существенная доля инноваций. На данных предприятиях накоплены уникальные традиции исследований и разработок, элитарный кадровый состав, поддерживаются научные школы. Однако стратегический инновационный рост прорывных критических технологий на предприятиях сдерживается, помимо объективных причин, связанных с реформированием и спадом в экономике, ограниченностью системообразующей инновационной деятельности.

Существующие формы и методы государственной и рыночной поддержки инноваций могут стимулировать инновационную деятельность наукоемких предприятий только при наличии особых инструментов их использования. Адаптация и использование предложенного в данном исследовании алгоритма стимулирования инновационной деятельности повысит эффективность реализации стратегической программы предприятия, обеспечит конкурентоспособное лидерство на высокотехнологичных мировых рынках.

Библиографический список

1. Официальный сайт Министерства экономического развития РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://fcpr.vpk.ru> (дата обращения: 14.05.2014).
2. Саакян А. М., Ерыгин Ю. В. Определение принципов стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК // Вестник СибГАУ. 2011. № 4 (37). С. 226–230.
3. Федеральный портал по научной и инновационной деятельности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sci-innov.ru> (дата обращения: 15.05.2014).
4. Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2020 года и дальнейшую перспективу [Электронный ресурс]. URL: http://www.st-gaterus.eu/_media/poisk_20110812_005.pdf (дата обращения: 20.05.2014).
5. Статистические сборники ВШЭ [Электронный ресурс] // Индикаторы инновационной деятельности. URL: <http://www.hse.ru/primarydata/ii2013> (дата обращения: 19.05.2014).
6. Прогноз научно-технического развития РФ на долгосрочную перспективу [Электронный ресурс]. URL: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/5053/prog.ntr.pdf> (дата обращения: 23.05.2014).
7. Управление инновационной активностью [Электронный ресурс] // Управление инновационной активностью промышленных предприятий на основе эффективных методов ее оценки и стимулирования. URL: <http://www.docme.ru> (дата обращения: 20.05.2014).
8. Инновационный менеджмент / под ред. С. Д. Ильенковой. М. : ЮНИТИ, 2007.
9. Махмудова З. А. Объективные условия и факторы инновационного развития промышленных предприятий // Проблемы теории и практики совершенствования экономических отношений хозяйствующих

субъектов : сб. науч. тр. Махачкала : Изд-во ДГТУ, 2007.

10. Тацуно Ш. Стратегия – технополисы : пер. с англ. М. : Прогресс, 1989.
11. Твисс Б. Управление научно-техническими нововведениями / сокр. пер. с англ. К. Ф. Пузыня. М. : Экономика, 2009.
12. Уайт П. Управление исследованиями и разработками / сокр. пер. с англ. под ред. Д. Н. Добрышева. М. : Экономика, 1992. 160 с.
13. Селезнев А. Интеллектуальная собственность и ее государственная защита // Экономист. 2008. № 11. С. 61–69.
14. Саманов Ю., Хоменко В. Возможности повышения эффективности производства // Экономист. 2009. № 10. С. 35–39.
15. Улицкий А. И. Технический прогресс и экономика предприятия. М. : Машиностроение, 2010. 207 с.

References

1. The official website of the Ministry of Economic Development. (In Russ.) Available at: <http://fcpr.vpk.ru>. (accessed 14.05.2014).
2. Sahakian A. M., Erygin Y. V. [Determination the principles of stimulation of innovation activity of defense enterprises]. *Vestnik SibSAU*. 2011, no. 4 (37), p. 226–230 (In Russ.).
3. *Federal'nyy portal po nauchnoy i innovatsionnoy deyatel'nosti* [Federal portal for Research and innovation activity]. Available at: <http://www.sci-innov.ru> (accessed 15.05.2014).
4. *Osnovy politiki Rossiyskoy Federatsii v oblasti razvitiya nauki i tekhnologii na period do 2020 goda i dal'neyshuyu perspektivu* [The policy framework of the Russian Federation in the field of science and technology for the period up to 2020 and beyond]. Available at: http://www.st-gaterus.eu/_media/poisk_20110812_005.pdf (accessed 20.05.2014).
5. *Statisticheskie sborniki VShE. Indikatory innovatsionnoy deyatel'nosti*. [Statistical compilations VShE. Indicators of innovative activities. Available at: <http://www.hse.ru/primarydata/ii2013>. (accessed 19.05.2014).
6. *Prognoz nauchno-tekhnicheskogo razvitiya RF na dolgosrochnuyu perspektivu*. [Forecast of Scientific and Technological Development of Russia in the long term]. Available at: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/5053/prog.ntr.pdf>. (accessed 23.05.2014).
7. *Upravlenie innovatsionnoy aktivnost'yu. Upravlenie innovatsionnoy aktivnost'yu promyshlennykh predpriyatiy na osnove effektivnykh metodov ee otsenki i stimulirovaniya*. [Management of innovative activity. Management of innovative activity of industrial enterprises on the basis of effective evaluation and stimulation methods]. Available at: <http://www.docme.ru>. (accessed 20.05.2014).
8. Ilyenkova S. D., *Innovatsionniy menedjment* [Innovation Management]. Moscow, UNITY Publ., 2007.
9. Makhmudova Z. A. [Objective conditions and factors of innovative development of industrial enterprises]. *Problems of the theory and practice of improving*

economic relations entities: collection of scientific papers; Makhachkala: GOU VPO "DGTU". 2007.

10. Tatsuno Sh. *Strategiya-tekhropolisi* [Strategy – technopolises]. Trans. from English. Moscow, Progress Publ., 1989.

11. Twiss B. *Upravlenie nauchno-tekhnicheskimi novovvedeniyami* [Management of scientific and technological innovations]. Abb. translate from English. Puzynya K. F. Moscow, Economics Publ., 2009.

12. Wight P. *Upravlenie issledovaniyami i razrabotkami* [Management Research and Development].

Abb. translate from English. Ed. Dobrysheva D. N. Moscow, Economics Publ., 1992. 160 p.

13. Seleznev A. [Intellectual property and its state protection]. *The Economist*. 2008, no. 11, p. 61–69 (In Russ.).

14. Samanov Y., Khomenko V. [Opportunities to improve production efficiency]. *The Economist*. 2009, no. 10, p. 35–39 (In Russ.).

15. Ulitsky A. I. *Tekhnicheskij progress i ekonomika predpriyatij* [Technological progress and enterprise economy]. Moscow, Engineering Publ., 2010, 207 p.

© Подвербных О. Е., Семёнкин Е. С.,
Кузнецов А. А., Самохвалова С. М., 2014

**АДАПТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ:
ОСОБЕННОСТИ, ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ**

М. А. Рагозина, В. А. Левко, В. И. Лячин

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: ragfil@mail.ru

Описываются особенности адаптивного планирования производственной программы предприятия оборонно-промышленного комплекса, при котором на центральное место в системе управления ставят планирование ассортиментной политики. Целью данного исследования является обоснование понятия «адаптивное планирование производственной программы предприятия». В результате проведения анализа родственных терминов и выявления ключевых, определена авторская позиция. Предложено определение адаптивного планирования производственной программы предприятия, учитывающее многообразие подходов к осмыслению понятия и отвечающее основным принципам планирования. В связи с неоднозначностью толкования принципов, отражающих планирование производственной программы предприятия применительно к адаптивному планированию, уточнены и дополнены принципы планирования. Содержание этих принципов определяется релевантностью, адаптивностью, динамичностью и неопределенностью факторов внутренней и внешней среды, а также необходимостью обеспечения устойчивого развития экономики предприятия. Уточненное содержание представленных принципов предполагает обязательный учет факторов неопределенности, непрерывную корректировку, исправление и уточнение планов, способность менять свою направленность в связи с возникновением непредвиденных изменений внутреннего и внешнего характера. Решена актуальная задача эффективного использования подходов, обеспечивающих разумный компромисс между затратами на осуществление процесса планирования и достигаемым при этом эффектом. Показаны направления снижения уровня неопределенности и внутрифирменного планирования и обеспечения коммерческой и финансовой стабильности: использование более сложных подходов и методов, в том числе теории принятия решений в условиях неопределенности; введение системы планирования, гибко реагирующей на изменение условий хозяйствования. При введении системы адаптивного планирования предлагается осуществлять мониторинг за структурой и объемом спроса внутри выделенного периода, что позволяет своевременно переходить на производственную программу, отвечающую изменившимся условиям. Решение этой проблемы предлагается осуществлять посредством разработки методики адаптивного планирования производственной программы предприятия.

Ключевые слова: адаптивное планирование, производственная программа предприятий (ППП), принципы планирования, подходы и методы, методика адаптивного планирования ППП.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 288–294**ADAPTIVE PLANNING OF THE PRODUCTION PROGRAM:
FEATURES, CONCEPTS AND PRINCIPLES**

M. A. Ragozina, V. A. Levko, V. I. Lyachin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: ragfil@mail.ru

This article describes the features of Adaptive planning production program of defense industry enterprises in which the central management are planning the assortment policy. The purpose of this study is to support the concept of "Adaptive planning of the production program of the enterprise". As a result of the analysis of kinship terms, identifying key, defined author's position. The definition of Adaptive planning of the production program of enterprise, taking into account the diversity of approaches to understand the concepts and basic principles of planning is proposed. Due to the ambiguity of interpretation principles reflecting enterprise production program planning for Adaptive planning, clarified and supplemented by the principles of planning. These principles are determined by relevance, adaptability, dynamic and uncertain factors of internal and external environment, as well as the need to ensure sustainable development of the enterprise. A qualified content submitted principle involves mandatory uncertainty, continuous adjustment, correction and clarification of the plans, the ability to change its focus in response to unexpected changes of internal and external nature. The pressing challenge of approaches for a reasonable compromise between the costs of the implementation of the planning process and achieved the effect is solved. The directions to reduce the level of uncertainty

and corporate planning and commercial and financial stability are shown: the use of more complex approaches and methods, including the theory of decision-making under uncertainty, proposes the introduction of a system of planning, responsive to changing economic conditions. With the introduction of Adaptive planning it is proposed to monitor the structure and volume of demand within a timeout period that allows moving the production program to meet changed conditions. The solution to this problem proposed by developing techniques for the planning of the production program of the adaptive enterprise.

Keywords: adaptive planning, the production program of enterprises (RFP), planning principles, approaches and methods, methods of adaptive planning RFP.

Введение. Достаточно высокая организационная, технологическая, сырьевая зависимость предприятий оборонно-промышленного комплекса, единство производственного цикла, согласованность объемов производства и сбыта продукции, однородность используемого сырья, усиливающаяся конкуренция на рынке ставят на центральное место в системе управления планирование ассортиментной политики, реализуемое через процесс адаптивного планирования производственной программы предприятия (ППП).

В этой связи целью данного исследования является обоснование понятия «адаптивное планирование производственной программы предприятия». Поэтому представляется необходимым проанализировать родственные термины и выявить ключевые, а также определить авторскую позицию. На наш взгляд, такими основополагающими терминами являются «планирование», «адаптация», «адаптивность плана», «производственная программа предприятия».

Адаптивное планирование производственной программы предприятия. Планирование как специфический вид управленческой деятельности направлено на выбор оптимальной альтернативы развития объекта управления, рассчитанной на определенный период времени. Его результатом является план мероприятий (заданий) – многоцелевая и сбалансированная программа развития объекта управления в целом, направленная на достижение эффективного использования всех видов ресурсов в определенный период времени [1].

Определение термина «планирование» можно найти в научной литературе (табл. 1).

Обеспечение изменения производственной программы в зависимости от влияния внутренних и внешних факторов реализуется через адаптацию, адаптивность плана. В Большом экономическом словаре содержится такое определение адаптации: это приспособление экономической системы и ее отдельных субъектов к изменяющимся условиям внешней среды, производства, труда, обмена, жизни [8].

Экономика, а также отдельные экономические объекты (предприятия) рассматриваются как адаптирующиеся, адаптивные системы. Адаптирующиеся системы подразделяются на самонастраивающиеся и самоорганизующиеся. В первом случае в соответствии с изменением внешней среды меняется способ функционирования системы (предприятие расширяет выпуск продукции вслед за увеличением спроса), во втором – меняется структура, организация системы. Р. А. Фатхутдинов под адаптацией понимает «приспособление системы или ее отдельных компонентов к изменяющимся условиям внешней среды» [9].

Адаптивность плана Л. И. Лопатников трактует как «способность плана сохранять свою значимость в изменившихся условиях» [10]. И, наконец, такая составляющая рассматриваемого определения, как производственная программа предприятия, в Большом экономическом словаре: «Производственная программа – план выпуска (изготовления) продукции (по видам и объемам) в предстоящие периоды, соответствующей ширины и глубины ассортимента» [8]. В экономической литературе даются определения производственной программы предприятия, приведенные в табл. 2.

Таблица 1

Определение термина «планирование»

Автор	Определение
Е. А. Кобец [2]	Планирование как центральное звено управления охватывает систему принципов, методов, форм и приемов регулирования рыночного механизма в области использования ограниченных ресурсов с целью повышения конкурентоспособности хозяйственного субъекта
М. Васильченко [3]	Планирование представляет собой функцию управления. Сущность этого процесса заключается в логичном определении развития предприятия, постановке целей для любого сектора деятельности и работы каждого структурного подразделения, что необходимо в современных условиях
Р. А. Фатхутдинов [4]	Планирование – это функция управления, включающая следующий комплекс работ: анализ ситуаций и факторов внешней среды; прогнозирование, оценку и оптимизацию альтернативных вариантов достижения целей, сформулированных на стадии стратегического маркетинга; разработку плана; реализацию плана
Л. П. Владимирова [5]	Планирование – это процесс экономического обоснования рационального поведения субъекта хозяйствования для достижения своих целей
Н. И. Новицкий, В. П. Пашуто [6]	Планирование – это инструмент, с помощью которого формируется система целей производственно-хозяйственной деятельности предприятия и объединяются усилия всего коллектива по ее достижению

Автор	Определение
Л. Е. Басовский [7]	Планирование представляет собой комплекс решений и действий по разработке стратегий, необходимых для достижения целей организации, предприятия. Планирование является инструментом управления, помогающим высшему управленческому персоналу предприятия принимать основополагающие решения
А. Н. Петров [1]	Планирование как специфический вид управленческой деятельности направлено на выбор оптимальной альтернативы развития объекта управления, рассчитанной на определенный период времени. Его результатом является план мероприятий (заданий) – многоцелевая и сбалансированная программа развития объекта управления в целом, направленная на достижение эффективного использования всех видов ресурсов в определенный период времени

Таблица 2

Определения производственной программы

Автор	Определение
Н. Л. Зайцев [11]	Производственная программа – это план производства и реализации продукции: по объему, ассортименту и качеству. Разрабатывается в натуральных единицах, в общепринятых стандартных единицах длины, веса и объема с учетом отраслевой принадлежности предприятия. Производственная программа разрабатывается в стоимостном измерении в показателях валовой, товарной и реализованной продукции
М. И. Бухалков [12]	Производственная программа представляет собой развернутый или комплексный план производства и продажи продукции, характеризующий годовой объем, номенклатуру, качество и сроки выпуска требуемых рынком товаров и услуг
Н. А. Сафронов [13]	Производственная программа – основной раздел перспективного и годового бизнес-плана развития предприятия, в котором определяется объем изготовления и выпуска продукции по номенклатуре, ассортименту и качеству в натуральном и стоимостном выражениях
В. Я. Горфинкель, Е. М. Купряков, В. П. Прасолова [14]	Производственная программа представляет собой определенный объем, номенклатуру и ассортимент продукции соответствующего качества – учитывает спрос на данную продукцию и реальные возможности удовлетворения этого спроса
А. И. Ильин [15]	Производственная программа определяет необходимый объем производства продукции в плановом периоде, соответствующий по номенклатуре, ассортименту и качеству требованиям плана продаж
Большой энциклопедический словарь [16]	Производственная программа – план выпуска (изготовления) продукции (по видам и объемам) в предстоящие периоды соответствующей ширины и глубины ассортимента
С. Д. Ильенкова [17]	Производственная программа отражает основные направления и задачи развития предприятия в плановом периоде, производственно-хозяйственные связи с другими предприятиями, профиль и степень специализации и комбинирования производства

Исходя из вышеизложенного, целесообразно ввести определение *адаптивного планирования производственной программы предприятия*, которое, по нашему мнению, будет учитывать все многообразие подходов к осмыслению понятия и отвечать основным принципам планирования. Адаптивное планирование производственной программы предприятия представляет собой непрерывный процесс планирования структуры и объема производства продукции, обусловленный необходимостью приспособления ППП к изменению наиболее существенных факторов внешней и внутренней среды, характеризующихся высоким уровнем неопределенности.

Принципы стратегического планирования производственной программы предприятия ОПК. Планирование производственной программы, обоснование принимаемых решений и прогноз ожидаемых результатов опираются на теоретические положения и принципы, а также практические данные и факты, используемые для объяснения наблюдаемых экономических явлений с точки зрения совокупности научных положений и требований.

Изменение внешних и внутренних условий функционирования предприятий требует не только совершенствования подходов и методов планирования, но и, в первую очередь, пересмотра и уточнения принципов планирования [18]. Анализ предложенных принципов планирования рядом авторов, таких как Р. Акофф, А. Файоль, М. М. Алексеева, М. И. Бухалков, В. В. Глухов, В. А. Горемыкин, М. В. Макаренко, О. М. Махалин, Б. А. Соловьев, Э. А. Уткин, Р. А. Фатхутдинов, В. В. Царев и др., позволил сделать вывод о неоднозначности толкования принципов, отражающих планирование производственной программы предприятия (непрерывности, гибкости, точности) применительно к адаптивному планированию производственной программы предприятия.

Вместе с тем, на наш взгляд, содержание этих принципов должно определяться релевантностью, адаптивностью, динамичностью и неопределенностью факторов внутренней и внешней среды, а также необходимостью обеспечения устойчивого развития экономики предприятия, в связи с этим возникает необходимость уточнения и дополнения принципов планирования (табл. 3).

Основные принципы планирования производственной программы предприятия

Распространенные определения	Уточненные определения
Принцип непрерывности	
Процесс планирования должен осуществляться постоянно, в рамках установленного цикла, а разработанные планы должны непрерывно приходить на смену друг другу	Заключается в необходимости непрерывного планирования (пересмотра) плановых решений (параметров плана), вызванной высоким уровнем релевантности и неопределенности внутренних и внешних факторов
Принцип точности	
Планы должны быть конкретизированы и детализованы в той степени, в какой позволяют внешние и внутренние условия деятельности фирмы	Заключается в разработке инструментов, методов и моделей, адекватно отражающих поведение и развитие планируемого объекта с учетом характера информации наиболее релевантных внутренних и внешних факторов. Реализация этого принципа достигается повышением уровня определенности исходной информации или использованием более сложных инструментов и методов принятия решений, согласующихся с характером входной информации (стохастические модели, элементы теории игр и т. д.)
Принцип гибкости	
Заключается в придании планам и процессу планирования способности менять свою направленность в связи с возникновением непредвиденных обстоятельств	Характеризуется предельными значениями изменения параметров плана, в рамках которых сохраняется его устойчивость. Степень гибкости определяется размерами страховых резервов по используемым ресурсам. Определение размера таких резервов осуществляется на основе соизмерения возможных потерь при нарушении устойчивости и затрат на создание этих ресурсов
Принцип адаптивности	
Предусматривается возможность адаптации плана к постоянно происходящим изменениям, как в самом объекте планирования, так и во внешней среде [1]	Заключается в способности плана приспосабливаться к изменениям факторов внешней и внутренней среды, характеризующихся неопределенностью
Принцип релевантности	
Информация должна быть значимой, полезной, понятной и своевременной, в целях принятия осознанных и ответственных управленческих решений	Заключается в необходимости учета наиболее значимых факторов при разработке плана. В то же время предполагает большую детализацию и поиск оптимальных решений для тех параметров плана, которые оказывают существенное значение для достижения целей и задач планирования
Принцип системности	
Предполагает необходимость обеспечения взаимосвязанности и тесной соподчиненности прогнозов развития объектов, элементов и прогнозного фона [19]	В процессе обоснования и принятия плановых решений необходимо учитывать сложный характер функционирования и развития любого элемента национальной экономики как определенной социальной эколого-экономической системы [1]
Принцип оптимальности	
Отражает необходимость выбора из множества вариантов прогноза наилучшего варианта [19]	План должен ориентироваться на обеспечение наибольшей эффективности функционирования и развития планируемого объекта [1]
Принцип непрерывности	
Обуславливает потребность корректирования прогнозов по мере поступления, накопления новых данных об объекте прогнозирования и о прогнозном фоне [19]	Процесс планирования на предприятиях должен осуществляться постоянно, обеспечивая непрерывность работы
Принцип адекватности	
Характеризует не только процесс выявления, но и оценку степени устойчивости и взаимосвязей в развитии фирмы и создание теоретического аналога реальных экономических процессов [19]	Принцип адекватности предполагает, что методы и модели разработки прогнозов рассчитаны, в первую очередь, на выявление и количественное измерение устойчивых тенденций и взаимосвязей в развитии промышленности и создание теоретического аналога реальных экономических процессов с их полной и точной имитацией
Принцип компетентности	
В процессе обоснования и принятия плановых решений должны приниматься в расчет всевозможные последствия его реализации как в объекте планирования, так и во внешней среде [1]	Ориентирует, прежде всего, на знания, умения и профессионализм и требует браться за выполнение только тех планов, для решения которых специалисты предприятия в достаточной степени владеют методами теоретической и практической работы

Распространенные определения	Уточненные определения
Принцип ограниченности ресурсных возможностей	
План должен ориентироваться на обеспечение рационального и эффективного использования всех видов ресурсов [1]	Принцип диктует необходимость рационального использования ресурсов, их экономии и заботы о восстановлении
Принцип согласованности	
Предполагает согласовывание нормативных и поисковых прогнозов различной природы и различного периода упреждения [19]	Согласовывание управления совокупности взаимодействующих систем хозяйственной деятельности предприятия и оптимальное регулирование их параметров
Принцип вариативности	
Обуславливает необходимость разработки вариантов прогноза развития объекта, явления, процесса, исходя из различных вариантов прогностического фона [19]	Предполагает возможность различных вариантов решения задач, умение осуществлять систематический отбор вариантов, сравнивать их и находить оптимальный вариант
Принцип верифицируемости	
Предполагает необходимость определения степени достоверности, точности и обоснованности получаемых прогнозов [19]	Стремление к улучшению качественных характеристик предсказания
Принцип эффективности	
Обуславливает необходимость превышения конечного экономического результата, получаемого от реализации составленного прогноза, над затратами на его разработку [19]	Предполагает, что при формировании стратегического выбора социально-экономической системы необходимо добиваться, чтобы предполагаемый набор приоритетных функций обеспечивал достижение желательного состояния планируемой системы при рациональном использовании всех видов ресурсов [1]
Принцип соответствия	
Принцип, согласно которому руководство должно делегировать индивиду достаточно полномочий, чтобы он был в состоянии выполнять те задачи, за которые несет ответственность [20]	Соответствие системы управления процессу и механизму управления, обеспечивающее своевременное принятие решений и делающее процессы управления надлежащими и оперативными

Уточненное содержание представленных принципов предполагает обязательный учет факторов неопределенности, непрерывную корректировку, исправление и уточнение планов, способность менять свою направленность в связи с возникновением непредвиденных изменений внутреннего и внешнего характера. Кроме этого, планирование должно осуществляться с использованием подходов, обеспечивающих разумный компромисс между затратами на осуществление процесса планирования и достигаемым при этом эффектом.

Одним из направлений снижения уровня неопределенности и внутрифирменного планирования и обеспечения коммерческой и финансовой стабильности является использование более сложных подходов и методов, в том числе теории принятия решений в условиях неопределенности. Другим направлением предлагается введение системы планирования, гибко реагирующей на изменение условий хозяйствования.

Первое направление усложняет процедуру принятия управленческих решений, требует привлечения высококвалифицированных специалистов и является более затратным для предприятия. Второе направление в условиях неопределенного характера информации предполагает проведение мониторинга ППП путем наблюдения за контролируемыми параметрами, предварительную разработку и использование планов, адаптированных к изменяющимся условиям рыночной среды. Данное направление, на наш взгляд, является наиболее эффективным для предприятий оборонно-промышленного комплекса в современных условиях хозяйствования.

Основная цель предприятия и его подразделений реализуется в результате выполнения производственной программы, в которой определяется перечень, количество, сроки и стоимость выпускаемых изделий. Введение системы адаптивного планирования требует определения периода планирования, характеризующегося стабильными объемами и структурой спроса. Для целей учета влияния указанных факторов предлагается осуществлять мониторинг за структурой и объемом спроса внутри выделенного периода, что позволяет своевременно переходить на производственную программу, отвечающую изменившимся условиям. Решение этой проблемы возможно посредством разработки методики адаптивного планирования ППП.

Разработка методики адаптивного планирования производственной программы предприятия требует решения следующей совокупности задач:

- провести анализ методов и критериев формирования производственной программы предприятия;
- рассмотреть теоретические и методические аспекты изучения спроса;
- разработать модель оптимизации планирования производственной программы предприятия;
- определить границы допустимых отклонений параметров задачи оптимизации, исходя из условия обеспечения устойчивости плана производства;
- решить проблему обеспечения гибкости производственной программы предприятия.

Заключение. Таким образом, в результате проведенного исследования обосновано понятие «адаптивное планирование производственной программы предприятия». Процесс адаптивного планирования ППП –

это процесс, при котором возникает необходимость анализа способов решения указанных задач, позволяющих определить основные направления совершенствования инструментов и методов планирования производственной программы предприятий оборонно-промышленного комплекса. Содержание принципов, отражающих планирование производственной программы предприятия применительно к адаптивному планированию, определяется релевантностью, адаптивностью, динамичностью и неопределенностью факторов внутренней и внешней среды, а также необходимостью обеспечения устойчивого развития экономики предприятия. При введении системы адаптивного планирования предлагается осуществлять мониторинг за структурой и объемом спроса внутри выделенного периода, что позволяет своевременно переходить на производственную программу, отвечающую изменившимся условиям. Показаны пути решения этой проблемы посредством разработки методики адаптивного планирования ППП.

Библиографические ссылки

1. Стратегическое планирование : учеб. пособие / под ред. проф. А. Н. Петрова. СПб. : Знание : ГУЭФ, 2003. 200 с.
2. Кобец Е. А. Планирование на предприятии : учеб. пособие. Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2006. 130 с.
3. Васильченко М. Планирование на предприятии. Электронная книга [Электронный ресурс]. Научная книга, 2008. 100 с. URL: http://www.fictionbook.ru/author/mariya_vasilchenko/planirovanie_na_predpriyatii/ (дата обращения: 01.11.2014).
4. Фатхутдинов Р. А. Организация производства : учебник. М. : Инфра-М. 2002. 672 с.
5. Владимирова Л. П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка : учеб. пособие. 4-е изд. перераб. и доп. М. : Дашков и К, 2005. 400 с.
6. Новицкий Н. И., Пашуто В. П. Организация, планирование и управление производством / под. ред. Н. И. Новицкого. М. : Финансы и статистика, 2007. 576 с.
7. Басовский Л. Е. Прогнозирование и планирование в условиях рынка : учеб. пособие. М. : Инфра-М, 2007. 260 с.
8. Борисов А. Б. Большой экономический словарь. М. : Книжный мир, 2003. 895 с.
9. Фатхутдинов Р. А. Производственный менеджмент : учебник для вузов. 4-е изд. СПб. : Питер, 2003. 491 с. : ил.
10. Лопатников Л. И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Дело, 2003. 520 с.
11. Зайцев Н. Л. Экономика промышленного предприятия : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Инфра-М, 1998.
12. Бухалков М. И. Внутрифирменное планирование : учебник. 2-е изд., испр. и доп. М. : Инфра-М, 2001. 400 с.
13. Экономика предприятия : учебник / под ред. проф. Н. А. Сафронова. М. : Юристъ, 1998. 584 с.

14. Экономика предприятия : учебник для вузов / В. Я. Горфинкель [и др.] ; под ред. проф. В. Я. Горфинкеля, проф. Е. М. Купрякова. М. : Банки и биржи : ЮНИТИ, 1996. 367 с.

15. Ильин А. И. Планирование на предприятии : учебник. 3-е изд., стереотип. Минск : Новое знание, 2002. 635 с. (Сер. «Экономическое образование»).

16. Большой энциклопедический словарь / под ред. А. Н. Азрилияна. 5-е изд. перераб. и доп. М. : Институт новой экономики, 2002. 1280 с.

17. Производственный менеджмент : учебник для вузов [Электронный ресурс] / под ред. проф. С. Д. Ильенковой. М. : Юнити-Дана, 2000. URL: <http://www.cfin.ru/management/manman/index.shtml> (дата обращения: 01.11.2014).

18. Колмыков В. А., Рагозина М. А., Юрковская Г. И. Инструменты стратегического планирования производственной программы предприятий оборонно-промышленного комплекса : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2013. 118 с.

19. Царев В. В. Внутрифирменное планирование. СПб. : Питер, 2002. 496 с.

20. Мескон М. Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента : пер. с англ. М. : Наука, 2004. 800 с.

References

1. *Strategicheskoe planirovanie: Uchebnoe posobie pod red. prof. A.N. Petrova* [Strategic planning. Tutorial ed. Prof. A.N. Petrova]. St. Petersburg, Znanie, GUEF Publ., 2003, 200 p.
2. Kobets E. A. *Planirovanie na predpriyatii. Uchebnoe posobie*. [Enterprise Planning. Tutorial]. Taganrog, TRTU Publ., 2006, 130 p.
3. Vasil'chenko M. *Planirovanie na predpriyatii. Elektronnaya kniga* [Planning in the enterprise. EBook]. Nauchnaya kniga Publ., 2008, 100 p. Available at: http://www.fictionbook.ru/author/mariya_vasilchenko/planirovanie_na_predpriyatii/. (accessed 01.11.2014).
4. Fatkhutdinov R. A. *Organizatsiya proizvodstva: Uchebnik* [Organization of production: tutorial]. Moscow, INFRA-M Publ., 2002, 672 p.
5. Vladimirova L. P. *Prognozirovanie i planirovanie v usloviyakh rynka. Uchebnoe posobie. 4 izd. pererab. i dop.* [Forecasting and planning in conditions of the market]. Moscow, Izdatel'sko-torgovaya kompaniya "Dashkov i K" Publ., 2005, 400 p.
6. Novitskii N. I., Pashuto V. P. *Organizatsiya, planirovanie i upravlenie proizvodstvom: ucheb.-metod. posobie pod. red. N.I. Novitskogo*. [Production planning and control: training-method. Manual under. Ed. N. I. Novitsky]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2007, 576 p.
7. Basovskii L. E. *Prognozirovanie i planirovanie v usloviyakh rynka. Ucheb. posobie*. [Forecasting and planning in market conditions. Stud. allowance]. Moscow, INFRA-M Publ., 2007, 260 p.
8. Borisov A. B. *Bol'shoi ekonomicheskii slovar'*. [Large economic dictionary]. Moscow, Knizhnyy mir Publ., 2003, 895 p.
9. Fatkhutdinov R. A. *Proizvodstvennyi menedzhment: Uchebnik dlya vuzov. 4-e izd.* [Production management: the textbook for high schools. 4-ed.]. St. Petersburg, Piter Publ., 2003, 491 p.

10. Lopatnikov L. I. *Ekonomiko-matematicheskii slovar': Slovar' sovremennoi ekonomicheskoi nauki. 5-e izd., pererab. i dop.* [Economic-mathematical dictionary: Dictionary of modern economic science. 5 ed., revised. and additional charge]. Moscow, Business Publ., 2003, 520 p.
11. Zaitsev N. L. *Ekonomika promyshlennogo predpriyatiya: Uchebnik; 2-e izd., pererab. i dop.* [Industrial enterprise Economy: tutorial; 2-nd ed., revised. and additional charge]. Moscow, INFRA-M Publ., 1998.
12. Bukhalkov M. I. *Vnutrifirmennoe planirovanie: Uchebnik. 2e izd., ispr. i dop.* [Intrafirm planning: tutorial. 2-nd ed., Corr. and additional charge]. Moscow, INFRA-M Publ., 2001, 400 p.
13. *Ekonomika predpriyatiya: Uchebnik. Pod red. prof. N. A. Safronova.* [Business Economics: tutorial/ed. Prof. N. Safronov]. Moscow, Yurist Publ., 1998, 584 p.
14. Gorfinkel' V. Ya., Kupryakov E. M., Prasolova V. P. et al. *Ekonomika predpriyatiya: Uchebnik dlya vuzov. Pod red. prof. V. Ya. Gorfinkelya, prof. E.M. Kupryakova.* [Enterprise Economics: textbook for high. Ed. Prof. Gorfinkelâ V. Ya., Prof. E. M. Kupryakova]. Moscow, Banki i birzhi, YuNITI Publ., 1996, 367 p.
15. Il'in A. I. *Planirovanie na predpriyatii: Uchebnik. 3e izd., stereotip.* [Enterprise Planning: Tutorial. 3 ed. stereotype.]. Minsk, Novoe znanie Publ., 2002, 635 p. (Ekonomicheskoe obrazovanie).
16. *Bol'shoi entsiklopedicheskii slovar'. Pod red. A.N Azriliyana. 5e izd. pererab. i dop.* [Great encyclopedic dictionary. A. N. Azriliâna. 5ed. 4th Edition. and additional charge]. Moscow, Institut novoi ekonomiki Publ., 2002, 1280 p.
17. *Proizvodstvennyi menedzhment. Uchebnik dlya vuzov. Pod red. prof. Il'enkovoi S. D.* [Production management. Textbook for high schools. Ed. Prof. Il'enkovoj C. D.]. Moscow, YuNITI-DANA Publ., 2000. Available at: <http://www.cfin.ru/management/manman/index.shtml>. (accessed 01.11.2014).
18. Kolmykov V. A., Ragozina M. A., Yurkovskaya G. I. *Instrumenty strategicheskogo planirovaniya proizvodstvennoi programmy predpriyatii oboronno-promyshlennogo kompleksa: monografiya.* [Tools for strategic planning of the production program enterprises of the military-industrial complex. Monograph.]. Krasnoyarsk, Sib. gos. aerokosmich. unstitut, 2013, 118 p.
19. Tsarev V. V. *Vnutrifirmennoe planirovanie.* [Intrafirm planning]. St. Petersburg, Piter Publ., 2002, 496 p.
20. Meskon M. Kh., Al'bert M., Khedouri F. *Osnovy menedzhmenta.* [Fundamentals of management]. Moscow, Nauka Publ., 2004, 800 p.

**ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НАУКОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Р. В. Смородинов, Н. И. Смородинова

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: smr439@yandex.ru

Развитие ракетно-космического комплекса возможно только путем осуществления инновационной деятельности. В составе комплекса сосредоточено значительное количество наукоемких производств, от их развития зависит устойчивость роста и конкурентоспособность предприятий комплекса в целом. Для создания таких условий осуществляется разработка и внедрение инновационно-инвестиционных проектов. При этом особо важными становятся задачи определения эффективности этих проектов, выделение системы показателей ее оценки.

Рассматриваются внешние и внутренние показатели оценки эффективности инновационно-инвестиционных проектов. К внешним показателям относят такие, как срок окупаемости, индекс доходности, внутренняя норма доходности, чистый дисконтированный доход (чистая текущая стоимость). Внутренние показатели оценивают параметры технологических процессов и их ресурсное обеспечение, при этом особое внимание уделяется влиянию проектов на издержки производства и результаты хозяйственной и финансовой деятельности организации. Предложены внутренние показатели оценки проектов в зависимости от стадии проекта.

На первом этапе необходимо оценить конкурентоспособность инновации. Затем следует оценить затраты на разработку и реализацию инновационно-инвестиционного проекта, снижение себестоимости выпускаемой продукции и прирост чистой прибыли, определить изменение материалоемкости, трудоемкости, фондоемкости, повышение энергоэффективности.

Далее следует проанализировать, как повлияет внедряемый инновационно-инвестиционный проект на экономические показатели деятельности предприятия в целом. Таким образом, оценку эффективности и отбор инновационно-инвестиционных проектов наукоемких производств следует осуществлять с обязательным учетом всех содержательных критериев, присущих данным проектам.

Ключевые слова: инновационно-инвестиционный проект, экономическая эффективность, критерии оценки, внешние показатели, внутренние показатели, конкурентоспособность, метод экспертных оценок.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 295–298**INDICATORS FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS
OF INNOVATION INVESTMENT PROJECTS OF HIGH-TECH INDUSTRIES**

R. V. Smorodinov, N. I. Smorodinova

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: smr439@yandex.ru

Development of rocket and space complex is only possible through innovation. The complex contains a large number of high-tech industries, influencing the growth of sustainability and enterprises' competitiveness of the complex as a whole. The development and implementation of innovative and investment projects are carried out to create these conditions. The tasks of determination of the projects efficacy, development of a characteristics system to assess it are particularly crucial.

The article considers internal and external indicators for assessing the effectiveness of innovation and investment projects. External ones include such indicators as payback period, profitability index, internal rate of return, net present value. Internal indicators estimate the parameters of technological processes and its resource support, with particular attention paid to the impact of the project on production costs and results of economic and financial activities of the organization.

Internal indicators for project evaluation, depending on the stage of the project, are proposed in the present article.

The first step is to evaluate the competitiveness of innovation. Then the cost of development and implementation of innovation and investment projects, cost saving of output and net profit growth, determined the change of materials, labor intensity, capital intensity, and energy efficiency should be evaluated.

The influence of implementing innovative and investment projects on the economic performance of the enterprise as a whole should be analyzed. Thus, the evaluation of the effectiveness and selection of innovation and investment projects of high-tech industries should be carried out with the obligatory account of all substantive criteria specific to these projects.

Keywords: innovative investment project, economic efficiency, evaluation criteria, external indicators, internal indicators, competitiveness, the method of expert evaluations.

Введение. Для радикального повышения эффективности экономики и роста жизненного уровня населения требуется смена сырьевой модели экономического развития страны на инновационную [1; 2]. Для этого необходимо радикальное обновление всего производственного аппарата, а обеспечить его можно путем внедрения различных инновационно-инвестиционных проектов, при выборе которых необходима оценка их экономической эффективности. При рассмотрении проектов используются различные показатели, с их помощью оценивается изменение их значений в процессе обновления производственной базы [3].

Дальнейшее развитие российской экономики невозможно без решения вопросов о состоянии ракетно-космического комплекса, о его возможностях осуществления инновационной деятельности [4]. В составе комплекса сосредоточено значительное количество наукоемких производств, которые определяют инновационные направления развития страны.

Инновационная деятельность обеспечит устойчивость роста и конкурентоспособность предприятий ракетно-космического комплекса [5–7]. Для создания таких условий осуществляется разработка и внедрение инновационно-инвестиционных проектов. При этом особо важными становятся задачи определения эффективности этих проектов, выделение системы показателей ее оценки [8].

Внутренние и внешние показатели оценки эффективности инновационно-инвестиционных проектов. Все показатели, которые рассчитывают и анализируют при оценке эффективности инновационно-инвестиционных проектов наукоемких производств, принято делить на внутренние и внешние [9]. К внешним относят такие, как срок окупаемости, индекс доходности, внутренняя норма доходности, чистый дисконтированный доход (чистая текущая стоимость). Эти показатели достаточно хорошо представлены в экономической литературе, но их недостаточно для того, чтобы оценить экономическую эффективность использования новых технологий в производственном процессе [10–13].

Внутренние показатели оценивают параметры технологических процессов и их ресурсное обеспечение, при этом особое внимание уделяется влиянию проектов на издержки производства и результаты хозяйственной и финансовой деятельности организации в целом. При выборе показателей оценки эффективности инновационно-инвестиционных проектов наукоемких производств необходимо учитывать их влияние на результаты, получаемые после внедрения данных проектов [14].

Внутренние показатели оценки проектов в зависимости от стадии проекта. Эта оценка должна осуществляться с помощью различных показателей в зависимости от стадии инновационно-инвестиционного проекта наукоемкого производства (см. таблицу).

Показатели оценки эффективности инновационно-инвестиционных проектов

Стадии проектирования и производства наукоемкой продукции	Показатели
Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы	Конкурентоспособность Длительность жизненного цикла Патентная чистота Наукоемкость Затраты на НИОКР
Подготовка производства	Конструкторская преемственность Стандартизация и унификация Затраты на разработку проекта Затраты на сырье и материалы Затраты на подготовку кадров
Освоение производства наукоемкой продукции, продвижение на рынок	Объемы производства Себестоимость Прибыль Материалоемкость Трудоемкость Фондоемкость Производительность труда Энергоэффективность
Эксплуатация	Долговечность Ремонтопригодность Экологичность Эксплуатационные расходы

На основе проведенного анализа нами предложено выделить следующих стадий проектирования и производства наукоемкой продукции: 1) научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы; 2) подготовка производства; 3) освоение производства наукоемкой продукции [15].

На первом этапе необходимо оценить конкурентоспособность инновации. При этом следует проанализировать такие критерии, как размеры и темпы роста инновационного рынка, длительность жизненного цикла инновации, патентную чистоту и др.

Затем следует оценить затраты на разработку и реализацию инновационно-инвестиционного проекта и сравнить с имеющимися возможностями предприятия. Для оценки эффективности инвестиционных вложений необходимо оценить снижение себестоимости выпускаемой продукции и прирост чистой прибыли, определить изменение материалоемкости, трудоемкости, фондоемкости, повышение энергоэффективности.

Далее следует проанализировать, как повлияет внедряемый инновационно-инвестиционный проект на экономические показатели деятельности предприятия в целом. Это можно выполнить путем сопоставления показателей деятельности до и после разработки и внедрения проекта.

Кроме того, оценку инновационно-инвестиционного проекта можно провести на основе временной оценки денежных потоков, возникающих у хозяйствующего субъекта в результате осуществления инноваций.

Заключение. Данные положения позволяют сделать вывод о том, что оценку эффективности и отбор инновационно-инвестиционных проектов наукоемких производств следует осуществлять с обязательным учетом всех содержательных критериев, присущих данным проектам.

Библиографические ссылки

1. Гохберг Л., Кузнецова И. Инновационные процессы: тенденции и проблемы // *Экономист*. 2002. № 2. С. 50–59.
2. Дынкина А. А., Иванова Н. И. Инновационная экономика. М. : Наука, 2004, 352 с.
3. Грузинов В. П., Грибов В. Д. Экономика предприятия. М. : Финансы и статистика, 2005. 336 с.
4. Ерыгин Ю. В., Голощапова О. С., Саакян А. М. Формы и методы стимулирования инновационной деятельности на предприятиях оборонно-промышленного комплекса : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2013, 150 с.
5. Сухарев О. С., Сухарев С. О. Инновации в экономике и промышленности : учеб. пособие. М. : Высш. шк., 2010. 317 с.
6. Управление инновационными проектами : учеб. пособие / под ред. В. Л. Попова. М. : Инфра-М, 2007. 336 с.
7. Филоsofova Т. Г., Быков В. А. Конкуренция. Инновации. Конкурентоспособность : учеб. пособие. М. : Юнити-Дана, 2008. 295 с.

8. Global R&D funding Forecast. ST AN Indicators Database [Electronic resource] / OECD. 2009. URL: <http://www.oecd.org>.

9. Трефилова А. А. Оценка эффективности инновационного развития предприятия. М. : Финансы и кредит, 2005. 304 с.

10. Сергеев Д. В. Вертикальная интеграция как фактор эффективности инноваций // *Инновации*. 2001. № 3. С. 4–8.

11. Бендиков М. А. Оценка реализуемости инновационного проекта // *Менеджмент в России и за рубежом*. 2001. № 2. С. 1–16.

12. Мединский В. Г. Инновационный менеджмент : учебник. М. : Инфра-М, 2002. 287 с.

13. Arrow K., Lind R. Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions // *Journal of Natural Resources Policy Research*. 2014. Vol. 6, iss. 1. P. 29–44.

14. Смородинов Р. В. Показатели оценки эффективности инновационно-инвестиционных проектов наукоемких производств // *Решетневские чтения : материалы XVIII Междунар. науч. конф. (11–14 нояб. 2014, г. Красноярск)*. В 3 ч. Ч. 2 / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2014. С. 409–410.

15. Смородинов Р. В., Ерыгина Л. В. Основные стадии производства наукоемкой продукции // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики : тезисы X Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи (8–12 апр. 2014, г. Красноярск)*. В 2 т. Т. 2 / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2014. С. 41–42.

References

1. Gokhberg L., Kuznetsova I. [Trends and challenges of innovation processes]. *Economist*. 2002, vol. 2, p. 50–59 (In Russ.).
2. Dynkina A. A., Ivanova N. I. *Innovatsionnaya ekonomika* [Innovative economics]. Moscow, Nauka Publ., 2004, 352 p.
3. Gruzinov V. P., Gribov V. D. *Ekonomika predpriyatiya* [Enterprise economics]. Moscow, Financy i statistika Publ., 2005, 336 p.
4. Erygin Yu. V., Goloshchapova O. S., Saakyan A. M. *Formy i metody stimulirovaniya innovatsionnoy deyatel'nosti na predpriyatiyakh oboronno-promyshlennogo kompleksa* [Forms and methods of stimulating innovative activities in enterprises of the military-industrial complex]. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2013, 150 p.
5. Sukharev O. S., Sukharev S. O. *Innovatsii v ekonomike i promyshlennosti* [Innovation in industry and economics]. Moscow, Vyssh. Shk. Publ., 2010, 317 p.
6. Popov V. L. *Upravlenie innovatsionnymi proektami* [Management of innovation projects]. Moscow, Infra-M Publ., 2007, 336 p.
7. Filosofova T. G., Bykov V. A. *Konkurentsia. Innovatsii. Konkurentosposobnost'* [Competition. Innovations. Competitiveness]. Moscow, Uniti-Dana Publ., 2008, 295 p.
8. Global R&D funding Forecast. ST AN Indicators Database [Electronic resource]. *OECD*. 2009. Available at: URL: <http://www.oecd.org>.
9. Trefilova A. A. *Otsenka effektivnosti innovatsionno razvitiya predpriyatiya* [Evaluation of innovative

development of enterprise]. Moscow, Finance and Credit Publ., 2005, 304 p.

10. Sergeev D. V. [Vertical integration as a factor in the effectiveness of innovation]. *Innovatsii*. 2001, vol. 3, p. 4–8 (In Russ.).

11. Bendikov M. A. [Assessment of the feasibility of an innovative project]. *Management in Russia and abroad*. 2001, vol. 2, p. 1–16 (In Russ.).

12. Medynskiy V. G. *Innovatsionny menedzhment* [Innovation Management]. Moscow, Infra-M Publ., 2002, 287 p.

13. Arrow K., Lind R. Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1990, vol. 6, iss. 1, p. 29–44.

14. Smorodinov R. V. [Indicators to access the effectiveness of innovation and investment projects of science-

intensive industries]. *Materialy XVIII Mezhdunar. nauch. konf. "Reshetnevskie chteniya"* [Proc. 18th Int. science conference "Reshetnev readings"]. Krasnoyarsk, SibSAU, 2014, p. 409–410 (In Russ.).

15. Smorodinov R. V. [Main stages of production of science-intensive products]. *Materialy X Vseros. nauch.-prakt. konf. tvorcheskoy molodezhi "Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики"* [10th All-Russian Scientific and Practical Conference of creative youth "Actual issues of aviation and astronautics"]. Krasnoyarsk, 2014, p. 41–42 (In Russ.).

© Смородинов Р. В., Смородинова Н. И., 2014

**О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОЭВОЛЮЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ**

Д. В. Федотов, Е. С. Семенкин

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: fedotov.dm.v@gmail.com, eugenesemenkin@yandex.ru

Прогнозирование временных рядов является сложной и интересной задачей. Экономическая ситуация в стране или отрасли зависит от многих факторов и событий, а также, в свою очередь, влияет на множество ситуаций. Инновационные проекты в области ракетно-космической техники требуют больших денежных инвестиций и временных затрат на разработку и внедрение. Для таких вложений необходима релевантная и надежная информация о возможном будущем состоянии экономики с целью минимизации рисков, а также для своевременной корректировки планов. В частности, для получения такой информации можно использовать временные ряды различных показателей экономического развития. В данной статье в качестве основной технологии прогнозирования используются нейросетевые предикторы, автоматически генерируемые генетическими алгоритмами, что позволяет повысить качество предоставляемого прогноза, а также показывается преимущество самоконфигурируемого генетического алгоритма по сравнению со стандартным при использовании в программной системе для настройки весовых коэффициентов нейронных сетей. Качество прогноза, выполняемого нейронной сетью, зависит также и от ее структуры. В работе используется алгоритм генетического программирования для формирования структуры нейронных сетей, так как он позволяет создавать гибкие и эффективные модели без участия человека-эксперта, что позволяет автоматизировать конфигурирование нейросетевых предикторов. Тестирование полученной комбинации интеллектуальных информационных технологий осуществляется на задаче прогнозирования значений финансовых временных рядов с использованием в качестве входов значений цен и объемов торгов, а также полученных на их основе технических индикаторов. Разработанная система позволяет автоматически построить нейросетевой предиктор и получить качественный прогноз изменения экономических показателей. Проведено сравнение с другими интеллектуальными информационными технологиями прогнозирования и выявлено, что разработанная система показывает в среднем более высокие результаты.

Ключевые слова: нейронные сети, эволюционные алгоритмы, самоконфигурирование, временные ряды, прогнозирование.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 299–304**ON FORECASTING ECONOMIC INDEXES
BY MEANS OF NEUROEVOLUTIONARY MODELS**

D. V. Fedotov, E. S. Semenkin

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: fedotov.dm.v@gmail.com, eugenesemenkin@yandex.ru

Time series prediction is quite complex and interesting problem. Usually a forecast is based on information from the past, i.e. on previous values of features. The economic situation in the country depends on different factors and events and influences many situations. The innovation projects in aerospace field require a large amount of investments and take a long time for development and implementation. These kinds of investments require relevant and reliable information about possible future economic situation to minimize risks and correct the plans in right time. In particular, to get such information one may use the time series of the various indexes of economic development. In this paper, the neural network predictors are used as the main technology of forecasting. They are generated automatically by means of genetic algorithms that allow increasing the quality of the prediction. Besides, the advantages of the use of self-configuring genetic algorithms in comparison with standard genetic algorithms are demonstrated when adjusting the weighting coefficients of the neural network. The quality of the solution provided by the neural network depends also on its structure. In this paper, the genetic programming is used for the neural network structure design due to its ability to provide effective and flexible models without a human expert. This allows automating the neural network based predic-

tors configuring. The combination of these intellectual information technologies is tested on the financial time series forecasting task using the values of the prices and volumes along with the technical indicators as the inputs. The developed system allows automated designing the neural network based predictors and getting a high quality forecast of economic indexes changes. The developed system shows better results in the comparison with the other forecasting technologies.

Keywords: neural network, evolutionary algorithms, self-configuring, time series, forecasting.

Введение. Современный мир характеризуется динамично развивающейся экономикой. Свое влияние на нее оказывают события в различных областях: политической, научной и др. За последние 20 лет российская экономика несколько раз была подвержена кризисам. Инновационные проекты в области ракетно-космической техники требуют привлечения больших объемов инвестиций, а также занимают длительное время на разработку и внедрение. Подобные вложения требуют осторожности и предусмотрительности, в частности, тщательного прогнозирования развития экономики и финансовой системы как страны в целом, так и ее ракетно-космической отрасли. Также необходимо эффективно и своевременно реагировать на возможные изменения показателей экономической динамики, производить коррекцию производственных планов и механизмов финансирования проектов. Для этого следует использовать интеллектуальные предикторы с возможностью их автоматического перепроектирования в оперативном (автоматизированном) режиме.

Одним из методов моделирования, позволяющих производить качественные прогнозы, является нейронная сеть [1; 2]. При построении нейросетевых моделей важно правильно выбрать архитектуру нейронной сети (типы и расположение нейронов и межнейронных связей) и настроить ее весовые коэффициенты. При выборе архитектуры нейронной сети необходимо найти «золотую середину». Недостаточная сложность ведет к большой, недопустимой ошибке, в то время как избыточная сложность ведет к восприятию шума в качестве сигнала, что лишает нейронную сеть (НС) свойства обобщения. Другим аспектом нейросетевой модели является ее обучение. Стандартные методы обучения могут не подходить для определенной архитектуры нейронной сети. Ввиду существования описанных выше проблем возникает задача создания программной системы, обеспечивающей автоматическое формирование и обучение нейронных сетей. Для этих целей могут быть использованы эволюционные алгоритмы, в частности, генетический алгоритм (ГА) и генетическое программирование (ГП) [3; 4].

Наиболее известным методом настройки весовых коэффициентов является метод обратного распространения ошибки, предложенный в 1974 году [5; 6]. Идея метода состоит в корректировке весовых коэффициентов межнейронных связей в направлении от выхода к входу. Градиент вычисляется согласно рекуррентным формулам. Важным замечанием для данного алгоритма является то, что он подходит только для полносвязных однонаправленных нейронных сетей. Для увеличения гибкости нейросетевого предиктора, а также сокращения времени обучения, необхо-

димо обеспечить возможность исключения некоторых межнейронных связей и появления связей между нейронами несоседних слоев. Для неполносвязных нейронных сетей неприменим алгоритм обратного распространения ошибки, однако для настройки нейронной сети может быть использован один из методов многомерной оптимизации, например, генетический алгоритм [3].

Самоконфигурируемый генетический алгоритм. ГА – оптимизационный метод, в основе которого лежит природная концепция эволюции, в частности, идея отбора наиболее пригодных индивидов, воспроизводства потомства и мутации. Генетические алгоритмы успешно применяются при решении задач поиска глобального оптимума, в том числе для сложных систем. Однако стандартный генетический алгоритм обладает таким недостатком, как зависимость качества решения от выбранных настроек (более ста комбинаций настроек даже для ГА, использующего только стандартные операторы) [7; 8].

Оптимальные значения параметров и настроек алгоритма изначально не известны, поэтому ставится задача отыскания набора таких параметров с целью увеличения производительности программной системы. Для решения такой задачи был предложен самоконфигурируемый генетический алгоритм SelfCGA [9], в котором применение комбинаций генетических операторов осуществляется исходя из успешности этих операторов на предыдущем поколении. Благодаря отсутствию необходимости хранить информацию о более ранних поколениях, при работе алгоритма не возникает проблемы больших затрат памяти, что было проблемой для более ранних вариантов ГА с автоматическим выбором настроек [10]. Принцип работы данного алгоритма можно представить в виде блок-схемы (рис. 1).

Вероятности применения операторов для порождения каждого следующего потомка не являются объектом эволюции и не включены в хромосому, что существенно сокращает размерность пространства оптимизации. Вычислительные ресурсы, требуемые для выполнения операторов, не увеличиваются с ростом числа поколений.

Описанный подход может быть применен для любых эволюционных алгоритмов, а также интегрирован с другими интеллектуальными информационными технологиями [11–13].

В целях проверки эффективности данного алгоритма проводилось тестирование стандартного генетического алгоритма и самоконфигурируемого генетического алгоритма SelfCGA, а также сравнение результатов. Показатели надежности (доли запусков, в которой алгоритм нашел решение с заданной точностью)

усреднялись по 20 прогонам на 12 тестовых функциях [14]. Графическое представление результатов дано на рис. 2, где сплошной линией иллюстрируется средняя надежность каждой из 120 комбинаций настроек,

пунктирная линия иллюстрирует среднюю надежность стандартного ГА (усреднение по 120 настройкам), а точечная линия иллюстрирует надежность SelfCGA.

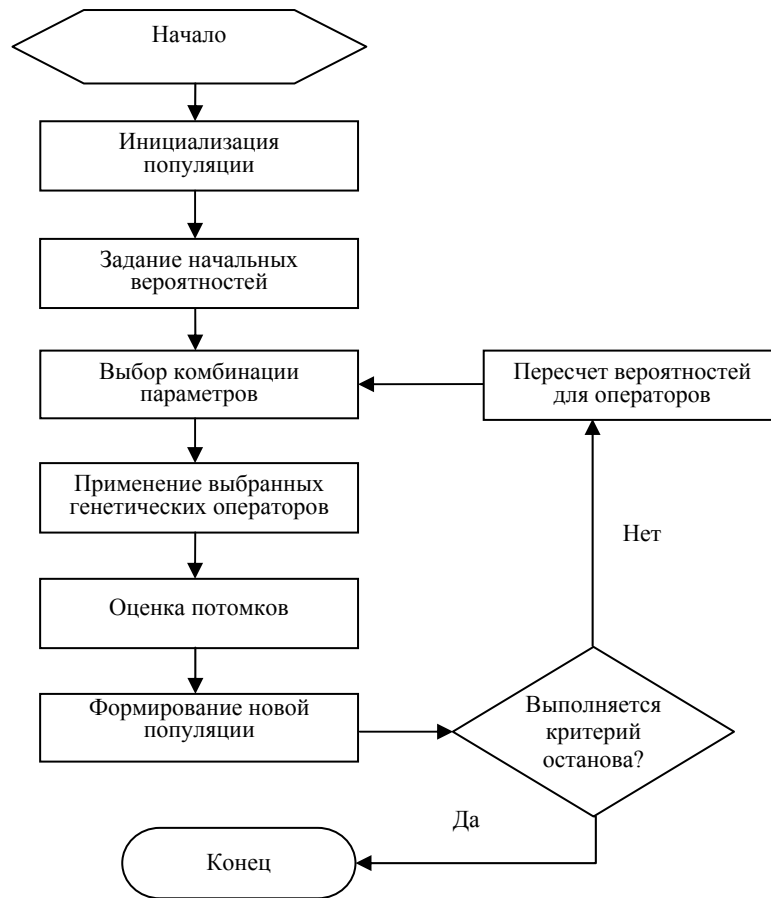


Рис. 1. Блок-схема самоконфигурируемого генетического алгоритма SelfCGA

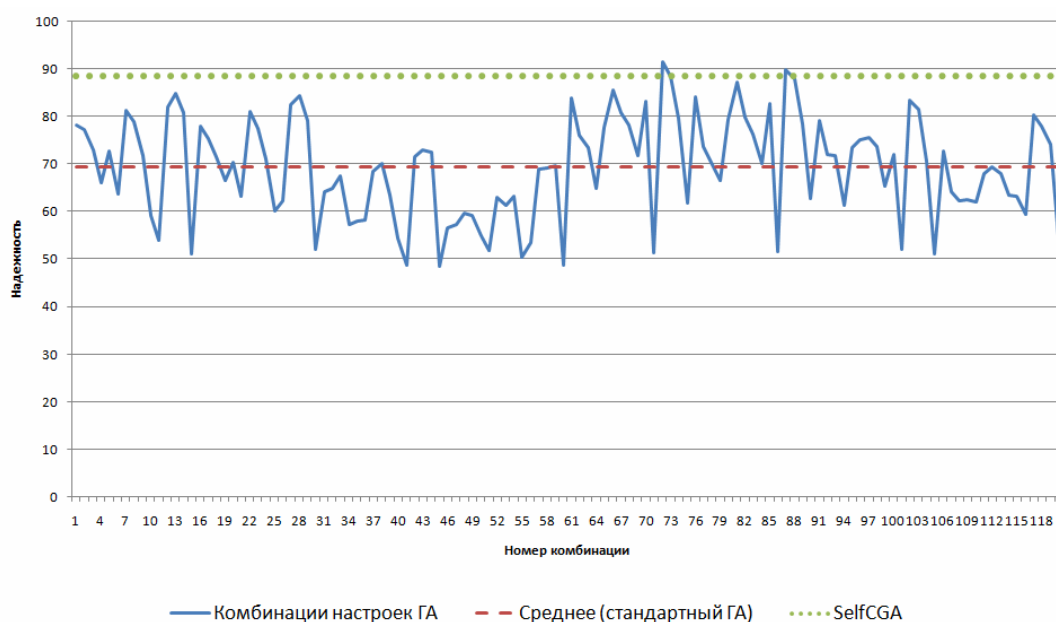


Рис. 2. Сравнение надежности генетических алгоритмов

Нетрудно видеть, что только две из ста двадцати комбинаций настроек дают надежность выше, чем у самоконфигурируемого алгоритма, причем это преимущество незначительно. Добавим, что при решении реальных задач эти наилучшие настройки заранее не известны, и пришлось бы проводить численные исследования, требующие чрезмерных затрат вычислительных ресурсов и времени. В этой связи можно утверждать, что на практике следует использовать SelfCGA в тех случаях, когда предполагается использование ГА.

Генетическое программирование. Как отмечалось ранее, качество решения задачи с помощью НС зависит от ее архитектуры. Метод проб и ошибок при выборе архитектуры НС в общем случае является неэффективным и требует не только значительных временных и вычислительных затрат, но и привлечения специалистов очень высокой квалификации. В связи с этим необходимо использовать процедуру автоматического формирования структур нейросетевых моделей. Для решения этой задачи в данной работе применяется алгоритм генетического программирования.

ГП является одним из видов эволюционных алгоритмов. ГП осуществляет поиск решений в пространстве деревьев. Основоположителем ГП считается Джон Коза, который внес значительный вклад в его развитие [4].

Для автоматического формирования нейронной сети с помощью алгоритма генетического программирования необходимо решить такие задачи, как кодирование нейронной сети в виде дерева и выбор функции пригодности для оценки решения. Для кодирования нейронной сети в виде дерева необходимо задать терминальное и функциональное множества таким образом, чтобы выполнялись условия замкнутости и достаточности.

Для создания нейронных сетей произвольной архитектуры необходимо применять способ кодирования деревьев, который позволяет создавать неполносвязные нейронные сети, сети с межслойными связями, а также нейроны с различными активационными функциями в пределах одного слоя.

Функциональное множество могут составлять две функции объединения нейронов:

1. Оператор, объединяющий ветви таким образом, что выходы нейронов левого поддерева становятся входом для нейронов правого поддерева.

2. Оператор, объединяющий нейроны левого и правого поддерева в один слой.

Терминальное множество могут составлять входы задачи (входные нейроны), а также нейроны с различными типами активационных функций (нейроны скрытых слоев).

Функция пригодности для дерева, кодирующего нейронную сеть, ставит в соответствие дереву число, обратно пропорциональное ошибке, сгенерированной по нему НС после заданного наперед количества итераций настройки весовых коэффициентов.

На рис. 3 представлена общая схема программной системы, разработанной и использованной в данной работе.

Решение задачи прогнозирования финансовых рядов. Для проверки эффективности разработанной программной системы была решена задача прогнозирования финансовых временных рядов. Следует подчеркнуть сложность такой задачи. Данные исследования основываются на техническом анализе ценовых движений, который подразумевает зависимость будущих изменений цен от прошлых. Однако существует гипотеза «случайных блужданий», предполагающая, что цены на рынке ценных бумаг меняются случайным образом и не могут быть предсказаны [15; 16].

Пусть дана информация о движении цен на акции транснациональной компании IBM за период с 2003 по 2014 гг. Данные предоставлены Yahoo Finance. Информация представлена в виде 15 переменных с временным промежутком в один торговый день (рабочие дни; время записи информации 00:00 EDT). Переменные могут быть разделены на 2 группы. Первая группа содержит фактические значения (цены открытия, закрытия, максимум, минимум, торговый оборот), вторая группа содержит значения технических индикаторов (RSI-2, EMA-7, EMA-50, EMA-200, MACD-26-12, Signal (MACD), DI+, DI-, DX, ADX), рассчитанных на основе значений первой группы.

Из общей выборки было выбрано 3 периода длиной в 7 месяцев каждый (5 для обучающей и 2 для тестовой выборки). Первый период характеризуется возрастающим движением цен на обучающей и тестовой выборках. Второй период характеризуется наличием возрастающего и убывающего движения цен на обеих выборках. Третий период характеризуется несовпадением трендов на обучающей и тестовой выборках. На данных выборках были произведены независимые запуски программной системы, которая была реализована в программе MATLAB 2013b [17].

Данная задача была также решена другими методами, такими, как многослойный персептрон (MLP), полносвязная, однонаправленная нейронная сеть, алгоритм обучения – обратное распространение ошибки), радиально-базисная нейронная сеть (RBFN) и метод опорных векторов (SVMreg), который демонстрирует неплохие результаты в задачах прогнозирования финансовых рядов [18; 19].

Для получения результатов работы данных методов была использована система RapidMiner 5.3 [20]. Реализация метода опорных векторов представлена в расширении Weka (RapidMiner Weka Extension) [21].

В таблице показаны усредненные по 20 запускам результаты работы разработанной программной системы (GP+NN+SelfCGA) в сравнении с перечисленными выше методами.

На основании данных, представленных в таблице, можно сказать, что разработанная система успешно справляется с задачей прогнозирования финансовых временных рядов, показывая, в среднем, более высокие результаты по сравнению с конкурирующими подходами, представленными на рынке программных систем интеллектуального анализа данных. В квадратных скобках приведен разброс результатов в 20 прогонах. Предложенный подход проигрывает только методу опорных векторов и только на одной задаче, причем проигрыш не выглядит существенным.

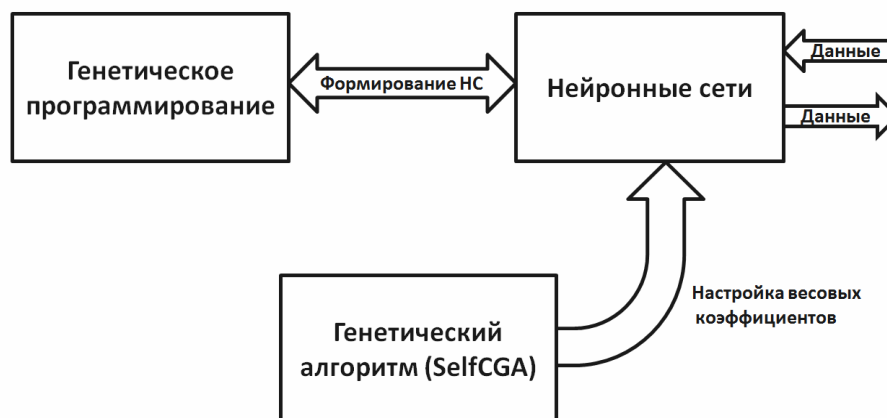


Рис. 3. Схема программной системы

Сравнение результатов

Метод	Точность прогнозирования (выборка 1), %	Точность прогнозирования (выборка 2), %	Точность прогнозирования (выборка 3), %
MLP	61,36	61,36	52,27
SVMreg	63,63	65,90	59,09
RBFN	59,09	68,18	52,27
GP+NN+SelfCGA	68,21 [66,41 % – 70,11]	70,45 [69,51 % – 72,15]	56,81 [53,65 % – 59,43]

Заключение. Таким образом, разработанную программную систему можно считать одним из инструментов прогнозирования будущего состояния экономики, что позволяет более грамотно управлять финансами и снизить вероятность потери денежных средств за время разработки и внедрения инновационных проектов в ракетно-космической отрасли. Показано также, что применение эволюционных алгоритмов (ГА и ГП) делает нейронные сети одним из наиболее эффективных методов прогнозирования, так как теперь они не требуют вмешательства человека-эксперта в процесс их формирования и обучения.

Библиографические ссылки

1. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации. М. : Финансы и статистика, 2002. 344 с.
2. Anderson D., McNeill G. Artificial neural networks technology // DACS report. 1992. 87 p.
3. Haupt R. L., Haupt S. E. Practical Genetic Algorithms. 2 ed. Wiley, 2004. P. 261.
4. Koza J. R. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. MIT Press, 1992.
5. Галушкин А. И. Синтез многослойных систем распознавания образов. М. : Энергия, 1974.
6. Werbos P. J., Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph. D. thesis. Cambridge : Harvard University, 1974.
7. Wright A. Genetic algorithms for real parameter optimization. Foundations of Genetic Algorithms. San Mateo, Morgan Kaufmann, 1991. Pp. 205–218.
8. Eiben A. E., Smith J. E., Introduction to evolutionary computing. Berlin : Springer, 2003.

9. Semenkin E., Semenkina M. Self-configuring genetic algorithm with modified uniform crossover operator // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 7331 LNCS (PART 1). 2012. Pp. 414–421.
10. Gomez J. Self Adaptation of Operator Rates Evolutionary Algorithms // Genetic and Evolutionary Computation – GECCO 2004 : Lecture Notes in Computer Science. Vol. 3102. 2004. Pp. 1162–1173.
11. Semenkina M., Semenkin E. Hybrid Self-configuring Evolutionary Algorithm for Automated Design of Fuzzy Classifier // Advances in Swarm Intelligence / Y. Tan [et al.] (Eds.). ICSI 2014. Part 1. LNCS 8794. 2014. P. 310–317.
12. Burakov S. V., Semenkin E. S. Solving variational and Cauchy problems with self-configuring genetic programming algorithms // International Journal of Innovative Computing and Applications. 2013. Vol. 5, iss. 3. P. 152–162.
13. Semenkin E., Semenkina M. Classifier Ensembles Integration with Self-Configuring Genetic Programming Algorithm // Adaptive and Natural Computing Algorithms : Lecture Notes in Computer Science. Vol. 7824. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2013. P. 60–69.
14. Molga M., Smutnicki Cz. Test functions for optimization need. 3 kwietnia. 2005.
15. Fama E. F. Random walks in stock market prices // Financial Analysts Journal. 1965. 21(5). P. 55–59.
16. Cootner P. H. The random character of stock market prices. MIT Press. 1964.
17. R2013b – Updates to the MATLAB and Simulink product families [Электронный ресурс]. URL:

http://www.mathworks.com/products/new_products/release2013b.html (дата обращения: 18.01.2015).

18. Zhang Y. Prediction of Financial Time Series with Hidden Markov Models. Simon Fraser University, 2004.

19. Fedotov D. V. On financial time series prediction using neural network models and evolutionary algorithms // Materials of the Third International Workshop on Mathematical Models and its Applications (IWMMMA-2014). 2014. P. 3.

20. Predictive Analytics, Data Mining, Self-service, Open source – RapidMiner [Электронный ресурс]. URL: <http://rapidminer.com/> (дата обращения: 20.10.2014).

21. Rapid-I Market Place Weka Extension for RapidMiner [Электронный ресурс]. URL: http://marketplace.rapid-i.com/UpdateServer/faces/product_details.xhtml?productId=rmx_weka (дата обращения: 20.10.2014).

References

1. Ossovskiy S. *Neyronnye seti dlya obrabotki informatsii* [Neural networks for information processing]. Moscow, Finansy i statistika Pulb., 2002, 344 p.

2. Anderson D., McNeill G. Artificial neural networks technology. *DACS report*. 1992, 87 p.

3. Haupt R. L., Haupt S. E. *Practical Genetic Algorithms*, 2ed., Wiley, 2004. P. 261.

4. Koza J. R. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT Press, 1992.

5. Galushkin A. I. *Sintez mnogosloynnykh sistem raspoznavaniya obrazov* [Synthesis of the multilayer pattern recognition systems]. Moscow, Energiya Pulb., 1974.

6. Werbos P. J., Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. *Ph. D. thesis*, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.

7. Wright A. Genetic algorithms for real parameter optimization. *Foundations of Genetic Algorithms*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1991, p. 205–218.

8. Eiben A. E., Smith J. E., Introduction to evolutionary computing. Springer, 2003, Berlin, Germany.

9. Semenkin E., Semenkina M. Self-configuring genetic algorithm with modified uniform crossover operator, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7331 LNCS (PART 1), 2012, p. 414–421.

10. Gomez J. Self Adaptation of Operator Rates Evolutionary Algorithms, *Genetic and Evolutionary Computation, GECCO 2004. Lecture Notes in Computer Science*. 2004, Vol. 3102, p. 1162–1173.

11. Semenkina M., Semenkin E. Hybrid Self-configuring Evolutionary Algorithm for Automated Design of Fuzzy Classifier, *Advances in Swarm Intelligence*. Y. Tan et al. (Eds.): ICSI 2014, Part 1, LNCS 8794, 2014, p. 310–317.

12. Burakov S. V., Semenkin E. S. Solving variational and Cauchy problems with self-configuring genetic programming algorithms, *International Journal of Innovative Computing and Applications*. 2013, Vol. 5, Iss. 3, p. 152–162.

13. Semenkin E., Semenkina M. Classifier Ensembles Integration with Self-Configuring Genetic Programming Algorithm, *Adaptive and Natural Computing Algorithms. Lecture Notes in Computer Science*, 2013, Vol. 7824. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 60–69.

14. Molga M., Smutnicki Cz., 2005. Test functions for optimization need. 3 kwietnia.

15. Fama E. F. Random walks in stock market prices, *Financial Analysts Journal*. 1965, no. 21(5), p. 55–59.

16. Cootner Paul H. *The random character of stock market prices*. MIT Press. 1964.

17. R2013b – Updates to the MATLAB and Simulink product families, Available at: http://www.mathworks.com/products/new_products/release2013b.html (accessed 18.01.2015).

18. Zhang Y. *Prediction of Financial Time Series with Hidden Markov Models*, Simon Fraser University, 2004.

19. Fedotov D. V. On financial time series prediction using neural network models and evolutionary algorithms // Materials of the Third International Workshop on Mathematical Models and its Applications (IWMMMA-2014), 2014, P. 3.

20. Predictive Analytics, Data Mining, Self-service, Open source – RapidMiner. Available at: <http://rapidminer.com/> (accessed 20.10.2014).

21. Rapid-I Market Place Weka Extension for RapidMiner, Available at: http://marketplace.rapid-i.com/UpdateServer/faces/product_details.xhtml?productId=rmx_weka (accessed 20.10.2014).

© Федотов Д. В., Семенкин Е. С., 2014

**МУЛЬТИАСПЕКТНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ РЫНКОВ
НА ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНА**И. В. Филимоненко¹, З. А. Васильева¹, Ю. Л. Александров¹, Ю. А. Лютых²¹Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79
E-mail: ifilimonenko@sfu-kras.ru²Красноярский государственный аграрный университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90

Особенности современного этапа развития регионов, обусловленные, с одной стороны, переходом экономики к инновационной модели и изменением внутренних бизнес-процессов, а с другой – влиянием факторов глобализации в условиях открытости национальной экономики, вызывают необходимость преобразования системы локальных рынков для обеспечения устойчивости региональной экономической системы. Ориентация региональной экономики на технологические инновации приводит к трансформации параметров спроса и предложения на рынках конечной продукции и ресурсов вследствие изменения потребностей субъектов хозяйствования. Пространственный характер размещения экономики региона, технологическая многоукладность и отраслевая неравномерность инновационного развития вызывают необходимость одновременного обеспечения процессов формирования локальных рынков инновационной продукции и устойчивого функционирования рынков традиционной продукции и ресурсов. Однако существующие подходы к исследованию локальных рынков ориентированы в основном на изолированное развитие отдельных видов рынков, без оценки их взаимосвязей и влияния на структурные преобразования экономики региона. Кроме того, в научных исследованиях локальные рынки традиционно рассматриваются как подсистемы территориальной сферы товарного обращения. Вместе с тем в условиях открытости национальной экономики локальные рынки регионов приобретают новые свойства и качества, позволяющие использовать их потенциал для обеспечения устойчивости региональной экономической системы в условиях перехода к инновационной модели развития, для сокращения разрывов в параметрах спроса и предложения, возникающих между периодами возникновения и удовлетворения инновационных потребностей. Введено уточненное понятие локального рынка как экономической категории, рассматривающей систему взаимоотношений между агентами рынков по поводу согласования и реализации экономических интересов, отличительными признаками которого являются дополнительные характеристики локальных рынков – региональная полезность и мультиаспектность влияния на инновационное развитие региона. Предложены критерии локальности и вид функции полезности. Обоснован системный характер влияния локальных рынков на сбалансированность региональной экономической системы и условия формирования инновационного потенциала региона.

Ключевые слова: локальный рынок, устойчивость региональной экономической системы, переход к инновационной модели развития, региональная полезность, уровень локальности.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 305–313**THE VARIETY OF THE LOCAL MARKETS INFLUENCE
ON THE INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE REGION**I. V. Filimonenko¹, Z. A. Vasil'eva¹, Y. L. Aleksandrov¹, Y. A. Lyutykh²¹Siberian Federal University
79, Svobodnyi Av., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
E-mail: ifilimonenko@sfu-kras.ru,²Krasnoyarsk State Agrarian University
90, Mira Av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

On the one hand, the features of the present stage of regional development caused the economic transition to the innovative model and the changes of internal business processes, on the other hand – it is because of the influence of globalization factors in the terms of the national economy sociability. These features cause the need to transform the system of local markets to ensure the sustainability of the regional economic system. The orientation of the regional economy on the technological innovation leads to the transformation of supply and demand parameters on the final

markets and resources due to the change of business entities needs. The spatial character of the regional economy distribution, technological stratification and sectorial variation of innovative development make the necessary to provide simultaneous formation of local markets of innovative products and sustainable functioning of markets of traditional products and resources. However, there are different methods of local markets research, focused, mainly, on the separate development of certain types of markets, those avoid the need to explain their relationships and influence on the structural transformation of the regional economy. In addition, local markets traditionally regarded as subsystems of the territorial sphere of commodity circulation in the context of scientific research. However, in the context of the patency of national economy the regional local markets acquire new properties and qualities; those allow to use their capacity to ensure the sustainability of the regional economic system in the transition to an innovative model of development. The narrowing of difference between supply and demand parameters, arising between the periods of occurrence and satisfaction of innovation needs becomes executable. The article reviewed the specify conception of local market, analyzing the system of relationships between market agents with respect to the harmonization and implementation of economic interests. The conception explains additional characteristics of local markets - regional utility and multi-pronged effect on the innovative development of the region. Local criteria and strategy-preserving utility function are proposed. Also, the article shows the systemic nature of influence of local markets on the regional economic system balance and the conditions of formation of innovative potential of the region.

Keywords: the local market, the regional economic system stability, the transition to an innovative model of development, the regional utility, the level of locality.

Введение. Актуальность аспектов инновационного развития, в основе которого находятся процессы модернизации и диффузии инноваций, для регионов России обусловлена, с одной стороны, современными тенденциями в развитии мирового хозяйства, предусматривающего формирование единого мирового научно-технологического пространства и закрепление специализации за отдельными странами в рамках рынка высокотехнологичной продукции [1]. Мировой экономический кризис 2009 г. обусловил новый этап в развитии внешнеэкономических отношений государств: кардинально трансформируется система глобальных экономических и финансовых связей; меняются приоритеты и направления международного сотрудничества; усиливается государственная поддержка национальной экономики в целях сохранения и усиления ее роли в системе международных экономических связей.

С другой стороны, она обусловлена особенностями и проблемами перехода экономики РФ на инновационную модель развития (усиление структурных дисбалансов в подсистемах региональной экономической системы (РЭС), невозможность преодоления сырьевой направленности).

По мнению экспертов Всемирного экономического форума, региональные экономические системы как подсистемы национальной экономики России находятся в начальной стадии накопления инновационного потенциала [2]. Исследование особенностей данного периода для РЭС позволило выявить наличие изменений в структуре внутренних потребностей сегментов региональной экономики, различных по характеру и дифференцированных по темпам развития:

- в условиях модернизации характер изменений в большей степени связан с перераспределением потребностей сегментов региональной экономики, использующих традиционные технологии, не оказывающих существенного влияния на структуру экономики регионов;

- в условиях инновационного развития характер изменений связан с переориентацией потребностей на инновационные технологии, не только изменяющие

структуры спроса и предложения, но и оказывающие существенное влияние на изменение структуры экономики регионов.

Это вызывает необходимость создания условий для устойчивого экономического роста существующих традиционных рынков одновременно с формированием потенциала инновационного развития на рынках конечной продукции и рынках ресурсов регионов.

Однако существующие методологические и концептуальные подходы к управлению локальными рынками ориентированы в основном на изолированное исследование особенностей развития отдельных видов и процессов развития (формирования, функционирования) локальных рынков, без оценки их взаимосвязей и влияния на структурные преобразования экономики региона. Сложность данной научной проблемы возрастает в условиях перехода на инновационную модель экономического развития, что приводит к обострению противоречий между существующей структурой предложения экономических ресурсов и структурой дифференцированных потребностей субъектов хозяйствования, формирующих спрос инновационных сегментов экономики.

Вместе с тем в условиях открытости национальной экономики локальные рынки регионов приобретают новые свойства и качества, оказывающие влияние на сокращение разрывов в параметрах спроса и предложения, возникающих между периодами возникновения и удовлетворения инновационных потребностей. Это, в свою очередь, вызывает необходимость переосмысления роли локальных рынков для экономики регионов при переходе к инновационной модели развития.

Традиционные подходы к исследованию локальных рынков. Исследование особенностей управления экономикой региона в условиях перехода к инновационной модели развития вызвало необходимость уточнения понятия «локальный рынок». Традиционно в экономической литературе, рассматривая локальные рынки, авторы акцентируют внимание на следующих аспектах:

– экономическая сущность локального рынка, которая определяется как совокупность отношений продавцов и покупателей конкретной продукции или продуктовой группы [3; 4];

– пространственный признак, в соответствии с которым сфера деятельности экономических агентов рынков ограничивается преимущественно одним районом или определенной частью региона, рамками одного или нескольких территориально-административных образований, частью регионального рынка [4; 5];

– производственный характер реализуемой продукции, согласно которому производство конкретного вида продукции локального рынка происходит на территории данного региона в целях максимальной приближенности производителя к потребителю [5];

– локальность рыночной конъюнктуры, которая во многом определяется особенностями спроса и предложения одного или нескольких территориально-административных образований с учетом адекватных методов регулирования конъюнктуры рынка и процессов принятия коммерческих решений [3].

Как правило, к основным характеристикам локального рынка авторы относят следующие [3; 4; 6–9]:

1) наличие совокупности экономических агентов, у которых формируются общие стратегические цели прежде всего экономической, социальной и экологической безопасности, сохранения ресурсного потенциала рыночного пространства;

2) рыночное пространство, определяемое географическими и экономическими границами, в рамках которого для экономических агентов рынка существуют одинаковые бизнес-условия, а именно:

а) виды и объемы располагаемых ресурсов: трудовые, природно-сырьевые, финансовые, инфраструктурные, формирующие потенциал локального рынка;

б) логистическая система – распределение и передвижение всех видов ресурсов, взаимосвязь различных видов экономической деятельности, задающаяся общими институциональными факторами рынка;

в) региональное информационное пространство, обеспечивающее процессы принятия управленческих решений, их открытость и прозрачность;

3) высокая зависимость рыночной конъюнктуры от особенностей спроса и предложения одного или нескольких территориально-административных образований;

4) доминирование на рынке региональных производителей, обеспечивающее производственный характер реализуемой продукции;

5) наличие подчиненности субъекту власти регионального уровня, обладающему необходимыми полномочиями для перегруппировки ресурсов и создания благоприятных бизнес-условий [7; 9].

Определения локального рынка в научных исследованиях чаще всего базируются на одной из следующих характеристик:

1. Пространственная ограниченность (С. Н. Булыга, В. З. Баликоев, Л. Я. Баранова, А. И. Левин, У. Айзард, Д. Мак-Миллан, Д. Чавис, А. Маршалл [10–13]). Позиция авторов базируется на локальности основных характеристик рынка, среди которых пространственные границы, транзакции, объемы предложения и по-

требления, количество агентов рынка и общих видов и объемов экономических ресурсов (финансы, информация, логистика). Следует отметить, что в условиях открытости национальной экономики и распространения инноваций в РЭС многие из этих характеристик утрачивают локальный характер. Например, общие виды и объемы ресурсов: трудовые ресурсы, финансы, логистическая система, информационное пространство; общие стратегические цели агентов рынка; экономические границы рынка.

2. Система социально-экономических отношений (О. И. Боткин, Л. А. Дедов, Л. И. Лопатников, Н. В. Новикова, А. К. Осипов, Б. А. Райзберг, Е. Б. Стародубцева, А. И. Татаркин, Г. С. Цветкова [9; 14–17]). В научных исследованиях по данному направлению, авторы чаще всего рассматривают локальный рынок как систему социально-экономических отношений в сфере обмена, возникающих в условиях взаимодействия различных агентов рынка. Основная роль локального рынка проявляется в качестве связующего системного уровня между государством, предприятиями, домашними хозяйствами.

3. Рыночный функционал (В. И. Беляев, В. И. Буртов, В. Г. Игнатов, Д. В. Игнатьева, Р. А. Кайтуева, Н. П. Кетова, В. С. Кривошлыков, Н. М. Сурай, В. Н. Ходыревская [18–20]). Авторы, использующие определение рынка с позиции его функциональных возможностей (планирование и прогнозирование развития РЭС, механизм упорядочения экономики), выделяют не только значимую роль в экономическом развитии РЭС в силу расширенных взаимосвязей с воспроизводственной подсистемой региона, но и отмечают усилившееся значение локальных рынков для самосохранения региональной экономической системы в условиях глобализации [18; 21].

Новые свойства и качества локальных рынков. Базируясь на существующей системе научных взглядов на роль и значимость локальных рынков в развитии регионов, считаем, что в условиях открытости национальной экономики с учетом перехода РЭС на инновационную модель развития локальные рынки приобретают новые свойства (уровень локальности, региональная полезность) и качества (определение условий устойчивости, обеспечение инновационного потенциала, влияние на эффекты регионального развития), вызывающие необходимость уточнения понятия локальных рынков.

Приобретение новых свойств локальных рынков связано со следующими особенностями их развития в условиях открытости национальной экономики. Во-первых, исследуя тенденции и закономерности развития локальных рынков, ученые, как правило, практически не затрагивают процессы трансформации пространственных уровней рынков (локальный, региональный, национальный, глобальный), определяющих возможность управления условиями развития рынков как структурных факторов регионального роста. Между тем, принимая во внимание целевые ориентиры экономического развития России до 2020 г. и вступление в ВТО, возникает настоятельная необходимость исследования ключевой особенности развития локальных рынков – трансформации пространственных

уровней, сокращающей степень взаимодействия рынков в региональной системе и снижающей степень взаимосвязи рынка как фактора с воспроизводственными процессами РЭС и эффектами регионального развития. Во-вторых, для исследования влияния локальных рынков на экономическое развитие региона за счет измерения взаимосвязи и определения степени влияния на социально-экономические эффекты регионального развития и формирование инновационного потенциала, использован дополнительный признак – региональная полезность [22; 23].

Для оценки пространственного уровня локального рынка введена интегральная характеристика «уровень локальности», отражающая степень взаимосвязи рынка как фактора с воспроизводственными процессами РЭС. Система измерения уровня локальности рынка включает вид продукции (i), пространственные и экономические (по ВЭД) границы рынка. Критерии измерения – дифференцированные уровни рыночного превосходства региональных производителей (d_i^t) с учетом степени ориентации продукции на удовлетворение внутреннего и (или) внешнего регионального спроса (p_i^t):

$$\begin{aligned} d_i^t &= Q_i^t/E_i^t; p_i^t = Q_i^t/Q_{pri}^t, \\ Q_i^t &= Q_{pri}^t - Q_{vexi}^t - Q_{exi}^t - Q_{osi}^t, \\ E_i^t &= Q_i^t + Q_{imi}^t + Q_{vimi}^t, \end{aligned} \quad (1)$$

где Q_i^t – объем внутреннего потребления отдельных видов продукции i , произведенной в РЭС в период t ; E_i^t – объем внутреннего регионального потребления продукции i как региональных производителей, так и конкурентов в период t ; Q_{pri}^t – объем выпуска продукции i в РЭС в период t ; Q_{vexi}^t – объем вывоза продукции i в период t ; Q_{exi}^t – объем экспорта продукции i в период t ; Q_{osi}^t – баланс остатков продукции i , произведенной в РЭС в период t ; Q_{imi}^t – объем импорта продукции i на территорию региона в период t ; Q_{vimi}^t – объем ввоза продукции i на территорию региона в период t .

Определим типологические уровни локальности рынка, воспользовавшись принципами группировки продукции в региональной промышленной политике (табл. 1):

1. Абсолютный уровень локальности с доминированием региональных производителей: превосходство рыночных позиций региональных производителей над другими участниками рынка – трехкратное и выше ($d_i^t \geq 75\%$); продукция региональных производителей ориентирована на удовлетворение внутреннего спроса ($p_i^t \geq 75\%$). Как правило, рынки с абсолютным уровнем локальности формируются материально-вещественными продуктами с коротким сроком службы (например, скоропортящиеся продукты питания), потребительскими услугами, ориентированными на население региона (в том числе услугами профессионального образования, здравоохранения, социального характера, жилищно-коммунальными), определенными видами экономических ресурсов (например, трудовыми ресурсами).

2. Высокий уровень локальности с лидирующими позициями региональных производителей: диапазон превосходства рыночных позиций региональных про-

изводителей над другими участниками рынка – 2–3 раза ($67\% \leq d_i^t < 75\%$); продукция региональных производителей ориентирована на удовлетворение внутреннего спроса ($p_i^t \geq 75\%$). Рынки с высоким уровнем локальности формируются потребительской продукцией повседневного спроса (например, продукты питания), продукцией и услугами, неразрывно связанными с территорией региона (недвижимость, региональные транспортные услуги, региональная логистика и пр.), видами производственно-технической продукции для специфических потребностей промышленного комплекса РЭС.

3. Неустойчивый уровень локальности соответствует рынкам, на которых позиции региональных производителей соизмеримы с позициями внешних производителей ($33\% \leq d_i^t < 67\%$) либо продукция ориентирована одновременно на удовлетворение внутреннего и внешнего спроса ($50\% \leq p_i^t < 75\%$). К рынкам с неустойчивым уровнем локальности относятся потребительские рынки (продукты питания и напитки класса «премиум», товары предварительного выбора), рынки высококвалифицированных услуг (финансовые, консалтинговые, инжиниринговые, телекоммуникационные).

4. Нулевая локальность рынка свидетельствует о полной открытости рынка, ориентированного на удовлетворение внешнего спроса региона ($p_i^t < 50\%$), позиции региональных производителей более чем вдвое уступают позициям внешних производителей ($d_i^t < 33\%$). К рынкам с нулевой локальностью относятся потребительские рынки (продукты питания и напитки класса «люкс», продукты особого спроса легкой промышленности, автомобилестроения) и производственно-технические (технологически сложное оборудование, транспортные средства, инновационные технологии).

Для измерения социально-экономических эффектов, вызываемых развитием локальных рынков, использован признак региональной полезности [22; 23]. Необходимость введения дополнительного признака, характеризующего локальные рынки, обусловлена следующими причинами. В условиях ориентации регионов на модернизацию и инновационное развитие неизбежно углубляются противоречия между долгосрочными общенациональными и региональными интересами, с одной стороны, и краткосрочными целевыми ориентирами субъектов хозяйствования, с другой стороны. Считаем возможным обеспечить интеграцию общих (региональных) и частных стратегических интересов на основе использования концепции полезности, за счет повышения уровня удовлетворения запросов всех субъектов рынка (регион, муниципальное образование, субъект хозяйствования, население) в сегментах традиционных технологий и модернизации за счет устойчивого функционирования локальных рынков традиционной продукции и ресурсов.

При определении функции полезности основных субъектов рынка (табл. 2) воспользуемся моделью [23–25], базирующейся на результативных показателях (доходы, расходы, в том числе налоговые отчисления и др.) и управляемых параметрах (уровень

ожидаемой рентабельности, стоимости совокупных ресурсов, величины расходов). Характеристикой внешней среды является максимальный уровень доходности v , сложившийся в различных секторах эко-

номики региона, соседних регионах в рамках государства и ликвидного рынка ценных бумаг. В ходе функционирования и развития локального рынка каждая целевая группа несет определенные расходы.

Таблица 1

Характеристики типологических уровней локальности рынка

Уровень локальности рынка	Доля рынка – уровень рыночного превосходства региональных производителей	Ориентация региональной продукции на удовлетворение ВС или ВнС*	Пространственный тип рынка
Абсолютный	$d_i^t \geq 75\%$ – доминирование	$p_i^t \geq 75\%$ – высокая степень ориентации на удовлетворение внутреннего спроса	Локальный (МО или группы МО)*
Высокий	$67\% \leq d_i^t < 75\%$ – лидирование		Региональный
Неустойчивый	$33\% \leq d_i^t < 67\%$ – соизмеримость с позициями внешних производителей	$50\% \leq p_i^t < 75\%$ – ориентация на одновременное удовлетворение внутреннего и внешнего спроса	Национальный или межрегиональный
Нулевой	$d_i^t < 33\%$ – слабость позиций	$p_i^t < 50\%$ – высокая степень ориентации на удовлетворение внешнего спроса региона	Глобальный

* ВС – внутренний спрос; ВнС – внешний спрос; МО – муниципальное образование.

Таблица 2

Описание характеристик и управляемых параметров для основных целевых групп локального рынка

Целевые субъекты рынка	Основные характеристики	Управляемые параметры
Субъект хозяйствования – экономический агент рынка (ЭАР)	$D(K)$ – доходы ЭАР от деятельности, осуществляемой на территории локального рынка $S(K)$ – функция совокупных отчислений (расходы на создание инфраструктуры ЭАР, новых рабочих мест, модернизацию бизнеса, внедрение природоохранных и ресурсосберегающих технологий и пр.) на развитие собственного бизнеса $Ms(K)$ – функция отчислений ЭАР на развитие рыночной инфраструктуры и среды жизнеобитания в связи с наличием общих целей $N(K)$ – величина налогов, выплачиваемая ЭАР в бюджет региона K_i^Σ – предельная (максимальная) величина ресурсов, которые i -й ЭАР считает целесообразным предоставить для развития рыночной инфраструктуры и среды жизнеобитания. Предельная величина размещаемых ресурсов характеризует предел физической или технической возможности для ЭАР, нарушение которого было бы для него невыгодным v_i – уровень рентабельности (прибыльности), получаемой i -м ЭАР при размещении капитала на финансовом рынке	K_i^Σ – величина ресурсов для развития рыночной инфраструктуры и среды жизнеобитания $S(K)$ – функция совокупных отчислений (расходов) на развитие собственного бизнеса v_i – уровень рентабельности (прибыльности), получаемой i -м ЭАР при работе на локальном рынке
Субъект власти муниципально-го образования (МО)	$D(\Sigma K)$ – функция доходов в бюджет МО, получаемых от ЭАР за ведение бизнеса на локальном рынке (в том числе налоги) $W(\Sigma K)$ – функция косвенных доходов в виде социальных и имиджевых эффектов (внешней полезности), сокращения расходов на восстановление природных ресурсов, получаемых МО от уровня развития локального рынка (зависит от величин $S(\Sigma K)$ и $M^f(\Sigma K)$) $R(\Sigma K)$ – функция расходов, связанных с предупреждением рисков (в первую очередь, с обеспечением условий для развития бизнеса, созданием инфраструктуры) ΣK – совокупные ресурсы от всех ЭАР, расположенных на данной территории, освоенные субъектами власти МО	ΣK – совокупные ресурсы, освоенные МО $R(\Sigma K)$ – совокупные отчисления (расходы) МО на предотвращение рисков для ЭАР
Субъект власти региона	$Y(\Sigma K)$ – функция прямых доходов в бюджет региона $Z(\Sigma K)$ – функция косвенных доходов в виде социальных и имиджевых эффектов (внешней полезности), повышения инвестиционной привлекательности, сокращения расходов на восстановление природных ресурсов, получаемых регионом от уровня развития локального рынка $X(\Sigma K)$ – функция расходов, связанных с обеспечением условия развития, созданием инфраструктуры, размером субсидий и дотаций, выделяемых для МО. Здесь ΣK – совокупный уровень освоенных ресурсов всеми участниками стратегии кооперации	ΣK – освоенные территориями ресурсы $S(\Sigma K)$ – функция совокупных отчислений (расходов)

Субъект хозяйствования вкладывает общий объем ресурсов (K), располагая совокупными ресурсами в размере K^Σ .

Субъект управления муниципального уровня планирует к освоению и объявляет:

- общую величину ресурсов K ($K \leq \sum K_i$), осваиваемую территорией;
- уровень совокупных отчислений (субсидий) $R(K)$.

Субъект управления регионального уровня планирует к освоению и объявляет:

- общую величину ресурсов L ($L \leq \sum K_i$), осваиваемую регионом;
- уровень совокупных отчислений (субсидий) $X(\sum K)$.

При описанных выше условиях определим функции полезности для каждой целевой группы:

- функция полезности для субъекта хозяйствования:

$$U(v, K) = D(K) - S(K) - M^f(K) - N(K) + v(K^\Sigma - K) \geq vK^\Sigma; \quad (2)$$

- функция полезности для субъекта управления муниципального уровня:

$$U_m(v, \sum K) = D(\sum K) + W(\sum K) - R(\sum K) \rightarrow \max; \quad (3)$$

- функция полезности для субъектов управления регионального уровня:

$$U_r(v, \sum K) = Y(\sum K) + Z(\sum K) - X(\sum K) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Таким образом, локальный рынок обладает региональной полезностью, если уровень совокупных отчислений муниципального образования ($R(\sum K)$) и региона ($X(\sum K)$), а также уровень инвестируемого ресурса субъекта хозяйствования (K) таковы, что:

- 1) регион и муниципальное образование максимизируют величины своих функций полезности;

- 2) значение функции полезности субъекта хозяйствования должно быть не хуже, чем при ведении финансово-хозяйственной деятельности на другом рынке или полном размещении капитала K_i^Σ на финансовом рынке.

Региональная полезность как признак локального рынка характеризует способность рынка влиять на достижение следующих эффектов регионального развития:

- текущие социально-экономические эффекты, среди которых – повышение уровня занятости населения; рост объемов регионального производства; увеличение контролируемой доли в объемах внутреннего регионального спроса; повышение уровня инвестиционной привлекательности РЭС;
- потенциальные эффекты экономического роста, достигаемые за счет функционирования традиционных рынков – потенциал увеличения внутреннего спроса за счет регионального производства; изменение структуры ВРП за счет увеличения доли продукции с высокой добавленной стоимостью; перераспределение занятости между малым, средним и крупным бизнесом; обеспечение пропорциональности параметров воспроизводственных процессов;

– потенциальные эффекты инновационного развития, достигаемые за счет формирования новых рынков – потенциал увеличения объемов внутреннего и внешнего спроса, обеспеченных инновациями; изменение структуры ВРП и регионального экспорта за счет увеличения доли инновационной продукции; рост масштабов сферы услуг; обеспечение пропорциональности параметров изменений в воспроизводственных процессах вследствие инновационного развития.

Введение дополнительных свойств и новых качеств локальных рынков позволяет рассматривать экономическую сущность локального рынка как элемента рыночной подсистемы РЭС, состоящую в удовлетворении внутренних потребностей экономических агентов рынков, дифференцированных по уровням используемых технологий. В результате, расширение совокупности экономических отношений, реализуемых при помощи локальных рынков в условиях перехода экономики региона к инновационной модели развития, позволило уточнить понятие локального рынка. В отличие от общепринятых определений в экономической науке, либо фиксирующих территориальную ограниченность в качестве доминантных признаков локальности, либо рассматривающих локальный рынок как сферу обращения, уточнение понятия производится с учетом новых свойств и качеств локальных рынков, позволяющих рассматривать внутренние потребности региональной экономики с учетом признака региональной полезности. В данном контексте локальный рынок понимается как рыночная подсистема, обладающая признаком региональной полезности, ориентированная на удовлетворение внутренних потребностей (конечная продукция, ресурсы) экономики, дифференцированных по уровням используемых технологий в соответствии с интенсивностью процессов модернизации и инновационного развития.

Влияние локальных рынков на инновационное развитие региона. В условиях открытости национальной экономики новые свойства локальных рынков формируют мультиаспектную роль в инновационном развитии регионов, в соответствии с которой локальные рынки выступают в качестве:

- территориальной организации сферы обращения, представляют систему взаимосвязей для «непрерывно происходящих распределительных процессов в экономике региона» [4]. Система взаимосвязей охватывает не только стадии каждого воспроизводственного процесса (предпроизводственная подготовка, производство, обмен, потребление), но и всю совокупность воспроизводственных процессов РЭС, поскольку продукция одного из них (например, воспроизводство профессиональных кадров) может являться ресурсом для непрерывного и эффективного протекания другого воспроизводственного процесса (производство продукции);

- элементов рыночной системы региона, определяют условия устойчивого развития РЭС на основе соответствия инновационного потенциала региона требованиям развития рынков с учетом взаимосвязи изменений спроса и предложения. В условиях смены

типа экономического роста (устойчивый экономический, инновационный) структурные сдвиги локальных рынков в связи с технологической модернизацией экономики и распространением инноваций дают основания для применения корректирующих воздействий на воспроизводственные процессы региональной системы в целях обеспечения их взаимосвязи и соответствия рыночным требованиям;

– структурных факторов экономического роста региональной системы, обеспечивающих устойчивость экономического роста на основе управления причинно-следственными взаимосвязями между региональными воспроизводственными пропорциями и структурными изменениями локальных рынков ресурсов и продукции;

– индикаторов экономического развития, диагностирующих изменения инновационных потребностей в сегментах экономики и позволяющих обеспечивать сбалансированность структурных сдвигов локальных рынков.

Исследование влияния локальных рынков на развитие РЭС позволило сформулировать выводы о том, что большинство отечественных ученых раскрывают условия, этапы и закономерности обособленного развития отдельных видов рынков, не рассматривая при этом вопросы взаимосвязанного развития, сбалансированного изменения параметров спроса и предложения в системе локальных рынков. Однако экономическая сущность локального рынка инновационного развития экономики региона обусловлена системным характером взаимодействия экономических агентов рынков конечной продукции (товары, услуги) и рынков ресурсов (профессиональные кадры, образование, финансы, информация и пр.) при изменении внутренних потребностей и формировании параметров спроса.

Это вызывает необходимость исследования локальных рынков как элементов рыночной подсистемы региона, сбалансированность структурных сдвигов которых определяет условия устойчивого перехода экономики региона к инновационной модели развития.

В условиях экономического развития источником системного характера взаимодействия экономических агентов локальных рынков выступают инвестиционные проекты, реализуемые на территории региона, имеющие национальное, региональное и муниципальное значение.

Системный характер взаимодействия экономических агентов обусловлен необходимостью согласования потребностей инвестиционных проектов в ресурсах развития (профессиональные кадры, образование) в соответствии с уровнем технологической новизны (проект модернизации, проект инновационного развития) и масштабом проекта (значимый для субъектов хозяйствования, крупномасштабный проект):

1) для проектов модернизации взаимодействие базируется на согласовании требований к количеству и срокам формирования ресурсов, традиционных для экономики региона;

2) для проектов инновационного развития – на прогнозировании количества и качества новых ресурсов и согласовании периодов их формирования в эко-

номике региона с учетом особенностей циклов технологической подготовки.

В результате взаимодействия экономических агентов рынка формируются взаимосвязанные изменения в параметрах спроса между локальными рынками (инвестиционной продукции и экономических ресурсов; локальными рынками разных видов ресурсов), в основе которых находится циклический характер взаимодействия экономических агентов рынков при согласовании потребностей инвестиционного развития [26].

Заключение. Таким образом, с одной стороны, потенциал локальных рынков позволяет управлять диспропорциями развития, что особенно актуально для регионов России, отличающихся значительными территориальными масштабами, структурным составом территориально-административных образований и разными периодами перехода экономики к инновационному развитию.

С другой стороны, системный характер влияния локальных рынков на устойчивость экономики региона позволяет своевременно диагностировать возникновение изменений в параметрах инвестиционного спроса в сегментах экономики и обеспечить соответствующие структурные пропорции в рыночной и воспроизводственной подсистемах за счет управления взаимосвязанными изменениями параметров спроса между локальными рынками продукции и экономических ресурсов; локальными рынками разных видов ресурсов с учетом перераспределения ресурсов между сегментами экономики и изменения их качества. Это позволяет обеспечить сбалансированность региональной экономической системы независимо от развития отдельных субъектов хозяйствования и определить условия для развития ресурсной базы, формирующей инновационный потенциал региона.

Библиографические ссылки

1. Екимова К. В., Буракова С. В., Савельева И. П. Локальные рынки в структуре региональной экономики // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер. «Экономика и менеджмент». 2011. № 41 (258). С. 14–18.
2. McMillan D., Chavis D. Sense of Community: A Definition and Theory // Journal of Community Psychology. 1986. № 1. P. 6–23.
3. Бутов В. И., Игнатов В. Г., Кетова Н. П. Основы региональной экономики : учеб. пособие. М., 2000.
4. Райзберг Б. А., Стародубцева Е. Б. Курс экономики : учебник. М., 2008.
5. Слатвицкая И. И., Цапенко И. В. Институциональный подход к региональному воспроизводству [Электронный ресурс] // Современные проблемы экономики и управления. 2013. № 1 (03). С. 1–21. URL: [http://economy-and-management.org/Files/1\(03\)2013/Rus/Slatvitskaya.pdf](http://economy-and-management.org/Files/1(03)2013/Rus/Slatvitskaya.pdf).
6. Алехин Э. В. Региональная экономика и управление : учеб. пособие. Пенза : Пенз. гос. ун-т, 2007. 97 с.
7. Саталкина Е. В. Локальные рынки продовольственных товаров: инфраструктура и классификация // Налоги. Инвестиции. Капитал. 2007. № 5–6. С. 49–55.

8. Филимоненко И. В. Формирование цикла взаимодействия локальных рынков как механизма устойчивости экономического развития региона // Научное обозрение. Серия 1. Экономика и право. 2013. № 6. С. 162–167.
9. Шнипер Р. И., Новоселов А. С. Региональные проблемы рынковедения: экономический аспект. Новосибирск : Наука, 1993. 70 с.
10. Баликоев В. З. Общая экономическая теория : учебник. Новосибирск : Сиб. соглашение, 2005. С. 731.
11. Баранова Л. Я., Левин А. И. Потребности, доходы, потребление : экон. словарь-справочник. М. : Экономика, 1988. С. 352.
12. Булыга С. Н. Концептуальный анализ локального рыночного пространства [Электронный ресурс] // Коммунальное хозяйство городов : науч.-технич. сб. Вып. 77. Сер. «Экономические науки». С. 425–431. URL: http://eprints.kname.edu.ua/421/1/425-431_Булыга.pdf.
13. Новикова Н. В. Понятийно-терминологический аппарат исследования локального потребительского рынка [Электронный ресурс] // Муниципальная экономика и управление : электрон. версия науч.-информ. журн. 2012. № 1(2). URL: <http://municipal.uara.ru/ru-ru/issue/2012/01/04/>.
14. Лопатников Л. И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. М. : АБФ, 1996. 704 с.
15. Новоселов А. С. Региональный потребительский рынок. Проблемы теории и практики. Новосибирск : Сиб. соглашение, 2002. 364 с.
16. Коваленко Е. Региональная экономика и управление : учеб. пособие. СПб. : Питер, 2008. 288 с.
17. The Global Competitiveness Report 2011–2012 [Электронный ресурс] // World Economic Forum. Geneva, 2012. 381 p. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GenderGap_Report_2012.pdf.
18. Локальные рынки в глобальной экономике: диалектика глобального и локального в региональном воспроизводстве. Воспроизводство в глобальной экономике / В. И. Беляев [и др.] // Вест. Алтай. гос. аграр. ун-та. 2013. № 8. С. 107–114.
19. Кайтуева Р. А. Особенности и принципы регулирования процесса развития локального регионального рынка // Проблемы современной экономики. 2012. № 2(42).
20. Цветкова Г. С. К вопросу о позиционировании локального рынка // Вестн. ОГУ. Экономика и управление. 2010. № 8 (114). С. 148–143.
21. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования [Электронный ресурс] : пер. с англ. М. : Академия, 2001. 578 с. URL: http://portal.fu.ru/Www/Kbhiab/data/store/ebe83253-9644-4f76-821c-1125273ba0ca/Bell_D._Gryadushee_postindustrialnoe_obschestvo.pdf.
22. Васильева З. А. Формирование факторов экономического роста хозяйственных систем на основе механизмов конкуренции и сотрудничества : автореф. дис. ... д-ра экон. наук. СПб., 2006.
23. Васильева З. А. Формирование механизмов экономического роста на основе концепции полезности. Красноярск, 2005. 250 с.
24. Бекларян Л. А. Оценка инвестиционной привлекательности отрасли [Электронный ресурс] // Бухгалтерский учет в торговле. 1998. № 4. С. 72–106. URL: <http://www.k-press.ru/trade/1998/4/ocenka/ocenka.pdf>.
25. Васильева З. А. Экономический рост хозяйственных систем на основе инновационной конкурентоспособности в условиях глобализации. Красноярск, 2006. 250 с.
26. Ходыревская В. Н., Кривошлыков В. С. О роли и месте локальных рынков в экономике региона // Вест. Курской гос. сельскохозяй. акад. 2009. № 5. С. 29–33.

References

1. Yekimova K. V., Buravova S. V., Savell'yeva I. P. [Local markets in the structure of the regional economy]. *Vestn. Yuzh.-Ural. gos. un-ta. Ser. Ekonomika i mezhdzhment*. 2011, no. 41 (258), p. 14–18 (In Russ.).
2. McMillan D., Chavis D. [Sense of Community: A Definition and Theory]. *Journal of Community Psychology*. 1986, no. 1, p. 6–23.
3. Butov V. I., Ignatov V. G., Ketova N. P. *Osnovy regional'noy ekonomiki: uchebnoye posobiye*. [Fundamentals of the regional economy: a tutorial]. Moscow, 2000.
4. Rayzberg B. A., Starodubtseva Ye. B. *Kurs ekonomiki: uchebnik* [Economics course: textbook]. Moscow, 2008.
5. Slatvitskaya I. I., Tsapenko I. V. [Institutional approach to regional reproduction]. *Sovremennyye problemy ekonomiki i upravleniya*. 2013, no 1 (03) (In Russ.). Available at: [http://economy-and-management.org/Files/1\(03\)2013/Rus/Slatvitskaya.pdf](http://economy-and-management.org/Files/1(03)2013/Rus/Slatvitskaya.pdf).
6. Alekhin E. V. *Regional'naya ekonomika i upravleniye: ucheb. posobiye*. [Regional economy and management: Proc. allowance]. Penza, Penz. gos. un-t Publ., 2007. 97 p.
7. Satalkina Ye. V. [Local food markets: infrastructure and classification]. *Nalogi. Investitsii. Kapital*. 2007, no 5–6, p. 49–55 (In Russ.).
8. Filimonenko I. V. [Formation cycle interaction of local markets as a mechanism for sustainable economic development in the region]. *Nauchnoye obozreniye. Seriya 1. Ekonomika i pravo*. 2013, no. 6, p. 162–167 (In Russ.).
9. Shniper R. I., Novoselov A. S. *Regional'nyye problemy rynkovedeniya: ekonomicheskiy aspekt* [Regional problems rynkovedeniya: the economic aspect]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1993, 70 p.
10. Balikoyev V. Z. *Obshchaya ekonomicheskaya teoriya: uchebnik*. [General economic theory: a tutorial]. Novosibirsk, Sib. Soglasheniye Publ., 2005, 731 p.
11. Baranova L. Ya., Levin A. I. *Potrebnosti, dokhody, potrebleniye: Ekon. slovar'-spravochnik*. [Needs, income, consumption: Econ. Dictionary Directory]. Moscow, Ekonomika Publ., 1988, 352 p.
12. Bulyga S. N. [Conceptual analysis of the local market space]. *Kommunal'noye khozyaystvo gorodov. Nauch.-tekhnich. sb., seriya: Ekonomicheskiye nauki*, no. 77, p. 425–431 (In Russ.). Available at: http://eprints.kname.edu.ua/421/1/425-431_Bulyga.pdf.

13. Novikova N. V. [Conceptual and terminological apparatus of the local consumer market research]. *Munitsipal'naya ekonomika i upravleniye. Elektronnyaya versiya nauchno-informatsionnogo zhurnala*. 2012, no. 1(2) (In Russ.). Available at: <http://municipal.uapa.ru/ru-ru/issue/2012/01/04/>.
14. Lopatnikov L. I. *Ekonomiko-matematicheskii slovar': Slovar' sovremennoy ekonomicheskoy nauki*. [Economics and Mathematics Dictionary: Dictionary of modern economics]. Moscow, ABF Publ., 1996, 704 p.
15. Novoselov A. S. *Regional'ny potrebitel'skiy rynek. Problemy teorii i praktiki*. [Regional consumer market. Theoretical and Practical Issues]. Novosibirsk, Sib. soglasheniye Publ., 2002, 364 p.
16. Kovalenko Ye. *Regional'naya ekonomika i upravleniye: ucheb. posobiye*. [Regional economy and management: Proc. allowance]. St. Petersburg, Piter Publ., 2008, 288 p.
17. *The Global Competitiveness Report 2011–2012* [World Economic Forum. Geneva]. 2012, 381 p. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Gender-Gap_Report_2012.pdf.
18. Belyayev V. I., Belyayev V. V., Ignat'yeva D. V., Suray N. M., Chernysheva Ye. V. [Local markets in the global economy: the dialectic of the global and local regional reproduction. Reproduction in the global economy]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013, no. 8, p. 107–114 (In Russ.).
19. Kaytuyeva R. A. [Features and principles of regulation of development of the local regional market]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*. 2012, no. 2(42) (In Russ.).
20. Tsvetkova G. S. [To a question about the positioning of the local market]. *Vestn. OGU. Ekonomika i upravleniye*. 2010, no. 8 (114), p. 148–143 (In Russ.).
21. Bell D. *Gryadushcheye postindustrial'noye obshchestvo. Opyt sotsial'nogo prognozirovaniya* [The coming post-industrial society. Experience in social forecasting] (In Russ.). Available at: http://portal.fa.ru/Www/Kbhiab/data/store/ebe83253-9644-4f76-821c-1125273ba0ca/Bell_D._Gryaduschee_postindustrialjnoe_obschestvo.pdf.
22. Vasil'yeva Z. A. *Formirovaniye faktorov ekonomicheskogo rosta khozyaystvennykh sistem na osnove mekhanizmov konkurentsii i sotrudnichestva: avtoref. diss.d-ra ekon. nauk*. [Formation of factors of economic growth and economic systems based on the mechanisms of competition and cooperation: Author. dis. Dr. ehkon. Sciences]. St. Petersburg, 2006.
23. Vasil'yeva Z. A. *Formirovaniye mekhanizmov ekonomicheskogo rosta na osnove kontseptsii poleznosti*. [Formation mechanisms of economic growth based on the concept of utility]. Krasnoyarsk, 2005, 250 p.
24. Beklaryan L. A. [Evaluation of investment attractiveness of the industry]. *Bukhgalterskiy uchet v torgovle*. 1998, no. 4, p. 72–106 (In Russ.). Available at: <http://www.k-press.ru/trade/1998/4/ocenka/ocenka.pdf>.
25. Vasil'yeva Z. A. *Ekonomicheskii rost khozyaystvennykh sistem na osnove innovatsionnoy konkurentosposobnosti v usloviyakh globalizatsii*. [Economic growth and economic systems based on innovative competitiveness in a globalized]. Krasnoyarsk, 2006, 250 p.
26. Khodyrevskaya V. N., Krivoshlykov V. S. [On the role and place of local markets in the region's economy]. *Vestnik kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2009, no. 5, p. 29–33 (In Russ.).

© Филимонов И. В., Васильева З. А.,
Александров Ю. Л., Лютых Ю. А., 2014

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ
НА КАЧЕСТВО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА
РЕСУРСНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ РЕГИОНОВ**

М. Н. Чувашова

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: chuvashova@sibsau.ru

В условиях глобализации значительному числу российских регионов для интеграции в мировой инновационный процесс необходимо решить проблему устранения преобладания в отраслевой структуре экономики низкоукладности, ресурсной ориентированности и на основе инновационного развития экономики обеспечить повышение конкурентоспособности. Описываются типы пространственных структур и специфика ресурсно-ориентированных регионов России. Выявлены и систематизированы факторы, влияющие на качество экономического пространства ресурсно-ориентированного региона, и выделены наиболее значимые проблемы, препятствующие повышению его качества в условиях глобализации экономических процессов. Осуществлена систематизация факторов, влияющих на экономическое пространство, по признаку типа экономического роста. Выявлена роль и значимость интенсивного фактора экономического роста – увеличение объёмов производства в результате совершенствования техники и технологии. В ходе исследования автором из состава экстенсивных и интенсивных факторов выделены также негативные и позитивные факторы. Выделенные факторы, влияющие на качество экономического пространства ресурсно-ориентированного региона, позволяют анализировать проблемы его развития и осуществить меры по улучшению качественных характеристик экономического пространства в целях повышения конкурентоспособности с учетом технологического состояния отраслей экономики.

Рассмотрено состояние основных макроэкономических показателей Красноярского края как ресурсно-ориентированного региона на душу населения в 2012 году по сравнению с аналогичными данными по СФО и России в целом. Выделены основные, по мнению автора, критерии оценки качества экономического пространства. Определены новые требования к организации и качеству пространственного развития ресурсно-ориентированного региона в сфере экономики. Автор считает, чтобы учесть возможные риски, необходимо проводить качественный анализ состояния отраслей экономики региона, что обосновывает необходимость проведения оценки технологического состояния отраслей экономики на региональном уровне.

Ключевые слова: ресурсно-ориентированный регион, экономическое пространство, экономический рост, экстенсивный фактор, интенсивный фактор.

Vestnik SibGAU
2014, No. 5(57), P. 314–319

**SYSTEMATIZATION OF FACTORS AFFECTING THE QUALITY
OF ECONOMIC SPACE OF THE REGIONS
WITH RESOURCE BASED ECONOMY**

M. N. Chuvashova

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: chuvashova@sibsau.ru

The majority of Russian regions has to decide the problems of decreasing the dominance in branch economic structure of the low technological development level in economic process of globalization, resource with based economy and to improve the regions competitiveness based on the innovation economic development. The article deals with systematization factors which have an influence on the economic space quality of the regions with resource based economy and also defines the most significant problems, which prevent from increasing the economic quality in globalization. Also the article describes the types of spatial structures and specifics some regions with resource based economy in Russia. It is shown that the systematization factors have an influence on the economic space on the basis of the features of economic growth. It is reported that defines the role and importance of the intensive factor of economic growth to increasing the production volume from improvement technologies. Moreover, the negative and positive factors are allocated

from structure the extensive and intensive factors by author. These factors let to reveal the quality development problems and realize some arrangements for improving the quality economic space on the purpose increasing the competitiveness of technological branch. The paper looks at recent research dealing with macroeconomic indicators per head in 2012 in Krasnoyarsk region in comparison with similar data on Federal Siberian District and Russia at all. According to the author, the criteria of the assessment of economic space quality are selected. It should be noted about new requirements to organization and the quality spatial development of region with resource based economy. The author concentrates on a wide range of things which raise special problems of the analysis risks of regional economic branch; it is necessary to realize the assessment of a technological branch at the regional economic level.

Keywords: the region with resource based economy, economic space, economic growth, extensive factor, intensive factor.

Введение. Специфика экономики ресурсно-ориентированных регионов России основывается на очаговом типе развития промышленного комплекса, специализации хозяйств по принципу добычи и переработки природных ресурсов [1]. Количество базовых топливно-энергетических комплексов в ресурсно-ориентированных регионах значительно выше, чем в других регионах страны, что определяет характер развития и проблемы регионов данного типа. Экономический рост обусловлен развитием преимущественно сырьевых отраслей.

Задачи повышения качества экономического пространства непосредственно связаны с преодолением автаркических тенденций, развитием межрегиональных связей для рационального использования конкурентных преимуществ территорий в интересах как региональных сообществ, так и государства в целом [2].

Российский ученый А. Г. Гранберг разделял регион на две составные части: ядро и периферия. Ядро – часть региона, в которой в наибольшей степени (с наибольшей плотностью, интенсивностью) выражены его существенные признаки. Например, в регионе ресурсного типа в ядре концентрируется основная часть добычи сырья. Периферия – остальная часть пространства, дополняющая центры, ядро. Кроме того, в анализе пространства региона выделяются и другие элементы: очаг, фокус, полюс и т. д. Различные части таких стран (крупные регионы) могут относиться

к разным типам пространственной структуры. Для России характерны следующие типы пространственной структуры:

- очаговая и рассеянная (значительная часть европейского и азиатского Севера, а также южные регионы Сибири и Дальнего Востока, удаленные от железных дорог);

- равномерно-узловая (Центрально-Черноземный район, значительные территории других экономических районов в европейской части);

- агломерационно-узловая (наиболее промышленно развитые части Северо-Запада, Центра, Поволжья, Урала, юга Сибири) [3].

В экономике регионов Сибирского федерального округа ведущую роль играет топливная промышленность, что связано со значительным объемом залегающих полезных ископаемых, являющихся источниками энергоносителей: угля (80 % российских запасов), нефти (77 %) и природного газа (85 %) [4]. Вместе с электроэнергетикой топливная промышленность производит 27 % всего объема промышленной продукции в Сибирском федеральном округе [5].

Рассмотрены и проанализированы основные макроэкономические показатели, в том числе на душу населения на 2014 году в Красноярском крае как в ресурсно-ориентированном регионе по сравнению с аналогичными данными по СФО и России в целом. Данные исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные показатели развития Красноярского края по сравнению с СФО и средними показателями по стране в 2012 г. в текущих ценах

№ п/п	Объект исследования и показатель	Валовой региональный продукт	Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг, добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства	Оборот розничной торговли
1	Российская Федерация, ВВП, всего, млрд руб. В том числе на душу населения, тыс. руб.	49 919, 9 348,5	29769,0 2080,9	19082,6 133,5
2	Сибирский федеральный округ, всего, млрд руб. В том числе на душу населения, тыс. руб.	5 147,4 267,1	1 866,1 161,8	2064,1 107,2
3	Красноярский край, всего, млрд руб. В том числе на душу населения, тыс. руб.	1 192,6 419,5	990,2 353,6	361,6 127,6

По результатам анализа можно сделать вывод, что Красноярский край имеет показатели на душу населения выше, чем в среднем по России: по ВРП (ВВП) в 1,1 раза, объему отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг выше добычи полезных ископаемых и обрабатывающих производств в 1,4 раза. По сравнению с аналогичными показателями в СФО, превышение составляет в 1,7 и 2,2 раза соответственно, что свидетельствует о наличии в данном ресурсно-ориентированном регионе неиспользуемых резервов по повышению качества экономического пространства и эффективности его развития.

В экономическом пространстве ресурсно-ориентированного региона происходит процесс постоянного воспроизводства неравномерности в развитии центра и периферии в связи с имеющей место зависимостью периферии от центра, что является причиной ее отсталости и низкого качества экономического пространства. Наличие диспропорции между центром и периферией неизбежно порождает и неравномерность их экономического развития [6].

Система оценки качества экономического пространства. Одним из способов формирования прозрачного и обоснованного заключения о качестве экономического пространства региона может выступать создание новой системы оценки качества экономического пространства. В этой системе необходимо использовать как количественные и качественные критерии социально-экономического развития региона, так и качественные критерии экономического пространства. Основой системы оценки является установление соответствия выделяемых показателей значениям, принятым за качественные. Соотношение качественных и некачественных значений будет определять объективный показатель качества экономического пространства. Так, если в общем объеме ВРП региона больше 50 % составляют добывающие или обрабатывающие производства, то значение данного показателя определяется как некачественное [7]. Исходя из подобных оценок, к концу анализа появится некое соотношение качественных и некачественных показателей, по которому можно будет сделать общее заключение относительно качества регионального экономического пространства.

Действующая в экономической практике общепринятая система оценки уровня социально-экономического развития региона формирует численное выражение экономического потенциала региона. Если рассматривать только их количественные значения, не принимая во внимание качественный аспект, то развитие Красноярского края можно оценить как хорошее и отнести край к регионам – локомотивам экономики РФ [8].

Существует ряд факторов, оказывающих влияние на качество экономического пространства ресурсно-ориентированного региона, основным из которых является экономический рост. Он ориентирован на положительные изменения в экономике, улучшение качества жизни [9].

Экономический рост можно оценить с помощью системы взаимосвязанных показателей, отражающих изменение результата производства и его факторов [10].

Различают экстенсивный и интенсивный типы экономического роста. В первом случае рост достигается путём увеличения экстенсивных факторов роста. Во втором – за счёт интенсивных факторов роста. С развитием и освоением современных достижений науки и техники интенсивные факторы роста становятся преобладающими [11].

Экстенсивный фактор – это увеличение объёмов производства, в результате увеличения числа используемых факторов производства. Интенсивный фактор – это увеличение объёмов производства в результате совершенствования техники и технологии [12].

Систематизация факторов, влияющих на качество экономического пространства ресурсно-ориентированных регионов. В ходе исследования выявлены и систематизированы факторы, которые оказывают определяющее влияние на качество экономического пространства ресурсно-ориентированного региона, в том числе:

- обширность территории и низкая плотность населения;
- сосредоточенность природно-ресурсного потенциала в малоосвоенных и труднодоступных территориях региона;
- ограниченность численности экономически активного населения;
- очаговый тип развития промышленного комплекса, наличие резких диспропорций в уровне социально-экономического развития территорий;
- тип экономического роста и ряд других.

Системное взаимодействие комплекса условий и факторов, оказывающих непосредственное влияние на качество экономического пространства ресурсно-ориентированных регионов, порождает проблемы их развития, обусловленные мировыми вызовами.

Основными проблемами социально-экономического развития ресурсно-ориентированного региона являются:

- экономический рост, который обусловлен, как правило, развитием сырьевых отраслей;
- ограниченность инвестиционных и финансовых ресурсов и необходимость их целенаправленной привязки к точкам роста в экономике региона;
- высокая дифференциация в уровне доходов и качестве жизни населения региона;
- дирижистская политика выравнивания уровня социально-экономического развития регионов, не обеспечивающая в должной мере регионам экономическую свободу;
- недостаточная децентрализация в методах управления, предусматривающих передачу отдельных предметов ведения РФ на региональный уровень;
- низкая эффективность проводимой государственной региональной экономической политики, не порождающая у субъектов Федерации стимулов для вкладывания средств в науку и технологические разработки, и ряд других [6].

Качество экономического пространства формируется в результате взаимодействия множества экономических процессов и явлений, протекающих в физическом пространстве, конечным итогом которого является деятельность государства, общественных

организаций и институтов рынка, размещение множества объектов, функционирование хозяйствующих субъектов, изменение уровня и качества жизни населения. Следовательно, системообразующими факторами качества экономического пространства являются экономические процессы и явления [13].

Существуют различные критерии качества экономического пространства. Одними из главных критериев, на наш взгляд, являются:

- благосостояние населения;
- качество социальной сферы;
- равномерность размещения населения на территории;
- скорость протекания экономических циклов и процессов (объем грузоперевозок, протяженность дорог, нефтепроводов и т. д.);
- распространение инновационного трансфера и инноваций и др.

В ходе исследования из состава экстенсивных и интенсивных факторов выделены также негативные и позитивные факторы. В табл. 2 осуществлена систематизация факторов, влияющих на качество эконо-

мического пространства ресурсно-ориентированного региона по признаку типа экономического роста. Выделены факторы, оказывающие существенно влияние на качество экономического пространства ресурсно-ориентированных регионов на примере Красноярского края. Из табл. 2 видно, какие факторы в большей или меньшей степени присутствуют на территории данного региона.

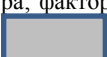
В условиях глобализации значительному числу российских регионов для полноценной интеграции в мировой инновационный процесс необходимо решить проблему устранения преобладания в отраслевой структуре экономики низкоукладности, ресурсной ориентированности и на основе инновационного развития экономики обеспечить повышение конкурентоспособности [14].

Заключение. Учитывая особенности структуры экономики ресурсно-ориентированного региона, необходимо определить новые требования к организации и качеству его пространственного развития в сфере экономики.

Таблица 2

Систематизация факторов, влияющих на качество экономического пространства

Наименование фактора	Экстенсивный тип фактора	Интенсивный тип фактора	Фактор, присутствующий на территории Красноярского края
Позитивные факторы			
Рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов			
Увеличение инновационной активности и инвестиций			
Развитая система транспортных коммуникаций			
Внешнеэкономические связи			
Высококвалифицированные кадры			
Рост эффективности использования факторов производства			
Негативные факторы			
Физически и морально устаревшие основные фонды и технологии			
Низкое качество и конкурентоспособность многих видов продукции и услуг			
Недостаточно благоприятный инвестиционный климат			
Отсутствие роста эффективности использования производственных факторов			
Неизменная структура продукции			
Сосредоточенность природно-ресурсного потенциала в малоосвоенных территориях региона			

Условные обозначения: типы факторов:  – интенсивный тип фактора;  – экстенсивный тип фактора; фактор, присутствующий на территории Красноярского края:  – присутствует в регионе в большей степени;  – присутствует в регионе в меньшей степени.

При формировании проекта трехлетнего бюджета и реализации региональной экономической политики необходим новый концептуальный подход к реализации структурных новаций, способствующий решению первостепенных задач по диверсификации экономики ресурсно-ориентированного региона, основными положениями которого являются:

- создание механизмов перераспределения доходов от реализации продукции добывающих отраслей в пользу отраслей высоких технологических укладов;
- обоснование необходимости введения дополнительной отчетности по учету технологического состояния отраслей экономики на региональном уровне;
- определение приоритетов в развитии инновационных процессов в регионе;
- дальнейшее развитие транспортной и энергетической инфраструктуры региона, обеспечивающей инновационное развитие;
- законодательное разграничение расходных полномочий между органами власти разных уровней, что должно в полной мере соответствовать конституционному разграничению предметов ведения;
- сведение к минимуму финансирования «вертикального» выравнивания уровней социально-экономического развития регионов, способствующего росту числа дотационных регионов;
- развитие практики, в соответствии с мировым опытом, межрегионального проектного финансирования, что стимулирует рост инициативы, ответственность регионов в сфере повышения эффективности развития [15].

Факторы, влияющие на качество экономического пространства, способны дать толчок к дальнейшему развитию экономики или остановить ее рост. Для того чтобы учесть возможные риски, необходимо проводить качественный анализ состояния отраслей экономики региона, что обосновывает необходимость проведения оценки технологического состояния отраслей экономики на региональном уровне.

Выделенные факторы, влияющие на качество экономического пространства ресурсно-ориентированного региона, позволяют выявить проблемы его развития и осуществить меры по улучшению качественных характеристик экономического пространства в целях повышения конкурентоспособности с учетом технологического состояния отраслей экономики.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». Дополнительное соглашение № 10/14 от 21 ноября 2014 г. к соглашению № 05 от 06.08.2009 г. по теме «Выбор и обоснование приоритетных направлений повышения качества экономического пространства Красноярского края».

Acknowledgements. This work was financially supported by the Krasnoyarsk's region Fund of supporting the scientific and technical activities. The additional agreement is № 10/14 from the 21st of November in 2014 year to the Agreement № 05 from 06.08.2009 years. The title of scientific work is "The choice and justification of priority directions of improvement quality economic space of Krasnoyarsk region".

Библиографические ссылки

1. Даниленко Л. Н. Проблемы трансформации рента-сырьевой модели российской экономики // *Инновации*. 2013. № 2(172). С. 18–27.
2. Махотаева М. Ю. Влияние экономического роста на качество экономического пространства северо-запада России [Электронный ресурс]. URL: http://pskgu.ru/projects/pgu/storage/prj/prj_02/prj_02_07.pdf. (дата обращения: 15.12.2014 г.).
3. Гранберг А. Г. Основы региональной экономики : учебник. М. : ГУ ВШЭ, 2003. 242 с.
4. Омскстат [Электронный ресурс]. URL: <http://omsk.gks.ru> (дата обращения: 20.11.2014 г.).
5. Красноярскстат [Электронный ресурс] URL: <http://www.krasstat.gks.ru> (дата обращения: 16.12.2014 г.).
6. Perru F. Les techniques quantitatives de la piar Economic et societe // *Economic*. Paris. 1969. 425 p.
7. Аврамчикова Н. Т., Чувашова М. Н. Проблемы повышения качества экономического пространства ресурсно-ориентированных регионов Российской Федерации // *Региональная экономика: теория и практика*. 2014. № 5(332). С. 116–124.
8. Аврамчикова Н. Т. Теоретические аспекты оценки качества экономического пространства // *Региональная экономика: теория и практика*. 2012. № 35 (266). С. 2–4.
9. Дубовик Ю. В. Обоснование направлений развития ресурсно-ориентированной экономики региона [Электронный ресурс]. URL: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/5053/prog.ntr.pdf> (дата обращения: 17.11.2014 г.).
10. Урунов А. А. Оценки качества российского экономического пространства в условиях глобализации экономики [Электронный ресурс]. URL: <http://economy-lib.com/otsenki-kachestva-rossiyskogo-ekonomicheskogo-prostranstva-v-usloviyah-globalizatsii-ekonomiki#ixzz3P4ytQFYD> (дата обращения: 18.12.2014 г.).
11. Понятие «экономический рост» [Электронный ресурс]. URL: <http://econtool.com/ponyatie-ekonomicheskoy-rosta.html> (дата обращения: 18.12.2014 г.).
12. Факторы экономического роста [Электронный ресурс]. URL: <http://econtool.com/factoryi-ekonomicheskogo-rosta.html> (дата обращения: 12.12.2014 г.).
13. Кривонос Ю. Экономическая теория : конспект лекций [Электронный ресурс]. Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2009. URL: http://www.aup.ru/books/m240/3_7_2.htm (дата обращения: 10.12.2014 г.).
14. Классификация и систематизация факторов в анализе хозяйственной деятельности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.financesource.ru/fisors-563-1.html> (дата обращения: 15.11.2014 г.).
15. Аврамчикова Н. Т., Чувашова М. Н. Инструменты оценки технологического состояния отраслей экономики ресурсно-ориентированного региона // *Вестник СибГАУ*. 2014. Вып. 1(53). С. 186–193.

References

1. Danilenko L. N. [The transformation problem of rent and raw model of Russian economy]. *Innovatsii*. 2013, no. 2 (172), p.18–27 (In Russ.).

2. Makhotaeva M. Yu. *Vliyaniye ekonomicheskogo rosta na kachestvo ekonomicheskogo prostranstva severozapada Rossii* [The economic growth influence to the quality of north-west economic space of Russia] (In Russ.). Available at: http://pskgu.ru/projects/pgu/storage/prj/prj_02/prj_02_07.pdf. (accessed 15.12.2014 г.).
3. Granberg A. *Osnovy regional'noi ekonomiki* [The basic science of regional economics]. Moscow, GU VSE Publ., 2003, 242 p.
4. *Omskstat* [Federal Agency of Omsk's region statistics] (In Russ.). Available at: <http://omsk.gks.ru> (accessed 20.11.2014).
5. *Krasnoyarskstat* [Federal Agency of Krasnoyarsk's region statistics] (In Russ.). Available at: <http://www.krasstat.gks.ru> (accessed 16.01.2014 г.).
6. Perru F. Les techniques quantitatives de la piar Economic et societe. *Economic*. Paris, 1969, 425 p.
7. Avramchikova N. T., Chuvashova M. N. [The problem of improvement quality of economic space of the regions with resource base economy]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*. 2014, no. 5 (332), p. 116–124 (In Russ.).
8. Avramchikova N. T. [The theoretical aspects of the quality assessment of economic space] *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*. 2012, no. 35 (266), p. 2–14 (In Russ.).
9. Dubovik Yu. V. *Obosnovanie napravlenii razvitiya resursno-orientirovannoi ekonomiki regiona* [The bases on the directions of development the region with resource based economy] (In Russ.). Available at: <http://old.mon.gov.ru/files/materials/5053/prog.ntr.pdf> (accessed 17.11.2014 г.).
10. Urunov A. A. *Otsenki kachestva rossiiskogo ekonomicheskogo prostranstva v usloviyakh globalizatsii ekonomiki* [The quality assessment of economic space in globalization] (In Russ.). Available at: <http://economy-lib.com/otsenki-kachestva-rossiyskogo-ekonomicheskogo-prostranstva-v-usloviyah-globalizatsii-ekonomiki#ixzz3P4ytQFyD> (accessed 18.12.2014 г.).
11. *Ponyatie "ekonomicheskii rost"* [The term is "economic growth"] (In Russ.). Available at: <http://econtool.com/ponyatie-ekonomicheskii-rost.html> (accessed 18.12.2014 г.).
12. *Faktory ekonomicheskogo rosta* [The economic growth factor] (In Russ.). Available at: <http://econtool.com/faktoryi-ekonomicheskogo-rosta.html> (accessed 12.12.2014 г.).
13. Krivonos Yu. E. *Ekonomicheskaya teoriya. Konспект lektsii* [Economic theory. The abstract of lectures] (In Russ.). Available at: http://www.aup.ru/books/m240/3_7_2.htm (accessed 18.12.2014 г.).
14. *Klassifikatsiya i sistematizatsiya faktorov v analize khozyaistvennoi deyatel'nosti* [The classification and systematization of factors in the analysis of economic activity] (In Russ.). Available at: <http://www.financesource.ru/fisors-563-1.html> (accessed 15.11.2014 г.).
15. Avramchikova N. T., Chuvashova M. N. [The estimating tools of the technological state of the economic branches in region which focuses on resources]. *Vestnik SibGAU*. 2014, no. 1 (53), p. 186–193 (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александров Юрий Леонидович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и планирования, Сибирский федеральный университет.

Анищенко Юлия Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры организации и управления наукоемкими производствами, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: julya104@mail.ru.

Антамошкин Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и исследования операций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: oleslav@mail.ru.

Банникова Анастасия Владимировна – аспирант, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: stasy144@yandex.ru.

Баранов Роман Павлович – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева; инженер-программист, ОАО «КЗХ «Бирюса». E-mail: zeatool@gmail.com.

Батукова Луиза Рихардовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления бизнес-процессами, Институт управления бизнес-процессами и экономики, Сибирский федеральный университет.

Бачурина Елена Петровна – студентка, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: hellenb@mail.ru.

Беляков Геннадий Павлович – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры организации и управления наукоемкими производствами, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: gpbelyakov@mail.ru.

Беляков Роман Андреевич – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: elromanxsite@gmail.com.

Белякова Галина Яковлевна – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и управления бизнес-процессами, Институт управления бизнес-процессами и экономики, Сибирский федеральный университет. E-mail: GBelyakova@sfu-kras.ru.

Белякова Елена Владимировна – доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой логистики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ev_belyakova@rambler.ru.

Болгов Андрей Николаевич – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: anbolgov@gmail.com.

Бородина Татьяна Владимировна – инженер-исследователь научно-исследовательского управления, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: borodina@sibsau.ru.

Брестер Кристина Юрьевна – младший научный сотрудник, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: christina.bre@yandex.ru.

Брюханов Юрий Михайлович – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры управления инновациями, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова. E-mail: bruhanov@gmail.com.

Бубнов Вячеслав Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент, проректор по экономике, Иркутский государственный университет путей сообщения. E-mail: bubnov_v@irgups.ru.

Васильева Зоя Андреевна – доктор экономических наук, профессор, директор, Институт управления бизнес-процессами и экономики, Сибирский федеральный университет.

Вишневская Софья Романовна – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой высшей математики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: vishni@ngs.ru.

Гильц Надежда Евгеньевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры логистики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: negilts@mail.ru.

Гирн Алексей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры летательных аппаратов, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: girn007@gmail.com.

Городов Алексей Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: Glexx84@mail.ru.

Городова Любовь Владимировна – аспирант кафедры прикладной математики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: Glexx84@mail.ru.

Гришин Антон Александрович – инженер-технолог 1 категории, ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: grishin_aa@list.ru.

Дарзиев Алексей Николаевич – аспирант, Красноярский государственный аграрный университет. E-mail: ak_kgau@mail.ru.

Дружинина Александра Алексеевна – старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов и теплотехники в металлургии, Институт цветных металлов и материаловедения, Сибирский федеральный университет. E-mail: Druzhininasasha@rambler.ru.

Дябкин Евгений Владимирович – кандидат математических наук, ассистент кафедры общей хирургии, Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого; врач-хирург для оказания экстренной медицинской помощи, Дорожная клиническая больница на ст. Красноярск ОАО «РЖД». E-mail: dyabkyn@mail.ru.

Ерыгина Лилия Викторовна – доктор экономических наук, профессор, декан инженерно-экономического факультета, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: erygina@sibsau.ru.

Зеленская Татьяна Васильевна – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры международного бизнеса, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: tvzel@mail.ru.

Зыкова Татьяна Викторовна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: zykovatv@mail.ru.

Ивлева Наталья Васильевна – старший преподаватель кафедры делового иностранного языка, начальник отдела международной деятельности управления международного сотрудничества, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: natalie_ivleva@mail.ru.

Казаковцев Лев Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных экономических систем, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: levk@bk.ru.

Коплярова Надежда Владимировна – ассистент кафедры информационных систем, Институт информационных и космических технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: koplyarovav@mail.ru.

Космидис Ирина Федоровна – доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: alexey_m_porov@newmail.ru.

Краснов Игорь Зарьевич – доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности, Сибирский федеральный университет. E-mail: bk_24@bk.ru.

Крушенко Генрих Гаврилович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт вычислительного моделирования СО РАН. E-mail: genry@icm.krasn.ru.

Кузнецов Александр Алексеевич – доктор физико-математических наук, профессор, директор Института космических исследований и высоких технологий. E-mail: kuznetsov@sibsau.ru.

Куимов Василий Васильевич – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры торгового дела и маркетинга, Торгово-экономический институт, Сибирский федеральный университет. E-mail: kmarketing05@mail.ru.

Кушнарева Татьяна Владимировна – студентка, Институт информатики и телекоммуникаций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: rare-avis@mail.ru.

Кытманов Алексей Александрович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой прикладной математики и компьютерной безопасности, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: aakytm@gmail.ru.

Лаптенко Валерий Дмитриевич – доктор технических наук, профессор кафедры информационно-управляющих систем, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ius_laptenok@sibsau.ru.

Левко Валерий Анатольевич – доктор технических наук, доцент, директор Института космической техники, профессор кафедры технологии машиностроения, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: levko@sibsau.ru.

Липинский Леонид Витальевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры системного анализа и исследования операций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: LipinskiyL@mail.ru.

Личаргин Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры разговорного иностранного языка, Сибирский федеральный университет. E-mail: lichdv@hotmail.ru.

Лукин Александр Александрович – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры финансов и кредита, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: trust-audit@yandex.ru.

Лукьянова Анна Александровна – доктор экономических наук, профессор, директор института дополнительного образования и повышения квалификации, Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева.

Лютых Юрий Александрович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой землеустройства и кадастров, Красноярский государственный аграрный университет.

Лячин Владимир Иванович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: kafedra701@yandex.ru.

Масич Игорь Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: i-masich@yandex.ru.

Медведев Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: stasy144@yandex.ru.

Михеев Анатолий Егорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой летательных аппаратов, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: michla@mail.ru.

Мурыгин Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-управляющих систем, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: avm514@mail.ru.

Орлова Карина Владимировна – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: karina13-ok@mail.ru.

Подвербных Ольга Ефимовна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой международного кадрового и проектного управления, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: podverbnih@sibsau.ru.

Попов Евгений Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и исследования операций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: eropov@bmail.ru.

Пронина Екатерина Алексеевна – аспирант, Красноярский государственный аграрный университет. E-mail: katyushka_2707@mail.ru.

Пятаева Анна Владимировна – аспирант кафедры информатики и вычислительной техники, Институт информатики и телекоммуникаций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: anna4u@list.ru.

Раводина Дарья Владимировна – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: Dashaorlova12@yandex.ru.

Рагозина Марина Алексеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры организации и управления наукоемкими производствами, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: ragfil@mail.ru.

Самохвалова Светлана Михайловна – кандидат экономических наук, доцент кафедры международного кадрового и проектного управления, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: merlanabox@mail.ru.

Сафонов Константин Владимирович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой прикладной математики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: safonovkv@rambler.ru.

Сафронов Михаил Викторович – магистр экономики, ассистент кафедры организации и управления наукоемкими производствами, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: smv-agi@mail.ru.

Семёнкин Евгений Станиславович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и исследования операций, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: eugenesemenkin@yandex.ru.

Семенкина Мария Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: semenkina88@mail.ru.

Семенкина Ольга Эрнестовна – доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: semenkina.olga@mail.ru.

Сенашов Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных экономических систем, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: sen@sibsau.ru.

Сидоров Максим Юрьевич – научный сотрудник, Ульмский университет, Германия. E-mail: maxim.sidorov@uni-ulm.de.

Сидорова Татьяна Валерьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: stanyub@yandex.ru.

Смирнов Николай Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической механики, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева.

Смородинов Роман Витальевич – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: rs105826@gmail.com.

Смородинова Наталья Ивановна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры финансов и кредита, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: smr439@yandex.ru.

Становов Владимир Вадимович – аспирант, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: vladimirstanovov@yandex.ru.

Тяурский Анатолий Иванович – доктор экономических наук, профессор, директор, Институт проблем непрерывного образования РАО. E-mail: naukaobr@mail.ru.

Ткачева Анастасия Александровна – аспирант кафедры информатики и вычислительной техники, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: tkacheva@mail.sibsau.

ТрушакOVA Анастасия Ивановна – студентка, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: neizi@mail.ru.

Трушкина Татьяна Владимировна – ведущий инженер, ОАО «Красноярский машиностроительный завод». E-mail: Tatyana.si@mail.ru.

Фалалеев Альберт Николаевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и управления, Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева.

Фатьянова Ирина Рудольфовна – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры управления инновациями, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова. E-mail: fatyanova.irina@gmail.com.

Федотов Дмитрий Валерьевич – лаборант-исследователь, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: fedotov.dm.v@gmail.com.

Фибих Екатерина Викторовна – кандидат философских наук, доцент кафедры делового иностранного языка, начальник управления международного сотрудничества, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: fibichev@mail.ru.

Филимоненко Ирина Владимировна – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой маркетинга, Институт управления бизнес-процессами и экономики, Сибирский федеральный университет. E-mail: IFilimonenko@sfu-kras.ru.

Фокина Дарья Александровна – старший преподаватель кафедры таможенного дела, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: darya_fokina@mail.ru.

Ханов Владислав Ханифович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности информационных технологий, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: hanov@sibsau.ru.

Харитонов Александр Игоревич – начальник технологического бюро цеха автоматики, ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва.

Хаустов Дмитрий Сергеевич – кандидат экономических наук, кафедра финансов и бухгалтерского учета, Иркутский государственный университет путей сообщения. E-mail: dmitry.khaustov@rambler.ru.

Хоменко Георгий Андреевич – ассистент кафедры финансов и бухгалтерского учета, Иркутский государственный университет путей сообщения. E-mail: khomenko.gosha@mail.ru.

Хоменко Игорь Иванович – инженер, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: khomenko.igor.iv@gmail.com.

Чувашова Мария Николаевна – аспирантка кафедры финансов и кредита, Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. E-mail: chuvashova@sibsau.ru.

Шершнева Виктория Анатольевна – доктор педагогических наук, профессор кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности, Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет. E-mail: vshershneva@yandex.ru.

Шишкина Наталия Алексеевна – аспирант, Сибирский федеральный университет. E-mail: natasha_shao8@mail.com.

Шлепкин Алексей Анатольевич – доцент, Сибирский федеральный университет. E-mail: ak_kgau@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksandrov Yuri Leonidovich – Dr. Sc., Professor, head of Economy and planning department, Siberian Federal University.

Anishchenko Yuliya Anatol'evna – Cand. Sc., Docent of the Department of organization and management of science intensive production, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: julya104@mail.ru.

Antamoshkin Alexander Nikolaevich – Dr. Sc., Professor, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: oleslav@mail.ru.

Bachurina Elena Petrovna – student of Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail hellenb@mail.ru.

Bannikova Anastasia Vladimirovna – postgraduate student of Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: stasy144@yandex.ru.

Baranov Roman Pavlovich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev, software engineer, JSC 'KZH Biryusa'. E-mail: zeatool@gmail.com.

Batukova Luiza Rihordovna – Cand. Sc., Docent, Economy and management of business processes department, Institute of Business Management and Economics, Siberian Federal University.

Belyakov Gennadii Pavlovich – Dr. Sc., Professor, Professor of the Department of organization and management of science intensive production, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: gpbelyakov@mail.ru.

Belyakov Roman Andreevich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: elromanxsite@gmail.com.

Belyakova Elena Vladimirovna – Dr. Sc., Docent, head of Logistics department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: ev_belyakova@rambler.ru.

Belyakova Galina Yakovlevna – Dr. Sc., Professor of Economy and management of business processes department, Institute of Business Management and Economics, Siberian Federal University. E-mail: GBelyakova@sfu-kras.ru.

Bolgov Andrey Nikolaevich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: anbolgov@gmail.com.

Borodina Tatiana Vladimirovna – research engineer of Research and development department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: borodina@sibsau.ru.

Brester Christina Yurievna – junior research fellow, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: christina.bre@yandex.ru.

Bryukhanov Yuri Mikhailovich – Cand. Sc., Docent, Docent of the Department of innovation management, Plekhanov Russian University of Economics. E-mail: bruhanov@gmail.com.

Bubnov Vyacheslav Anatol'evich – Ph. D., Associate Professor, doctoral, Vice-Rector for Economics, Irkutsk State University of Railway Transport. E-mail: bubnov_v@irgups.ru.

Chuvashova Maria Nikolaivna – postgraduate student of Finance and credit department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: chuvashova@sibsau.ru.

Darziev Alexey Nikolaevich – postgraduate student, Krasnoyarsk State Agrarian University. E-mail: ak_kgau@mail.ru.

Druzhinina Alexandra Alekseevna – senior teacher of the Department of Automation of production processes and thermal technology in metallurgy, Institute of Non-ferrous Metals and Material Science, Siberian Federal University. E-mail: Druzhininasasha@rambler.ru.

Dyabkin Evgeny Vladimirovich – Cand. Sc., Docent of General surgery department, Krasnoyarsk State Medical University; surgeon for emergency of Rail-road Clinical Hospital, Krasnoyarsk railway station, JSC 'Russian Railways'. E-mail: dyabkyn@mail.ru

Erygina Lilia Viktorovna – Dr. Sc., Professor, Dean of the Faculty of Engineering and Economics, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: erygina@sibsau.ru.

Falaleev Al'bert Nikolaevich – Dr. Sc., Professor, head of Economy and management department, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafev.

Fatyanova Irina Rudolfovna – Cand. Sc., senior lecturer of the Department of innovation management, Plekhanov Russian University of Economics. E-mail: fatyanova.irina@gmail.com.

Fedotov Dmitrii Valer'evich – laboratory research worker, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: fedotov.dm.v@gmail.com.

Fibikh Ekaterina Viktorovna – Cand. Sc., Docent, Business foreign languages department, head of International cooperation department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: fibichev@mail.ru.

Filimonenko Irina Vladimirovna – Cand. Sc., Docent, head of Marketing department, Institute of Business Management and Economics, Siberian Federal University. E-mail: IFilimonenko@sfu-kras.ru.

Fokina Dar'ya Aleksandrovna – senior teacher, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: darya_fokina@mail.ru.

Gilts Nadezhda Evgenyevna – Cand. Sc., Docent of Logistics department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: negilts@mail.ru.

Girn Aleksei Vasilyevich – Cand. Sc., Docent, Docent of Flying vehicles department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: girn007@gmail.com.

Gorodov Alexey Alexandrovich – Cand. Sc., Docent of Applied mathematics department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: Glexx84@mail.ru.

Gorodova Lubov Vladimirovna – postgraduate student, Applied mathematics department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: Glexx84@mail.ru.

Grishin Anton Aleksandrovich – engineer-technologist of the 1st category, JSC “Information satellite systems” named after academician M. F. Reshetnev”. E-mail: grishin_aa@list.ru.

Ivleva Natalya Vasiljevna – senior teacher, Business foreign languages department, chief of international activity department, International cooperation department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: natalie_ivleva@mail.ru.

Kazakovtsev Lev Aleksandrovich – Cand. Sc., Docent, Docent of Information economic system department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: levk@bk.ru.

Khanov Vladislav Khanifovich – Cand. Sc., Docent, Docent of Information technology security department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: hanov@sibsau.ru.

Kharitonov Alexander Igorevich – head of the department of automation technology bureau, JSC “Information satellite systems” named after academician M. F. Reshetnev”.

Khaustov Dmitry Sergeevich – Ph. D, Department of “Finance and Accounting”, Irkutsk State University of Railway Transport. E-mail: dmitry.khaustov@rambler.ru.

Khomenko George Andreevich – assistant, Department of “Finance and Accounting”, Irkutsk State University of Railway Transport. E-mail: khomenko.gosha@mail.ru.

Khomenko Igor Ivanovich – engineer, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: khomenko.igor.iv@gmail.com.

Koplyarova Nadezhda Vladimirovna – assistant, Information systems department, Institute of Information and Space Technologies, Siberian Federal University. E-mail: koplyarovav@mail.ru.

Kosmidis Irina Fedorovna – Docent of Applied mathematics and computer security department, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: alexey_m_popov@newmail.ru.

Krasnov Igor Zaryevich – Docent of Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: bk_24@bk.ru.

Krushenko Genry Gavrilovich – Dr. Sc., Professor, the chief research officer of Institute of Computer Modeling SB RAS. E-mail: genry@icm.krasn.ru.

Kuimov Vasily Vasilyevich – Dr. Sc., Professor, Trade business and marketing department, Institute of Economics and Commerce, Siberian Federal University. E-mail: kmarketing05@mail.ru.

Kushnareva Tatiana Vladimirovna – student of System analysis and operations research department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: rare-avis@mail.ru.

Kuznetsov Alexander Alekseevich – Dr. Sc., Professor, Director of Institute of Space Research and High Technologies. E-mail: kuznetsov@sibsau.ru.

Kytmanov Alexey Aleksandrovich – Dr. Sc., head of Applied mathematics and computer security department, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: aakytm@gmail.ru.

Laptenok Valery Dmitriyevich – Dr. Sc., Professor of Information control systems department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: ius_laptenok@sibsau.ru.

Levko Valery Anatoljevich – Dr. Sc., Docent, director of Institute of Space Technology, Professor of Mechanical-engineering department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: levko@sibsau.ru.

Lichargin Dmitry Victorovich – Cand. Sc., Docent of Conversational foreign language department, Siberian Federal University. E-mail: lichdv@hotmail.ru.

Lipinskiy Leonid Vitalievich – Cand. Sc., Docent of System analysis and operations research department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: LipinskiyL@mail.ru.

Lukin Alexander Alexandrovich – Cand. Sc., Docent, Docent of the Department of Finance and credit, Siberian state aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: trust-audit@yandex.ru.

Luk'janova Anna Aleksandrovna – Dr. Sc., Professor, Director of additional education and professional development institute, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafev.

Lyachin Vladimir Ivanovich – Dr. Sc., Professor, head of Economics department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: kafedra701@yandex.ru.

Lyutykh Yuri Aleksandrovich – Dr. Sc., Professor, head of Land management and inventories department, Krasnoyarsk State Agrarian University.

Masich Igor Sergeevich – Cand. Sc., Docent, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: i-masich@yandex.ru.

Medvedev Alexander Vasiljevich – Dr. Sc., Professor of Systems analysis and operations research department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: stasy144@yandex.ru.

Miheev Anatolii Egorovich – Dr. Sc., Professor, head of Flying vehicles department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: michla@mail.ru.

Murygin Alexander Vladimirovich – Dr. Sc., Professor, head of Information control systems department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: avm514@mail.ru.

Orlova Karina Vladimirovna – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: karina13-ok@mail.ru.

Podverbnykh Olga Efimovna – Dr. Sc., head of International personnel and project management department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: podverbni@sibsau.ru

Popov Evgeny Aleksandrovich – Dr. Sc., Professor of System analysis and operations research department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: epopov@bmail.ru.

Pronina Ekaterina Alekseevna – postgraduate student, Krasnoyarsk State Agrarian University. E-mail: katyushka_2707@mail.ru.

Pyataeva Anna Vladimirovna – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: anna4u@list.ru.

Ragozina Marina Alekseevna – Cand. Sc., Docent, the Department of organization and management of knowledge-based industries, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: ragfil@mail.ru.

Ravodina Daria Vladimirovna – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: Dashaorlova12@yandex.ru.

Safonov Konstantin Vladimirovich – Dr. Sc., head of Applied mathematics department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: safonovkv@rambler.ru.

Safronov Mihail Viktorovich – Master's Degree student, assistant of the Department of organization and management of science intensive production, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: smv-agi@mail.ru.

Samohvalova Svetlana Mihailovna – Candidate of Economic Sciences, associate professor the Department of International personnel and project management, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: merlanabox@mail.ru.

Semenkin Evgeny Stanislavovich – Dr. Sc., Professor, Professor of System analysis and operations research department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: eugenesemenkin@yandex.ru.

Semenkina Maria Evgenyevna – Cand. Sc., Docent of the Higher Mathematics Department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: semenkina88@mail.ru.

Semenkina Olga Ernestovna – Dr. Sc., Professor, Professor of the Higher Mathematics Department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: semenkina.olga@mail.ru.

Senashov Sergei Ivanovich – Dr. Sc., Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: sen@sibsau.ru.

Shershneva Viktoriya Anatolevna – Dr. Sc., Professor, Applied mathematics and computer security department, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: vshershneva@yandex.ru.

Shishkina Nataliya Alekseevna – postgraduate student, Siberian Federal University. E-mail: natasha_shao8@mail.com.

Shlepin Alexey Anatolievich – Docent, Siberian Federal University. E-mail: ak_kgau@mail.ru.

Sidorov Maxim Yurievich – research fellow, Ulm University. E-mail: maxim.sidorov@uni-ulm.de.

Sidorova Tatyana Valerevna – Cand. Sc., Docent of Applied mathematics and computer security department, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: stany6@yandex.ru.

Smirnov Nikolay Anatolyevich – Dr. Sc., Professor, head of Technical mechanics department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev.

Smorodinov Roman Vitalyevich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: rs105826@gmail.com.

Smorodinova Natalya Ivanovna – Cand. Sc., Docent, Docent of Finance and credit department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: smr439@yandex.ru.

Stanovov Vladimir Vadimovich – postgraduate student, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: vladimirstanovov@yandex.ru.

Tayursky Anatoly Ivanovich – Dr. Sc., Professor, director of Institute of problems of continuous education of Russian Academy of Education. E-mail: naukaobr@mail.ru.

Tkacheva Anastasia Alexandrovna – postgraduate student of Computer Science and Engineering department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: tkacheva@mail.sibsau.

Trushakova Anastasiya Ivanovna – student of Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: neizi@mail.ru.

Trushkina Tatiana Vladimirovna – postgraduate student, JSC “Krasnoyarsk Machine Building Plant”. E-mail: Tatyana.si@mail.ru.

Vasil'eva Zoya Andreevna – Dr. Sc., Professor, Director of Institute of Business Management and Economics, Siberian Federal University.

Vishnevskaya Sophia Romanovna – Cand. Sc., Docent, Head of the Higher Mathematics Department, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: vishni@ngs.ru.

Zelenskaya Tatyana Vasilyevna – Dr. Sc., Professor, Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. E-mail: tvzel@mail.ru.

Zykova Tatyana Viktorovna – Cand. Sc., Docent of Applied mathematics and computer security department, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University. E-mail: zkovatv@mail.ru.