

ISSN(Print) 2073-6185

ISSN (On-line)2542-095X

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Дагестанский государственный технический университет»**



Том 44, №1, 2017.

ВЕСТНИК

ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Volume 44, No.1, 2017.

HERALD

OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY.

TECHNICAL SCIENCES

Журнал основан в 1997 году.

Выходит 4 раза в год

Научно-исследовательский журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (РОСКОМНАДЗОР), свидетельство ПИ № ФС77-30186 от 9 ноября 2007г. Подписной индекс 71366 в федеральном каталоге периодических изданий ОАО Агентства «Роспечать». Подписной индекс 93522 в объединенном каталоге «Пресса России». Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), доступный в интернете, по адресу <http://www.elibrary.ru> (Научная электронная библиотека).

© Учредитель ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 2017.

The research journal is registered in Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications (ROSKOMNADZOR), the certificate of PI No. FS77-30186 of November 9, 2007. Subscription index 71366 is in the federal catalogue of periodicals of the JSC Rospechat Agency. Subscription index 93522 in the integrated catalogue "Press of Russia". The journal is included in the List of leading reviewed scientific journals and periodicals of the Higher Certifying Commission (VAK) of the Russian Federation, in which basic scientific results of dissertations are to be published. The journal is included in the Russian Index of Scientific Citing (RISC) available on the Internet (<http://www.elibrary.ru> Scientific electronic library).

© Founder Daghestan State Technical University, 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Дагестанский государственный технический университет»
**ВЕСТНИК ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ Том 44, № 1, 2017 г.**

<p>Главный редактор: Исмаилов Т.А., д.т.н., профессор, ректор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.</p> <p>Заместитель главного редактора: Эсетова А.М., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.</p> <p>Редакционная коллегия: Абакаров А.Д., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Абакаров Г.М., д.х.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Абдулгалимов А.М., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Адамов А.П., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Батдалов М.М., д.т.н., член-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Билалов Б.А., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Володин В.М., д.э.н., профессор, декан Пензенского государственного университета, г. Пенза, Россия. Гулиев М.Е., д.э.н., доцент Азербайджанского государственного экономического университета, г. Баку, Азербайджанская республика. Гусейнов Р.В., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Исалова М.Н., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Исмаилов Э.Ш., д.б.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Каргин Н.И., д.т.н., профессор, начальник Управления развития перспективных исследований, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия. Кутузов В.М., д.т.н., профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), г. Санкт-Петербург, Россия. Ларионов А.Н., д.э.н., профессор, генеральный директор ООО «Научно-исследовательский центр «Стратегия», г. Москва, Россия. Магомедов А.Г., д.э.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Мелехин В.Б., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Митаров Р.Г., д.ф.-м.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Павлюченко Е.И., д.э.н., профессор, проректор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Саркаров Т.Э., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Сафаралиев Г.К., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, научный руководитель НИИ «Микроэлектроники и нанотехнологий» Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Финаев В.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия. Хаджишалапов Г.Н., д.т.н., профессор, декан Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.</p>	<p>Научные направления:</p> <p>Физико-математические науки Механика</p> <p>Технические науки</p> <p>Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение</p> <p>Информатика, вычислительная техника и управление</p> <p>Строительство и архитектура</p> <p>Экономические науки</p>
<p>Редакционный совет:</p> <p>Председатель редакционного совета: Якимович Б.А., д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», г. Ижевск, Россия.</p> <p>Сопредседатели Иванов К.М., д.т.н., профессор, ректор БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия. Исмаилов Т.А., д.т.н., профессор, ректор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия. Кутузов В.М., д.т.н., профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), г. Санкт-Петербург, Россия.</p> <p>Члены редакционного совета Бабанлы М.Б.-О., д.т.н., профессор, ректор Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджанская республика. Давидок А.Н., д.т.н., заслуженный строитель России, директор НИИЖБ им. А.А.Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия. Джанзаков И. И., д.т.н., профессор, член-корр. НИА РК, академик МАНЭБ, г. Атырау, Республика Казахстан. Казачек В.Г., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Института жилища - НИПТИС им. Атаева С.С., директор ООО «Мобильная диагностика в строительстве», г. Минск, Республика Беларусь. Кругляков А.А., д.т.н., профессор, генеральный директор научно-коммерческой фирмы WBN, Германия, г. Берлин Магомедов М. Х., д-р.физ.-мат. наук, генеральный директор ООО «САУНО», НПФ, г. Москва, Россия. Несветаев Г.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия. Райзер В. Д., д.т.н., профессор, штат Калифорния, г. Сан-Диего, США. Сулин А.Б., д.т.н., профессор, член-корр. МАХ, НИИ промышленной и морской медицины федерального медико-биологического агентства, г. Санкт-Петербург, Россия. Хачумов В.М., д.т.н., профессор, заведующий лабораторией Института системного анализа РАН, г. Москва, Россия. Эмиров Ю.Н., д.ф.-м.н., ученый-исследователь Центра нанотехнологий Университета Южной Флориды, США. Якунин А.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Вычислительные системы и информационная безопасность», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, Россия.</p>	<p>Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Том 44, №1 Махачкала, 2017 – 220с.</p> <p>Издается по решению Ученого Совета ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»</p>
<p>Адрес учредителя: 367026, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Тел./факс 8722)623715; (8722)623964 E-mail:vestnik.dgtu@mail.ru Website: http://vestnik.dgtu.ru/</p>	

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ	
МЕХАНИКА	8
<i>Гусейнов Р.В., Султанова Л.М.</i> ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧАХ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ	8
<i>Кленова И.А., Рудиков Д.А., Холодова С.Н.</i> НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИВОДА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	17
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ	26
<i>Евдулов Д.В., Евдулов О.В., Набиев Н.А.</i> ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСТАНОВКИ КРОВОТЕЧЕНИЯ	26
<i>Макеев А.Н.</i> ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИМПУЛЬСНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	37
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	48
<i>Абдурагимов Т.Т., Мелехин В.Б., Хачумов В.М.</i> ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО ПРОПОРЦИОНАЛЬНО- ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕГО РЕГУЛЯТОРА	48
<i>Абуев Я.К., Бабаев А.Б., Эсетов Ф.Э.</i> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ СТРУКТУР, ОПИСЫВАЕМЫХ ТРЕХВЕРШИННОЙ АНТИФЕРРОМАГНИТНОЙ МОДЕЛЬЮ ПОТТСА	61
<i>Ветров А.Н.</i> ПРИКЛАДНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ СУБЪЕКТА ОБУЧЕНИЯ В АДАПТИВНОЙ СРЕДЕ	70
<i>Глазкова А.В.</i> ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ЕВКЛИДА И МАХАЛА- НОВИСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ИЗ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ	86
<i>Кадиев И.П.</i> ИНДЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНАТОРНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ КЛАССА СИСТЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВ	94
<i>Тумбинская М.В.</i> СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ ОТ ТАРГЕТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ	103

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА	116
<i>Абакаров А.Д., Омаров Х.М.</i> СЕЙСМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ	116
<i>Агапов В.П., Айдемиров К.Р.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФЕРМ	127
<i>Акаев А.И., Магомедов М.Г., Пайзулаев М.М.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗВЕДЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ ИЗ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	138
<i>Жильникова Т.Н., Корянова Ю.И., Несветаев Г.В.</i> ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕТОНОВ ДЛЯ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ С ДВУХСТАДИЙНЫМ РАСШИРЕНИЕМ	150
<i>Зайнулабидова Х.Р., Уздин А.М., Чиркст Т.М.</i> ЗАВИСИМОСТЬ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ ОТ КЛАССА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЯ	162
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ	173
<i>Володин В.М., Володина Н. В., Питайкина И. А.</i> ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРУДОВОЙ МИГРАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА РФ	173
<i>Исмаилов Р.Т.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	186
<i>Козлова Е.И., Лопатина А.Н., Новак М.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНИЗМА АУТСОРСИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ	196
<i>Рамазанова Ф.М., Эсетова А.М.</i> СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОДВИЖЕНИЮ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НА РЫНОК	206
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ	217

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Daghestan State Technical University»
HERALD OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES
Volume 44, No. 1, 2017.

<p>Editor-in-Chief: Tagir A. Ismailov, Doctor of Technical Science, Professor, Rector, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Deputy Editor: Aida M. Esetova, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;</p> <p>Editorial Board: Abakar D. Abakarov, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Gasan M. Abakarov, Doctor of Chemical Science, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Abdulgali M. Abdulgaliyev, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Alexander P. Adamov, Doctor of Technical Science, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Muhtaritdin M. Baidalov, Doctor of Technical Science, Corresponding member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Bilal A. Bilalov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Viktor M. Volodin, Doctor of Economics, Professor, Dean, Penza State University, Penza, Russia. Mushfig E. Guliev, Doctor of Economics, Associate Professor, Azerbaijan State University of Economics, Baku, Azerbaijan; Rasul V. Guseynov, Doctor of Technical Science, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Marzhanat N. Isalova, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Elder Sh. Ismailov, Doctor of Biology, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Nicholay I. Kargin, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the department of the development of perspective researches of National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia; Vladimir M. Kutuzov, Doctor of Technical Science, Professor, Rector of St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russia; Arkady N. Larionov, Doctor of Economics, Professor, General Director LLC Research Center "Strategy", Moscow, Russia. Arbuli G. Magomedov, Doctor of Economics, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Vladimir B. Melekhin, Doctor of Technical Science, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Rizwan G. Mitarov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Elena I. Pavlyuchenko, Doctor of Economics, Professor, Vice Rector, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Tazhudin E. Sarkarov, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Gadzhimet K. Safaraliyev, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Scientific director of the «Microelectronics and Nanotechnology» research institute, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia; Valery I. Finayev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia; Gadzhimirad N. Khadzhishalapov, Doctor of Technical Science, Professor, Dean, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia.</p>	<p>Research areas</p> <p>Physical-mathematical science Mechanics</p> <p>Technical science Power, Metallurgical and Chemical Mechanical Engineering</p> <p>Computer science, Computer Engineering and Management</p> <p>Building and architecture</p> <p>Economic science</p>
<p>Editorial council</p> <p align="center">Chairman of the editorial council:</p> <p>Boris A. Yakimovich, Doctor of Technical Science, Professor, rector, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia.</p> <p align="center">The co-chairs of the editorial council:</p> <p>Konstantin M. Ivanov, Doctor of Technical Science, Professor, rector, Ustinov Baltic State Technical University "VOENMECH", Saint-Petersburg, Russia Tagir A. Ismailov, Doctor of Technical Science, Professor, rector, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia. Vladimir M. Kutuzov, Doctor of Technical Science, Professor, Rector of St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russia;</p> <p>Members of the editorial Board</p> <p>Mustafa B.-O. Babanly, Professor, Rector, Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan. Alexey N. Davidyuk, Doctor of Technical Science, honored Builder of Russia, Director, Gvozdev NIIZHB, JSC "SIC Construction", Moscow, Russia. Islam I. Djanzakov, Doctor of Technical Science, Professor, corresponding member, SRA RK, academician of MANEB, Atyrau, Republic of Kazakhstan. Vladimir G. Kazachek, Doctor of Technical Science, Professor, senior researcher, Ataev Institute of Dwelling - NIPTIS Director of Mobile diagnostics in construction, Minsk, Republic of Belarus. Alexander A. Krugljakov, Doctor of Technical Science, Professor, General Director. Wissenschaftliche Beratung und Handelsvertretung - Dr., Friedrichstrasse 106 b, D-10117 Berlin, Germany /Deutschland. Magomed Kh. Magomedov, Doctor of Mathematics and Physics, General Director, "SAUNO" Ltd. Moscow, Russia. Gregory V. Nesvetaev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Construction Technologies Department, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia. Vladimir D. Raizer, Ph.D., Professor, California, San Diego, USA. Alexander B. Sulin, Doctor of Technical Science, Professor, corresponding member, MAX, Institute of Industrial and Marine Medicine of Federal Medical and Biological Agency, St. Petersburg, Russia. Vyacheslav M. Khachumov, Doctor of Technical Science, Professor, head of laboratory, Institute for Systems Analysis of RAS, Moscow, Russia. Yousuf N. Emirov, Doctor of Mathematics and Physics, research associate, Nanotechnology Research and Education Center, University of South Florida, USA. Alexey G. Yakunin, Doctor of Technical Science, Professor, head of the department, Computing Systems and Information Security", Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia.</p>	<p>Herald of Daghestan State Technical University. Technical Science Volume 44, No.1 Makhachkala, 2017 –2020p.</p> <p>Published by decision of the Academic Council Daghestan State Technical University</p> <p>Edition address: 70 I. Shamil Ave., Makhachkala, the Republic of Daghestan 367026, Russia. Daghestan State Technical University Tel./fax (8722)623715 (8722)623964</p>

CONTENTS

PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE

MECHANICS 8

Rasul V. Huseynov, Lyudmila M. Sultanova

SIMULATION CHALLENGES IN OPTIMISING THEORETICAL METAL CUTTING TASKS 8

Irina A. Klenova, Dmitry A. Rudikov, Svetlana N. Kholodova

NORMALISATION OF THE DRIVE PRECISION OF METAL-CUTTING MACHINES 17

TECHICAL SCIENCE

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING 26

Denis V. Yevdulov, Oleg V. Yevdulov, Nabi A. Nabiyev

THERMOELECTRIC SEMICONDUCTOR DEVICE FOR CAUTERY OF BLEEDING 26

Andrey N. Makeev

SUBSTATIONS OF DISTRICT HEATING SYSTEMS WITH PULSE COOLANT CIRCULATION 37

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT 48

Timur T. Abduragimov, Vladimir B. Melekhin, Vyacheslav M. Hachumov

INFORMATION-ANALYTICAL MODEL FOR A FUZZY PROPORTIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVE CONTROLLER 48

Yarash K. Abuev, Albert B. Babaev, Farhad E. Esetov

COMPUTER SIMULATION OF ANTIFERROMAGNETIC STRUCTURES DESCRIBED BY THE THREE-VERTEX ANTIFERROMAGNETIC POTTS MODEL 61

Anatoly N. Vetrov

APPLIED DIAGNOSTIC MODULE FOR DETERMINING COGNITIVE MODEL PARAMETERS OF SUBJECTS OF EDUCATION IN AN ADAPTIVE ENVIRONMENT 70

Anna V. Glazkova

EFFICIENCY ASSESSMENT OF EUCLIDEAN AND MAKHALANOBIS DISTANCES FOR SOLVING A MAJOR TEXT CLASSIFICATION PROBLEM 86

Islamudin P. Kadiev

INDEXING METHODS FOR FORMING COMBINATORIAL CONFIGURATIONS OF THE CLASS OF SYSTEMS OF DISTINCT REPRESENTATIVES 94

Marina V. Tumbinskaya

A SYSTEM APPROACH TO ORGANISING PROTECTION FROM TARGETED INFORMATION IN SOCIAL NETWORKS 103

BUILDING AND ARCHITECTURE 116

Abakar J. Abakarov, Khadzhimurad M. Omarov

SEISMIC RESPONSE OF FRAME BUILDINGS WITH COMBINED EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEM 116

<i>Vladimir P. Agapov, Kurban R. Aidemirov</i> APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD TAKING INTO ACCOUNT PHYSICAL AND GEOMETRIC NONLINEARITY FOR THE CALCULATION OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE BEAMS	127
<i>Abdujafar I. Akaev, Magomed G. Magomedov, Magomed M. Payzulaev</i> PROSPECTS OF ESTABLISHING EARTHQUAKE RESISTANT BUILDINGS FROM TUBE CONCRETE CONSTRUCTIONS.....	138
<i>Tatjana N. Zhilnikova, Yulia I. Koryanova, Grigory V. Nesvetaev</i> IMPACT OF FORMULA-TECHNOLOGICAL FACTORS ON CONCRETE STRENGTH INDICATORS FOR INJECTING WITH TWO-STAGE EXPANSION.....	150
<i>Hanzada R. Zajnulabidova, Alexander M. Uzdin, Tatiana M. Chirkst</i> DEPENDENCE OF DISTRIBUTION FUNCTION OF COMMERCIAL DAMAGES DUE TO POSSIBLE EARTHQUAKES ON THE CLASS OF SEISMIC RESISTANCE OF A BUILDING.....	162
ECONOMIC SCIENCE	173
<i>Victor M. Volodin, Nadezhda V. Volodina, Inna A. Pitaikina</i> INFLUENCE OF LABOUR MIGRATION PROCESSES ON THE QUALITY OF HUMAN CAPITAL OF THE RUSSIAN FEDERATION	173
<i>Rustam T. Ismailov</i> IMPROVING RESERVE USE EFFICIENCY OF THE ACTIVE PORTION OF MAIN PRODUCTION FUNDS IN CONSTRUCTION	186
<i>Elena I. Kozlova, Anna N. Lopatina, Maxim A. Novak</i> USING THE OUTSOURCING MECHANISM TO INCREASE THE EFFICIENCY OF REPAIR AND MAINTENANCE IN METALLURGICAL ENTERPRISES.....	196
<i>Fatima M. Ramazanova, Aida M. Esetova</i> STRATEGIC APPROACH TO PROMOTION OF CONSTRUCTION PRODUCTS IN THE MARKET	206
FORMATTING REQUIREMENTS FOR PAPERS	217

Для цитирования: Гусейнов Р.В., Султанова Л.М. Особенности моделирования в оптимизационных задачах теории резания металлов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (1):8-16. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-8-16

For citation: Guseynov R.V., Sultanova L.M. Simulation challenges in optimising theoretical metal cutting tasks. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (1):8-16. (In Russ.) DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-8-16

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК 621.993

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-8-16

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧАХ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Гусейнов Р.В.¹, Султанова Л.М.²

¹⁻² *Филиал Дагестанского государственного технического университета в г. Каспийске,*

367015, г. Каспийск, ул. Алферова 3, Россия

e-mail: ¹e-mail:ragus05@mail.ru, ²mili-g1@mail.ru

Резюме: Цель. В статье решаются проблемы оптимизации операций механической обработки, гарантирующих получение готовой детали требуемого качества при минимальной стоимости обработки. **Метод.** Повышение эффективности экспериментальных исследований достигнуто путем использования математических методов планирования экспериментов в оптимизационных задачах теории резания металлов. В качестве критерия выбора оптимальных параметров принята минимальная стоимость обработки, где целевая функция является полиномиальной функцией. **Результат.** Построены полиномиальные модели влияния углов ϕ , α , γ на крутящий момент при нарезании резьб в различных сталях. По критерию минимума сил резания при обработке получены оптимальные значения геометрических параметров инструмента. Определена высокая стойкость инструмента с оптимальными геометрическими параметрами. Доказано, что использование методов планирования экспериментов позволяет оптимизировать параметры резания. Установлено, что в оптимизационных задачах теории резания металлов при выборе геометрии инструмента целесообразно использовать методы многофакторного планирования экспериментов, а в качестве параметра оптимизации – силы резания. **Вывод.** Совместное использование методов геометрического программирования и методов планирования экспериментов для оптимизации параметров резания значительно повышает эффективность технологических процессов обработки металлов.

Ключевые слова: обработка металлов резанием; методы оптимизации; геометрическое программирование; метод планирования экспериментов

PHYSICAL-MATHEMATICALSCIENCE MECHANICS

SIMULATION CHALLENGES IN OPTIMISING THEORETICAL METAL CUTTING TASKS

Rasul V. Guseynov¹, Lyudmila M. Sultanova²

¹⁻² *Dagestan Technical State University, Kaspiysk Branch*

3 Alferov Str., Kaspiysk 367015, Russia,

e-mail: ¹e-mail:ragus05@mail.ru, ²mili-g1@mail.ru

Abstract. Objectives In the article, problems in the optimising of machining operations, which provide end-unit production of the required quality with a minimum processing cost, are addressed. **Methods** Increasing the effectiveness of experimental research was achieved through the use of mathematical methods for planning experiments for optimising metal cutting tasks. The minimal processing cost model, in which the objective function is polynomial, is adopted as a criterion for the selection of optimal parameters. **Results** Polynomial models of the influence of angles φ , α , γ on the torque applied when cutting threads in various steels are constructed. Optimum values of the geometrical tool parameters were obtained using the criterion of minimum cutting forces during processing. The high stability of tools having optimal geometric parameters is determined. It is shown that the use of experimental planning methods allows the optimisation of cutting parameters. In optimising solutions to metal cutting problems, it is found to be expedient to use multifactor experimental planning methods and to select the cutting force as the optimisation parameter when determining tool geometry. **Conclusion** The joint use of geometric programming and experiment planning methods in order to optimise the parameters of cutting significantly increases the efficiency of technological metal processing approaches.

Keywords: metal cutting processes, optimisation methods, geometric programming, experiment planning method

Введение. Стабильность качественных показателей изделий машиностроения в решающей степени зависит от рационального построения технологических процессов. Оптимально выбранная технология дает возможность обеспечивать высокие эксплуатационные показатели изделий и экономическую эффективность производства.

Задача определения оптимальных параметров при обработке резанием представляет собой одно из инженерных приложений математического программирования.

В настоящее время для решения оптимальных задач применяют в основном следующие методы: методы исследования функций классического анализа; методы, основанные на использовании неопределенных множителей Лагранжа; вариационное исчисление; динамическое программирование; принцип максимума; линейное программирование; нелинейное программирование.

В целях использования теории оптимизации для решения задачи построения рациональных технологических процессов обработки металлов, необходимо достоверно оценивать возможности различных методов оптимизации технологической системы, на основе которых можно провести анализ альтернативных вариантов и выявить наилучший, осуществить выбор параметров резания, которые используются для целей оптимизации.

Постановка задачи. Оптимизация операций механической обработки связана с определением режима работы (скорости резания v , величины подачи s), гарантирующего получение готовой детали требуемого качества при минимальной стоимости обработки. При увеличении значения этих параметров время обработки уменьшается и, следовательно, снижается ее стоимость, но при этом уменьшается стойкость режущего инструмента и возрастают затраты на инструмент.

В качестве критерия выбора оптимальных параметров v и s можно использовать минимум стоимости обработки, где целевая функция является полиномиальной. Такие задачи решаются методами геометрического программирования, основы которого были разработаны Зенером в 1961 г. За последующие годы методы получили значительное теоретическое развитие. Так, в обзоре [1] содержится подробное описание ряда различных оптимизационных моделей резания металлов, сопровождаемое соответствующими примерами.

В качестве иллюстрации рассмотрим задачу оптимизации параметров v и s по критерию минимальных затрат на обработку при обработке резцом [2].

Стоимость обработки в расчете на одну деталь за один проход резца определяется по формуле:

$$C = xT_l + \frac{x_l}{\lambda_{vs}} + (xT_d \frac{l}{\lambda_A} + \frac{y_l}{\lambda_A}) (1/v^{1/n} s^{1/n_1}), \quad (1)$$

где,

T_l – время установки, снятия и осмотра детали;

T_d – стойкость резца, мин;

l – расстояние, проходимое резцом при обработке за один оборот;

x – тарифная ставка с учетом накладных расходов;

$\lambda = 12/ld$, где d – средний диаметр заготовки;

A, n, n_1 – постоянные коэффициенты;

y – стоимость резца в расчете на режущую пластину.

При выборе диапазона изменения варьируемых параметров для них даются ограничения по скорости резания, подаче, по максимально допустимым усилиям резания $P_{z\ max}$ (мощности резания).

Последнее условие необходимо для ограничения величины отклонения резца от заданного положения и его влияния на точность обработки заготовки. В работе [3] ограничение на величину режущего усилия дается в виде следующего ограничения на величину подачи, учитывая, что усилие резания однозначно связано с подачей степенной зависимостью:

$$s \leq [(P_{z\ max}/c_t t^\psi)^{1/\varepsilon}], \quad (2)$$

где, c_t, ψ, ε – постоянные; t – глубина резания, также постоянная во время обработки.

Ограничения по области устойчивости обработки задаются в виде:

$$v^\delta s > \beta, \quad (3)$$

где, δ, β – заданные постоянные.

Анализ этой формулы показывает, что открытым остается вопрос последовательности выбора варьируемых параметров. Кроме того, формула не учитывает влияние на величину T_d других параметров, таких как: геометрические параметры инструмента, используемые СОЖ, глубина резания и др.

Другие модели геометрического моделирования, применяемые в машиностроении, описаны в работе [4].

Методы исследования. Для учета всех параметров необходимы дополнительные исследования по решению этой сложной технико-экономической задачи. Исследование может быть проведено на основе следующих методов:

1. Широко распространенным в настоящий момент экспериментальным методом определения режимов резания, основанным на проведении трудоемких и дорогостоящих стойкостных опытов с получением степенных формул для скорости резания и геометрических параметров инструмента;

2. Метод моделирования физических явлений в зоне резания.

Необходимо заметить, что для решения задач, связанных с математическим описанием явлений, протекающих в зоне резания, используется целый ряд коэффициентов, определяемых экспериментальным путем, что значительно снижает их ценность. Часто результаты экспериментов не совпадают с теоретическими данными.

Например, в работах [5-6] авторами указываются на большое различие результатов экспериментальных исследований с теоретическими, полученными с использованием теории пластичности.

Обсуждение результатов. Анализ операций механической обработки показывает [7], что только для менее 30% режущего инструмента выбирается правильная геометрия, для 48% операций – рациональный режим. Это является результатом того, что применяемые математические модели резания [8] не в полной мере правильно описывают процессы.

Повышение эффективности экспериментальных исследований может быть достигнуто путем использования математических методов планирования экспериментов [9], позволяющих:

- минимизировать общее число опытов;
- применять математический аппарат, формализующий многие действия экспериментатора;

- выбирать четкие, логически обоснованные процедуры, последовательно выполняемые экспериментатором;
- одновременно варьировать различные параметры и оптимально использовать факторное пространство;
- обеспечивать выполнение большинства исходных предпосылок регрессионного анализа;
- получать математическую модель, обладающую лучшими свойствами по сравнению со свойствами моделей, полученных в результате пассивного эксперимента;
- рандомизировать условия опытов, т. е. перевести многочисленные дестабилизирующие факторы в разряд случайных величин;
- оценивать элемент неопределенности, связанный с экспериментом, что дает возможность сопоставлять результаты, получаемые разными исследователями.

После реализации полного факторного эксперимента получается модель вида:

$$\gamma = \sum b_1 \alpha_2 \beta \dots K_\omega \cdot X_1^\alpha X_2^\beta \dots X_k^\omega, \quad (4)$$
$$0 \leq \alpha \leq (S - 1)$$
$$0 \leq \beta \leq (S - 1)$$
$$0 \leq \omega \leq (S - 1)$$

где, k – число факторов; S – число уровней варьирования факторов; индексы $\alpha, \beta \dots \omega$ у номера фактора означают $\alpha, \beta \dots \omega$ раз по $1, 2 \dots k$.

В этой модели члены $X_i, X_i^2, X_i^3 \dots$ и коэффициенты при них называют главными эффектами, остальные – эффектами взаимодействий.

Для того чтобы использовать математические результаты и методы теории оптимизации для решения конкретных инженерных задач, необходимо установить границы подлежащей оптимизации инженерной системы, определить количественный критерий, на основе которых можно произвести выбор внутрисистемных переменных, которые используются для определения характеристик и идентификации вариантов, и, наконец, построить модель, отражающую взаимосвязи между переменными.

Одной из проблем является определение факторных признаков, включаемых в модель [10]. Их число должно быть оптимальным. Из практики следует, что число факторных признаков должно быть в 5-6 раз меньше объема изучаемой совокупности.

Анализ работ, посвященных этому вопросу, показывает, что в большинстве случаев в качестве количественного критерия по выбору геометрических параметров инструмента принимают его стойкость.

Зависимость периода стойкости от геометрических параметров инструмента имеет экстремальный характер, а максимум периода стойкости и соответствующая ему величина одного из параметров зависят от значений других геометрических параметров, причем значение оптимального заднего угла для различных величин передних углов также различно.

Применение однофакторного эксперимента для нахождения оптимального значения какого-либо из геометрических параметров в этом случае связано с очень большим числом опытов, так как зависимость периода стойкости от одного параметра нужно повторять столько раз, сколько имеется других геометрических параметров, влияющих на стойкость. Кроме того, в рассматриваемом примере для каждого значения переднего угла связь между величиной заднего угла и периодом стойкости будет выражаться отдельной зависимостью. Для решения подобных задач целесообразнее применять методы планирования эксперимента.

Изучение процессов механической обработки металлов осевым инструментом методами теории подобия позволило подтвердить факт существования оптимальных температур резания для данных методов лезвийной обработки [11]. Экспериментально установлено, что оптимальные значения температур резания соответствуют минимальному значению силы резания (крутящего момента) при увеличении скорости и постоянстве глубины резания и подачи.

Оптимальное резание характеризуется максимальной размерной стойкостью осевого инструмента, а также минимальными значениями высоты неровностей, глубины и степени накле-

па поверхностного слоя отверстия. Поэтому в качестве параметра оптимизации можно использовать температуру резания.

Для ускорения и удешевления в качестве параметра оптимизации целесообразно использовать силы резания. Силы резания в основном определяются толщиной срезаемого слоя, интенсивностью напряженно-деформированного состояния и коэффициентом трения [12].

Экспериментально их измерение затруднительно. Их можно измерять косвенным способом через «измеряемые» параметры. Такими «измеряемыми» параметрами могут служить углы: заборного конуса (для метчиков); при вершине инструмента (для осевого инструмента); главный угол в плане (для резцов) φ , а также передний угол γ и задний угол α заточки зубьев.

Дело в том, что при обычном, принятом в исследованиях подходе к изучению силовых зависимостей, изменяя какой-либо фактор можно без особых проблем проводить измерения сил резания. Но в этом случае мы не можем дать гарантии, что в иных условиях эксперимента это влияние окажется таким же, так как неизвестны корреляционные связи при одновременном действии различных факторов [13].

Изучение корреляционных зависимостей основывается на исследовании таких связей между факторами, при которых значения силы резания, принятой за зависимую переменную, в среднем изменяются в зависимости от того, какие значения принимают факторы, рассматриваемые как причина по отношению к зависимой переменной, то есть силы резания. Исключить при эксперименте ни один из факторов нельзя.

В лучшем случае можно некоторые из них сделать постоянными. Однако ценность таких экспериментальных данных сразу значительно снижается, так как это постоянство «не фиксированное», а, следовательно, оно не может быть перенесено в другие условия, на другой станок, на другую деталь. Поэтому результаты часто практикующих исследований влияния одного из параметров процесса резания при постоянстве других на силы являются лишь приближенными.

Первичными факторами можно принять углы φ , α , γ . Это объясняется тем, что при этом в процессе проведения экспериментов появляется возможность достаточно точно задать не только геометрические параметры режущего лезвия, но и такие параметры процесса резания, как толщина или ширина среза. В случае нарезания резьбы метчиками угол заборного конуса метчика φ однозначно связан с толщиной среза a формулой (5): [14]

$$a = \frac{p}{z} \sin \varphi, \quad (5)$$

где, p – шаг резьбы; z – количество перьев метчика.

В случае обработки отверстий сверлами, зенкерами, развертками ширина среза b

$$b = \frac{s}{\sin \varphi},$$

где, s – подача; φ – угол при вершине инструмента.

В случае обработки резцами ширина среза b

$$b = \frac{s}{\cos \varphi},$$

где, s – подача; φ – главный угол в плане.

Каждый выбранный фактор имеет область своего определения. Границы этой области могут задаваться либо принципиальными ограничениями, которые не могут быть нарушены ни при каких обстоятельствах (выкрошивание режущей кромки при обработке уже первого отверстия), либо технико-экономическими соображениями, либо условиями в каждом конкретном случае.

После выбора области определения находим локальную область для проведения эксперимента. Выбор области эксперимента – плохо формализованная задача, хотя некоторые рекомендации здесь существуют. Обычно ее решают в каждом конкретном случае исходя из содержательного смысла задачи. Эта процедура включает выбор уровней варьирования факторов.

В общем случае уровней может быть любое число, расстояние между ними может быть одинаковым или нет. Число уровней определяется конкретной постановкой задачи, видом фактора, предполагаемой сложностью изучаемого объекта.

На рис. 1 приведена блок-схема программы проведения многофакторного эксперимента [15].



Рис.1. Блок-схема программы

Fig.1. Block diagram of the program

После реализации полного трехфакторного эксперимента по плану $4 \times 3 \times 3$ нами получены полиномиальные модели влияния углов φ , α , γ на крутящий момент при нарезании внутренних резьб метчиками в сталях с различными коэффициентами обрабатываемости: сталь 50, коррозионно-стойкая сталь аустенитного класса 12X18H10T, высокопрочная жаропрочная сталь ДИ-8. Число уровней варьирования факторов углов φ , α , γ равнялось 4, 3, 3, соответственно.

По критерию минимума сил резания при обработке получены оптимальные значения геометрических параметров инструмента. Так, например, при обработке внутренней резьбы М10 в

заготовках из стали 12Х18Н10Т оптимальными являются: $\varphi = 9^\circ$, $\alpha = 7-12^\circ$, $\gamma = 4$. Производственные испытания показали высокую стойкость инструмента с оптимальными геометрическими параметрами [14]. Это позволяет рекомендовать широкое использование методов планирования экспериментов в оптимизационных задачах теории резания металлов.

Вывод. Результаты проведенного исследования позволяют сформулировать следующее:

1. Применяемые оптимизационные модели резания не совершенны с точки зрения количества учитываемых факторов.
2. В оптимизационных задачах теории резания металлов при выборе геометрии инструмента целесообразно использовать методы многофакторного планирования экспериментов, а в качестве параметра оптимизации использовать силы резания.
3. Совместное использование методов геометрического программирования и методов планирования экспериментов для оптимизации параметров резания значительно повышает эффективность технологических процессов обработки металлов.

Библиографический список:

1. Philipson R.M. Application of Mathematical Programming in Metal Cutting. Math. Programming Study. 1979; 19:116-134.
2. Armarego E.J.A., Brown R.M. The machining of Metals. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1969.
3. Reklaitis G.W., Ravindran A., Ragsdell K.M. Engineering Optimization Methods and Applications. NY: Wiley Interscience Publication; 1983.
4. Philips D.T., Beighler C.S. Optimization in Tool Engineering Using Geometric Programming. Amer. Inst. Ind. Eng. Trans. 1970; 2:355- 360.
5. Hill R. The mechanics of machining: a new approach. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 1954; 3:47-53.
6. Astakhov V.P. On the inadequacy of the single-shear plane model of chip formation. International Journal of Mechanical Science. 2005; 47:1649-1672.
7. Astakhov, V.P. Geometry of single-point turning tools and drills. Fundamentals and practical applications. London: Springer; 2010.
8. Shaw M.C. Metal cutting principles. 2nd Ed. Oxford: Oxford University Press; 2004.
9. Новик Ф С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я. Б. Арсов. М.: Машиностроение. 1972. 200 с.
10. Гусейнов Р.В. Использование методов оптимизации для анализа и обработки информации/М.Р.Ахмедова, Р.В.Гусейнов//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. Т.41.№ 2. С. 17–21.
11. Баранов А.В. Аналитический метод оптимизации режимов резания при обработке отверстий осевым инструментом: автореф. дис ... д-ра техн. наук. Рыбинск, 2000.- 16 с.
12. Гусейнов Р.В. Интенсификация технологических процессов обработки труднообрабатываемых материалов путем управления динамическими параметрами системы: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1998. 32 с.
13. Гусейнов Р.В. Исследование влияния геометрии инструмента на крутящий момент при нарезании внутренних поверхностей методом планирования экспериментов/Р.В. Гусейнов, М.Р. Рустамова//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011. № 21. С.83–87.
14. Гусейнов Р.В. Математическое моделирование процесса резания коррозионно-стойких сталей/Р.В. Гусейнов//Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2015. № 4. С.65–70.
15. Гусейнов Р.В. Обоснование базы данных для исследования динамических процессов при резании/М.Р. Гусейнова, Р.В. Гусейнов//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2014. Т.35.№ 4. С. 36–44.

References:

1. Philipson R.M. Application of Mathematical Programming in Metal Cutting. Math. Programming Study. 1979; 19:116-134.
2. Armarego E.J.A., Brown R.M. The machining of Metals. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1969.
3. Reklaitis G.W., Ravindran A., Ragsdell K.M. Engineering Optimization Methods and Applications. NY: Wiley Interscience Publication; 1983.
4. Philips D.T., Beighler C.S. Optimization in Tool Engineering Using Geometric Programming. Amer. Inst. Ind. Eng. Trans. 1970; 2:355- 360.
5. Hill R. The mechanics of machining: a new approach. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 1954; 3:47-53.
6. Astakhov V.P. On the inadequacy of the single-shear plane model of chip formation. International Journal of Mechanical Science. 2005; 47:1649-1672.
7. Astakhov, V.P. Geometry of single-point turning tools and drills. Fundamentals and practical applications. London: Springer; 2010.
8. Shaw M.C. Metal cutting principles. 2nd Ed. Oxford: Oxford University Press; 2004.
9. Novik F.S., Arsov Ya.B. Optimizatsiya protsessov tekhnologii metallov metodami planirovaniya eksperimentov. 1972. 200 s. [Novik F.S., Arsov Ya.B. Optimisation of the processes of metal technology by the experiment planning methods. 1972. 200 p. (In Russ.)]
10. Akhmedova M.R., Guseynov R.V. Ispol'zovanie metodov optimizatsii dlya analiza i obrabotki informatsii. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskies nauki. 2016; 41:17–21. [Akhmedova M.R., Guseynov R.V. Use of optimisation methods for analysis and information processing. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 41:17-21. (In Russ.)]
11. Baranov A.V. Analiticheskii metod optimizatsii rezhimov rezaniya pri obrabotke otverstii osevyim instrumentom. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni dokt. tekhn. nauk. Rybinsk; 2000. [Baranov A.V. Analytical method of cutting mode optimisation while machining holes with an axial tool. Published summary of Doctor of Technical Sciences thesis. Rybinsk; 2000. (In Russ.)]
12. Guseynov R.V. Intensifikatsiya tekhnologicheskikh protsessov obrabotki trudnoobrabatyvaemykh materialov putem upravleniya dinamicheskimi parametrami sistemy. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni dokt. tekhn. nauk. Sankt-Peterburg; 1998. [Guseynov R.V. Intensification of technological processing of the hardly processed materials by the management of system's dynamic parameters. Published summary of Doctor of Technical Sciences thesis. St. Petersburg; 1998. (In Russ.)]
13. Guseynov R.V., Rustamova M.R. Issledovanie vliyaniya geometrii instrumenta na krutyashchii moment pri narezanii vnutrennikh poverkhnostei metodom planirovaniya eksperimentov. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskies nauki. 2011; 21:83–87. [Guseynov R.V., Rustamova M.R. Investigation of the influence of the tool geometry on the torque while cutting internal surfaces by the method of experiment planning. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2011; 21:83-87. (In Russ.)]
14. Guseynov R.V. Matematicheskoe modelirovanie protsessa rezaniya korrozionno-stoikikh stalei. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2015; 4: 65–70. [Guseynov R.V. Mathematical modeling of cutting process of corrosion-resistant steels. Vestnik Of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering And Technologies. 2015; 4: 65–70. (In Russ.)]
15. Guseynova M.R., Guseynov R.V. Obosnovanie bazy dannykh dlya issledovaniya dinamicheskikh protsessov pri rezanii. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskies nauki. 2014; 35:36–44. [Guseynova M.R., Guseynov R.V. Justification of the database for the study of dynamic processes during cutting. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2014; 35:36–44. (In Russ.)]

Сведения об авторах.

Гусейнов Расул Вагидович – доктор технических наук, профессор кафедры технических комплексов и САПР.

Султанова Людмила Магомедовна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры организации и безопасности движения.

Information about the authors.

Rasul V. Guseynov – Dr. Sc. (Technical), Prof., Department of technical systems and CAD.

Liudmila M. Sultanova – Cand. Sc.(Technical), Senior lecturer.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 30.12.2016.

Received 30.12.2016.

Принята в печать 29.01.2017.

Accepted for publication 29.01.2017.

Для цитирования: Кленова И.А., Рудиков Д.А., Холодова С.Н. Нормирование точности привода металлорежущих станков. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):17-25. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-17-25

For citation: Klenova I.A., Rudikov D.A., Kholodova S.N. Normalisation of the drive precision of metal-cutting machines. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):17-25. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-17-25

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК: 621.9.06:519.876

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-17-25

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИВОДА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Кленова И.А.¹, Рудиков Д.А.², Холодова С.Н.³

^{1,2} Ростовский государственный университет путей сообщения,
344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного
Ополчения, д.2,

³ Донской государственный технический университет,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д.1,
e-mail: ¹⁻²d-studio@mail.ru, ³holls9@mail.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является создание методики проектного расчета привода главного движения металлорежущих станков, позволяющей снизить погрешность реализации ряда предпочтительных чисел. **Методы.** Точность установленных режимов является определяющим фактором, от которого зависит эффективность обработки резанием. Определить и оценить погрешность привода металлорежущего станка предложено тремя методами: непосредственным измерением частот ряда, расчетами по уравнениям кинематического баланса и суммированием отдельных составляющих. Проверку точности ряда, реализуемого приводом станка, рекомендуется проводить на станке, работающем без нагрузки. **Результаты.** Разработанная методика создает возможность на стадии проектирования с достаточно высокой точностью рассчитать и оценить погрешность реализуемого приводом металлорежущего станка ряда путем замера фактических частот вращения шпинделя, кинематического расчета и суммирования составляющих общей погрешности.

Представленный комплекс способствует выявлению роли погрешности округления предпочтительных чисел в формировании общей относительной погрешности и дает возможности ее снижения. **Вывод.** Использование предложенной методики расширяет научную базу для разработки алгоритмов и программ, облегчающих подбор чисел зубьев для множительных групп, структур и гарантирующих высокую точность реализуемого ряда.

Ключевые слова: точность станка, погрешность привода, кинематический баланс, предпочтительно число, знаменатель ряда

PHYSICAL-MATEMATICALSCIENCE MECHANICS

NORMALISATION OF THE DRIVE PRECISION OF METAL-CUTTING MACHINES

Klenova I.A.¹, Rudikov D.A.², Kholodova S.N.³

^{1,2} Rostov State Transport University (RSTU)
2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya sq.,
Rostov-on-Don 344038, Russia

³Don State Technical University (DSTU)
1, Gagarin sq., 344000 Rostov-on-Don, Russia
e-mail: ¹⁻²d-studio@mail.ru, ³holls9@mail.ru

Abstract. Objectives The purpose of the study is to create a methodology for computing the design of the primary drive mechanism of metal cutting machines, making it possible to reduce error when realising a set of preferred output criteria. **Methods** The accuracy of established modes of operation is a key determinant on which the efficiency of cutting operations depends. In order to determine and evaluate drive errors in metal-cutting machines, three methods were proposed: direct measurement of the frequencies of the series, calculations using kinematic balance equations and summation of individual components. It is recommended that an unloaded machine be used to check the accuracy of the series gained by the machine's drive. **Results** By measuring the actual spindle rotation frequencies and kinematic calculation – as well as summing the components of the total error – the developed methodology makes it possible to calculate and estimate the error of a series gained by the drive of a metal-cutting machine at the design stage with a sufficiently high accuracy. The presented complex helps to reveal the role of the rounding error of the output criteria in the formation of the general relative error and provides a basis for its possible reduction. **Conclusion** The use of the proposed methodology expands the scientific basis for the development of algorithms and programs facilitating the selection of the optimal number of gear teeth for multiplying groups and structures and guaranteeing high accuracy of the gained series.

Keywords: machine precision, drive error, kinematic balance, preferred numbers, series denominator

Введение. Отраслевой стандарт ОСТ 2 Н11-1-72 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел» в существующей на сегодняшний день редакции содержит в себе ряд недостатков, которые снижают его эффективность и вызывают трудности в его применении. Точность установленных режимов является определяющим фактором, от которого зависит эффективность обработки резанием [3]. Если режимы завышены, то, как следствие, снижается стойкость инструмента, что ведет к потерям за счет частой переналадки, переточки, а также за счет увеличения расхода инструментального материала. Если же режимы обработки резанием занижены, то это приведет к потерям за счет снижения производительности [4].

Постановка задачи. С целью устранения выявленных недостатков [1] с учетом предложения [2] по улучшению отраслевого стандарта была разработана новая его редакция, текст которой приводится в данной статье.

Методы исследования. В отрасли станкостроения погрешность реализуемого приводом ряда считается важным показателем качества [5], которая имеет строгие ограничения и показана к обязательной проверке при приемке и испытании станков.

На стадии проектирования привода металлорежущих станков рекомендуется придерживаться основных и выборочных рядов предпочтительных чисел по ГОСТ 8032-84 [6] учитывая следующие ограничения и дополнения: не рекомендовано применение дополнительных и приближенных рядов предпочтительных чисел; допускается в исключительных случаях использовать составные ряды, но лишь при условии, что больший знаменатель имеют составляющие на границах ряда (в начале и в конце), таким образом, в средней части ряда плотность чисел будет большей; дополнительно приведен уточненный ряд предпочтительных чисел с указанием его погрешности округления. В данном отраслевом стандарте описаны основные определения, методика расчета погрешности ряда, а также допускаемый диапазон отклонений погрешности.

Основной величиной, которая характеризует точность реализуемого приводом фактического ряда, является относительная погрешность, определяемая по формуле:

$$w_k = \frac{f_k - h_k}{g_k} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где, f_k – определенное по уравнению кинематического баланса или измеренное значение k -го члена фактического ряда; h_k – стандартное значение предпочтительного числа; g_k – расчетное значение предпочтительного числа (целая степень знаменателя исходной геометрической прогрессии).

При выполнении приближенных расчетов для определения относительной погрешности допустимо использовать формулу (2), в которой в знаменателе вместо расчетного значения предпочтительного числа g_k подставлено существующее предпочтительное число h_k :

$$w_k \approx w'_k = \frac{f_k - h_k}{h_k} \cdot 100\%, \quad (2)$$

Разность между наибольшим и наименьшим значениями относительной погрешности C является основным контролируемым параметром – поле рассеивания относительной погрешности:

$$C = w_{max} - w_{min} \leq C_d, \quad (3)$$

где, C_d – допускаемое значение поля рассеивания относительной погрешности.

Проверку точности реализуемого приводом станка ряда рекомендуется проводить на станке, работающем без нагрузки (холостой ход) [7].

Отклонение относительной погрешности по среднему должно быть близко к нулю:

$$-0,1\% \leq \frac{w_{max} + w_{min}}{2} \leq +0,1\%. \quad (4)$$

Для реализации сказанного необходимо рассчитывать передаточное отношение постоянного звена так, чтобы обеспечить симметричное расположение поля рассеивания между максимальным w_{max} и минимальным w_{min} отклонениями [8].

Величина полей рассеивания и их отклонений должна находиться в пределах значений, указанных в табл.1.

Таблица 1. Допуски на поля рассеивания и отклонения относительной погрешности
Table 1. Tolerances for scattering fields and deviations of the relative error

Уровень ограничения	Допускаемое поле рассеивания, C_d %, для класса точности станков.							
	нормальный		повышенный		точный		особо точный	
	поле	отклонение	поле	отклонение	поле	отклонение	поле	отклонение
1	5,2	±2,6	4,4	±2,2	3,6	±1,8	2,8	±1,4
2	4,6	±2,3	3,9	±1,95	3,2	±1,6	2,5	±1,25
3	4,0	±2,0	3,4	±1,7	2,8	±1,4	2,2	±1,1

При условии выполнения допуска на поле рассеивания (табл.1) с увеличением нагрузки асинхронного электродвигателя до номинальной, возможно уменьшение на 5% экстремальных отклонений относительной погрешности.

В случае бесступенчатого регулирования привода металлорежущего станка контроль относительной погрешности необходимо осуществлять по значениям ряда $R20$ и допускам на поля рассеивания (табл.1).

При проектировании точных и особо точных станков рекомендуется использование уточненного ряда $R40U$ (табл.2), который обладает меньшей погрешностью округления (табл.3), чем нормальный ряд.

Таблица 2. Предпочтительные числа уточненного ряда R40U
Table 2. Preferred numbers of the refined R40U series

1,00	1,33	1,78	2,37	3,16	4,22	5,60	7,50
1,06	1,41	1,89	2,50	3,35	4,45	5,95	7,95
1,12	1,50	2,00	2,65	3,55	4,75	6,30	8,40
1,19	1,59	2,12	2,81	3,75	5,00	6,70	8,90
1,26	1,68	2,24	3,00	4,00	5,30	7,05	9,45

Таблица 3. Погрешность округления уточненного ряда R40У
Table 3. Rounding error of the refined R40U series

-0,0002	0,2639	-0,0970	0,0577	-0,0718	-0,0722	0,4161	-0,0144
-0,0706	0,1794	-0,3374	0,4730	-0,0105	0,3767	0,1109	-0,0848
0,1797	-0,2518	-0,2377	0,4029	-0,0528	-0,3910	0,1515	0,1655
-0,1262	-0,3224	-0,3083	0,2972	-0,2226	0,2366	-0,2480	0,1401
-0,1077	-0,0714	-0,0574	-0,4899	-0,4757	0,1663	0,4158	-0,0998

Обсуждение результатов. Любой нормативный документ, регулирующий какой-либо критерий техники, включает в себя понятия и зависимости, общие норма и положения, а также методики расчета и рекомендации по их использованию.

Как было отмечено выше, действующая редакция отраслевого стандарта ОСТ 2 Н11-1-72 содержит ряд недостатков. Отсутствие формул и зависимостей для расчета точности реализуемого приводом металлорежущего станка ряда является одним из основных его недостатков. Вследствие этого у большинства металлорежущих станков фактический ряд частот в приводе главного движения не соответствовал требованиям отраслевого стандарта (присутствовало превышение норматива в несколько раз) [2].

Множительная структура - группа передач, объединенных в множительные группы, реализующая при постоянной входной частоте необходимый ряд частот на выходе. Характеризуется такая структура числом входящих в нее групп, порядком их чередования или количеством передач в этих группах. Множительная структура может представляться структурной формулой, структурной сеткой, а также графиком частот. Множительные структуры разделяются на *нормальные множительные структуры* – образованные последовательным соединением множительных групп, каждая из которых участвует в передаче движения и *сложные множительные структуры* – структуры в которых множительные группы могут исключаться из передачи движения на определенных ступенях.

Множительная группа – элементарный механизм, состоящий из двух валов и передачи между ними. Связь между валами может осуществляться несколькими передачами, переключение которых происходит с помощью какого-то устройства (подвижные блоки, муфты и т.п.). Множительная группа может характеризоваться числом передач, величиной передаточного отношения (одного) или характеристикой группы.

Характеристика множительной группы p – степень, в которую необходимо возвести знаменатель ряда, чтобы получить частное от деления большего передаточного отношения на соседнее меньшее:

$$\frac{i_2}{i_1} = \varphi^p; \quad i_2 = i_1 \varphi^p; \quad p = \frac{\lg i_2 - \lg i_1}{\lg \varphi}, \quad (5)$$

где, i_1 , – меньшее передаточное отношение в множительной группе, i_2 – соседнее большее передаточное отношение в множительной группе; φ – знаменатель ряда; p – характеристика множительной группы.

Характеристика передаточного отношения A – степень, в которую надо возвести знаменатель ряда, чтобы получить значение передаточного отношения:

$$i_1 = \varphi^A; \quad A = \frac{\lg i_1}{\lg \varphi}. \quad (6)$$

Если в формуле определения относительной погрешности ряда (1) в числитель добавить и вычесть расчетное значение предпочтительного числа g_k , а затем из полученного выражения выделить две дроби:

$$w = \frac{f_k - g_k + g_k - h_k}{g_k} \cdot 100\% = \frac{f_k - g_k}{g_k} \cdot 100\% + \frac{g_k - h_k}{g_k} \cdot 100\% = w_{II} + w_{OK}, \quad (7)$$

то видно, что общая относительная погрешность будет содержать в себе две составляющие – погрешность привода металлорежущего станка w_{II} и погрешность округления предпочтительного числа w_{OK} :

$$w_{II} = \frac{f_k - g_k}{g_k} \cdot 100\%; \quad w_{OK} = \frac{g_k - h_k}{g_k} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Например, дано предпочтительное число 170 (ряд R40), и необходимо рассчитать погрешность его округления. Определение степени t , в которую необходимо возвести знаменатель ряда φ , чтобы получить предпочтительное число 170:

$$\varphi = \sqrt[40]{10} = 1,0593; \quad \lg \varphi = \lg 1,0593 = 0,025; \quad \lg 170 = 2,2305$$

$$t = \frac{\lg 170}{\lg \varphi} = \frac{2,2305}{0,025} = 89,2 \approx 89.$$

Расчетное значение числа:

$$g_k = \varphi^t = 1,0593^{89} = 167,8804.$$

Погрешность округления предпочтительного числа:

$$w_{OK} = \frac{g_k - h_k}{g_k} \cdot 100\% = \frac{167,8804 - 170}{167,8804} \cdot 100\% = -1,2626\%$$

Если в знаменателе выражения (8) произвести замену g_k на h_k , то получим формулу, по которой традиционно определяется погрешность округления при кинематических расчетах и которую возможно использовать для приближенных расчетов:

$$w_{OK} = \frac{g_k - h_k}{h_k} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Погрешность привода w_{II} определяется по результатам измерений или по уравнениям кинематического баланса.

Рассчитаем погрешность привода для фактической частоты равной $f_k = 172 \text{ мин}^{-1}$ при стандартном значении 170 мин^{-1} .

По формуле (1) определяется общая погрешность:

$$w_k = \frac{f_k - h_k}{g_k} \cdot 100\% = \frac{172 - 170}{167,8804} \cdot 100\% = 1,1913\%.$$

Погрешность привода:

$$w_{II} = \frac{f_k - g_k}{g_k} \cdot 100\% = \frac{172 - 167,8804}{167,8804} \cdot 100\% = 2,4539\%,$$

оказывается больше общей, потому что при суммировании с отрицательной погрешностью округления ее величина уменьшается (компенсируется):

$$w = w_{II} + w_{OK} = 2,4539 - 1,2626 = 1,1913\%.$$

Следовательно, при суммации погрешностей привода и округления предпочтительного числа, общая погрешность может быть больше слагаемых (в случае суммирования величин одного знака) и меньше (в случае суммирования величин с разными знаками). Погрешность привода формируется в результате суммации входящих в ее состав погрешности множительной части w_V (изменяющуюся при переключении передач), и погрешности постоянной части w_p [9]:

$$w_{II} = w_V + w_p. \quad (10)$$

Погрешность множительной части в свою очередь есть сумма относительных погрешностей передаточных отношений w_{mj} кинематических пар, которые участвуют в передаче движения на данной ступени [10]:

$$w_V = \sum_{j=1}^{j=J} (w_{1j} + \dots + w_{mj} + \dots + w_{Mj}), \quad (11)$$

где, m, M – номер и количество множительных групп; j, J – номер и количество передач в группе.

Общее поле рассеивания погрешности C_V равно сумме полей рассеивания в группах:

$$C_V = C_1 + \dots + C_m + \dots + C_M; \quad C_V = w_{max} + w_{min}. \quad (12)$$

а общее среднее S_V равно сумме средних значений погрешности передаточных в множительных группах [11]:

$$S_V = S_1 + \dots + S_m + \dots + S_M; \quad S_V = \frac{w_{max} + w_{min}}{2}. \quad (13)$$

Постоянная составляющая общей погрешности считается неизменной для каждой ступени только в первом приближении [12]. На практике же с переключением скоростей меняется мощность холостого хода, а также нагрузка на электродвигатель и скольжение в нем. Погрешность постоянной части состоит из скольжения в электродвигателе $\delta_{ос}$ [13], погрешности постоянной передачи w_{pp} и компенсирующей добавки w_D (уравнивающей ее экстремальные отклонения по абсолютной величине):

$$w_p = \delta_{ос} + w_{pp} + w_D. \quad (14)$$

Уравнение кинематического баланса применяется для определения реализуемого приводом членов фактического ряда и представляет собой произведение частоты двигателя $f_{ос}$ и передаточных отношений постоянных звеньев и множительных групп:

$$f_k = f_{ос} \cdot i_{pp} \cdot i_{ij} \cdot \dots \cdot i_{mj} \cdot \dots \cdot i_{Mj}, \quad (15)$$

где, i_{pp} – передаточное отношение постоянного звена, $i_{ij} \cdot \dots \cdot i_{mj} \cdot \dots \cdot i_{Mj}$ – передаточные отношения в множительных группах (варьируемые величины).

Итоговая относительная погрешность ряда может быть определена не только как произведение, но и как сумма погрешностей сомножителей.

Суммарная погрешность w_s ряда, реализуемого приводом металлорежущего станка, может быть определена по формуле [14]:

$$w_s = \delta_{ос} + w_{pp} + w_D + \sum_{j=1}^{j=J} (w_{1j} + \dots + w_{mj} + \dots + w_{Mj}) + w_{OK}. \quad (16)$$

Последовательность при суммировании не важна. К ступени жестко привязаны лишь скольжение в асинхронном электродвигателе и погрешность округления предпочтительного числа, которые можно суммировать отдельно от других составляющих общей погрешности и на определенных этапах кинематического расчета использовать единым блоком.

В случае, когда известны числа зубьев всех зубчатых колес множительной структуры, а также числа зубьев постоянной пары, то для всех ступеней реализуемого приводом металлорежущего станка постоянными будут только значения w_{pp} и w_D .

Баланс погрешности представляет собой итоговую таблицу с числом строк равным числу реализуемых приводом ступеней [15]. Для каждой ступени в строке приводятся значения всех составляющих величин общей погрешности, а также другие величины, используемые в расчете. Таблицы 1-3 в компактной форме наглядно демонстрируют мельчайшие детали процесса образования погрешности в приводе металлорежущего станка; создает возможность анализа источников формирования погрешности и причины их образования, а также позволяет найти пути и мероприятия по снижению относительной погрешности. Помимо этого, итоговая таблица позволяет оценить надежность и качество используемых расчетных зависимостей и методик.

Вывод. Рассмотренный комплекс понятий и зависимостей создает возможность на стадии проектирования с достаточно высокой точностью рассчитать и оценить погрешность реализуемого приводом металлорежущего станка ряда путем замера фактических частот вращения шпинделя, путем кинематического расчета и путем суммирования составляющих общей погрешности. Помимо этого, данный комплекс способствует выявлению роли погрешности округления предпочтительных чисел в формировании общей относительной погрешности и дает возможности ее снижения.

Установлено, что составляющие общей погрешности могут взаимно друг друга компенсировать, чем открывают принципиальные возможности создания новых методов кинематического расчета приводов металлорежущих станков. Также возможно создание научной базы, разработки алгоритмов и программ для расчета на ЭВМ таблиц, облегчающих подбор чисел зубьев для множительных групп, структур и гарантирующих высокую точность реализуемого ряда.

Библиографический список:

1. Рудиков Д.А. Совершенствование методов кинематического расчета привода главного движения металлорежущих станков по критерию минимизации погрешности ряда: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, 2006.
2. Заверняев Б.Г. Предложения по совершенствованию системы нормирования точности привода металлорежущих станков: /Заверняев Б.Г., Щеглов М.В., Рыжкин А.А./ Стандартизация, сертификация, управление качеством продукции: теория и практика. Материалы Междунар. науч.-практ. конф., 25-27 сент., пгт. Партенит. – Киев, 2001.
3. CIRP Encyclopedia of Production Engineering. The International Academy for Production Engineering/Editors: Luc Laperrière, Gunther Reinhart. -Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. -1320 p.
4. Lee C.B., Lee S.K. Multi-degree-of-freedom motion error measurement in an ultraprecision machine using laser encoder: Review//Journal of Mechanical Science and Technology. -2013. - V. 1. -№ 27.-P. 141 -152.
5. Machine tool feed drives. Y. Altintas, A. Verl, C. Brecher et al.//CIRP Annals -Manufacturing Technology. -2011. -№ 62. -P. 779 -796.
6. ГОСТ 8032-84 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел».
7. Trends in research on metal-cutting machines. Bushuev V.V., Kuznetsov A.P., Sabirov F.S., Khomyakov V.S., Molodtsov V.V. Russian Engineering Research. 2016. Т. 36. № 6. С. 488-495.
8. Precision and efficiency of metal-cutting machines. Bushuev V.V., Kuznetsov A.P., Sabirov F.S., Khomyakov V.S., Molodtsov V.V. Russian Engineering Research. 2016. Т. 36. № 9. С. 762-773.
9. Рудиков Д.А. Оценочные математические модели для определения точности привода металлорежущих станков. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2011. №1(41). С.25-30.
10. Рудиков Д.А. Совершенствование кинематических расчетов коробок передач металлорежущих станков. Вестник Донского государственного технического университета. 2010. Т.10. №2(45). С. 224-228.
11. Заверняев Б.Г. Использование средних величин погрешности в кинематическом расчете коробок передач: /Заверняев Б.Г., Рудиков Д.А./ Актуальные проблемы конструкторско-технологического обеспечения машиностроительного производства: материалы Междунар. конф., 16 - 19 сент. - Волгоград, 2003.
12. Заверняев Б.Г. Элементы погрешности постоянной части множительной структуры: /Заверняев Б.Г., Курис Э.В., Рудиков Д.А./ Проектирование технологического оборудования: межвуз. сб. науч. тр. /ГОУ ДПО "ИУИ АП". - Ростов н/Д, 2003.

13. Рудиков Д.А. Математическая модель для анализа скольжения в электродвигателе и ременной передаче: /Рудиков Д.А., Тишина А.В./ Труды Междунар. науч.-практ. конф. «Транспорт 2015», 12-15 апр.2015, г. Ростов-на-Дону: Изд. РГУПС, Ростов н/Д, 2015
14. Рудиков Д.А. Анализ составляющих общей погрешности множительной структуры металлорежущего станка: /Рудиков Д.А., Тишина А.В./ Инновационные технологии в машиностроении и металлургии: сб. ст. Междунар. науч. - практ. конф. в рамках IXпром. конгр. Юга России, 11-13 сент. г. Ростов-на-Дону. – Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2013.
15. Заверняев Б.Г. Использование баланса составляющих погрешности для выявления роли постоянных звеньев: /Заверняев Б.Г., Курис Э.В., Рудиков Д.А./ Проектирование технологического оборудования: межвуз. сб. науч. тр. /ГОУ ДПО "ИУИ АП". - Ростов н/Д, 2002.

References:

1. Rudikov D.A. Sovershenstvovanie metodov kinemacheskogo rascheta privoda glavnogo dvizheniya metallozhushchikh stankov po kriteriyu minimizatsii pogreshnosti ryada. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni cand. tekhn. nauk. Rostov-on-Don; 2006. [Rudikov D.A. Improvement of the methods of kinematic calculation of the main motion drive of metal-cutting machine tools by the criterion of error minimization of the series. Published summary of PhD of Technical Sciences thesis. Rostov-on-Don; 2006. (In Russ.)]
2. Zavernyaev B.G., Shcheglov M.V., Ryzhkin A.A. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu sistemy normirovaniya tochnosti privoda metallozhushchikh stankov. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii "Standartizatsiya, sertifikatsiya, upravlenie kachestvom produktsii: teoriya i praktika". Kiev; 2001. [Zavernyaev B.G., Shcheglov M.V., Ryzhkin A.A. Proposals for improving the system for the normalization of the accuracy of the drive of metal-cutting machines. Proceedings of the International scientific-practical conference "Standardisation, certification, production quality management: theory and practice". Kiev; 2001. (in Russ.)]
3. CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2014.
4. Lee C.B., Lee S.K. Multi-degree-of-freedom motion error measurement in an ultraprecision machine using laser encoder: Review. Journal of Mechanical Science and Technology. 2013; 27:141-152.
5. Altintas Y., Verl A., Brecheret C. Machine tool feed drives. CIRP Annals -Manufacturing Technology. 2011; 62: 779 -796.
6. GOST 8032-84 "Predpochtitel'nye chisla i ryady predpochtitel'nykh chisel". [GOST 8032-84 "Preferred numbers and series of preferred numbers" (in Russ.)].
7. Bushuev V.V., Kuznetsov A.P., Sabirov F.S., Khomyakov V.S., Molodtsov V.V. Trends in research on metal-cutting machines. Russian Engineering Research. 2016; 36:488-495.
8. Bushuev V.V., Kuznetsov A.P., Sabirov F.S., Khomyakov V.S., Molodtsov V.V. Precision and efficiency of metal-cutting machines. Russian Engineering Research. 2016; 36:762-773.
9. Rudikov D.A. Otsenochnye matematicheskie modeli dlya opredeleniya tochnosti privoda metallozhushchikh stankov. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya. 2011; 41:25-30. [Rudikov D.A. Evaluation mathematical models for determining the drive precision of metal cutting machines. Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. 2011; 41:25-30. (in Russ.)]
10. Rudikov D.A. Sovershenstvovanie kinemacheskikh raschetov korobok peredach metallozhushchikh stankov. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010; 45: 224-228. [Rudikov D.A. Improvement of kinematic calculations of gearboxes of metal-cutting machine tools. Vestnik of DSTU. 2010; 45:224-228. (in Russ.)]
11. Zavernyaev B.G., Rudikov D.A. Ispol'zovanie srednikh velichin pogreshnosti v kinemacheskoy raschete korobok peredach. Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii "Aktual'nye problemy konstruktorsko-tekhnologicheskogo obespecheniya mashinostroitel'nogo proizvodstva". Volgograd; 2003. [Zavernyaev B.G., Rudikov D.A. Using average error values in the kinemat-

- ic calculation of gearboxes. Proceedings of the International conference “Relevant problems of design and technological support of machine-building production”. Volgograd; 2003. (in Russ.)]
12. Zavernyaev B.G., Kuris E.V., Rudikov D.A. Elementy pogreshnosti postoyannoi chasti mnozhitel'noi struktury. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov “Proektirovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya”. Rostov-on-Don; 2003. [Zavernyaev B.G., Kuris E.V., Rudikov D.A. Elements of error in the constant part of the multiplying structure. Interuniversity collection of scientific works “Design of technological equipment”. Rostov-on-Don; 2003. (in Russ.)]
 13. Rudikov D.A., Tishina A.V. Matematicheskaya model' dlya analiza skol'zheniya v elektrodvigatele i remennoi peredache. Trudy Mezhdunarodnoy naucno-practicheskoy konferentsii “Transport 2015”. Rostov-on-Don; 2015. [Rudikov D.A., Tishina A.V. Mathematical model for the analysis of sliding in the electric motor and belt transmission. Proceedings of the International scientific-practical conference “Transport 2015”. Rostov-on-Don; 2015. (in Russ.)]
 14. Rudikov D.A., Tishina A.V. Analiz sostavlyayushchikh obshchei pogreshnosti mnozhitel'noi struktury metallovezhushchego stanka. Sbornik statey Mezhdunarodnoy naucno-practicheskoy konferentsii v ramkakh IX Promyshlennogo kongressa Yuga Rossii “Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii i metallurgii”. Rostov-on-Don; 2013. [Rudikov D.A., Tishina A.V. Analysis of the general error components of the multiplying structure of the machine tool. Proceedings of the International scientific-practical conference within the IX Industrial Congress of the South of Russia “Innovative technologies in machine-building and metallurgy”. Rostov-on-Don; 2013. (in Russ.)]
 15. Zavernyaev B.G., Kuris E.V., Rudikov D.A. Ispol'zovanie balansa sostavlyayushchikh pogreshnosti dlya vyyavleniya roli postoyannykh zven'ev. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov “Proektirovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya”. Rostov-on-Don; 2002. [Zavernyaev B.G., Kuris E.V., Rudikov D.A. Using the balance of error components to identify the role of constant links. Interuniversity collection of scientific works “Design of technological equipment” Rostov-on-Don; 2002. (in Russ.)]

Сведения об авторах.

Кленова Ирина Анатольевна - кандидат биологических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности».

Рудиков Дмитрий Алексеевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности».

Холодова Светлана Николаевна - кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды».

Information about the authors.

Irina A. Klenova – Cand. Sc.(Biological), Department Life Safety, Assoc.Prof.

Dmitry A. Rudikov – Cand. Sc.(Technical), Department Life Safety, Assoc.Prof.

Svetlana N. Kholodova – Cand. Sc.(Technical), Department Life safety and environmental protection, Assoc.Prof.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 29.12.2016.

Received 29.12.2016.

Принята в печать 12.01.2017.

Accepted for publication 12.01.2017.

Для цитирования: Евдулов О.В., Евдулов Д.В., Набиев Н.А. Термоэлектрическое полупроводниковое устройство для остановки кровотечения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):26-36. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-26-36

For citation: Yevdulov D.V., Yevdulov O.V., Nabiyeu N.A. Thermoelectric semiconductor device for cautery of bleeding. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):26-36. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-26-36

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-26-36

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОСТАНОВКИ КРОВОТЕЧЕНИЯ

Евдулов О.В.¹, Евдулов Д.В.², Набиев Н.А.³

¹⁻³ Дагестанский государственный технический университет

367015, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70

e-mail: ¹ole-ole-ole@rambler.ru, ²79634051239@yandex.ru,

³alternativa9372@mail.ru

Резюме. Цель. Целью работы является изучение возможностей применения полупроводникового устройства для остановки кровотечения методом охлаждения. **Метод.** Исследование основано на методах приближенного моделирования процессов теплообмена. **Результат.** В работе рассмотрена конструкция устройства для остановки кровотечения, исполнительным элементом которой является термоэлектрическая батарея, работающая в режиме охлаждения в момент остановки кровотока, и в режиме нагрева при съеме устройства с поврежденного участка. Предложена модель устройства, реализованная на основе решения задачи о затвердевании вязкой жидкости методом Л.С. Лейбензона с учетом электро- и теплофизических характеристик источника холода - термоэлектрической батареи. В результате численного эксперимента получена зависимость продолжительности образования ледяной корочки на ткани толщиной 1 мм (соответствует остановке кровотечения) от величины тока питания термоэлектрической батареи. При увеличении тока питания продолжительность образования ледяной корки снижается и может составлять порядка 160 с при 5 А. Доказано, что подбор параметров термоэлектрической батареи и тока ее питания должен ориентироваться на медицинские нормы и стандарты во избежание процесса обморожения прилежащих в зоне кровотечения тканей.

Вывод. Термоэлектрическое устройство специальной конструкции является эффективным техническим средством для остановки кровотечения методом замораживания, обеспечивает высокую интенсивность охлаждения, сокращает продолжительность образования тромба, устраняет болезненные ощущения при съеме прибора с поврежденного участка.

Ключевые слова: термоэлектрическая система, термоэлектрический преобразователь, остановка кровотечения, охлаждение, замораживание, модель, численный эксперимент

TECHICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

THERMOELECTRIC SEMICONDUCTOR DEVICE FOR CAUTERY OF BLEEDING

Denis V. Yevdulov¹, Oleg V. Yevdulov², Nabi A. Nabiyev³

¹⁻³Dagestan State Technical University

70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia

e-mail: ¹ole-ole-ole@rambler.ru, 279634051239@yandex.ru,

³alternativa9372@mail.ru

Abstract. Objectives The aim of the work is to study the possibilities for using a semiconductor device to cauterise bleeding by means of cooling (cryocautery). **Method** The study is based on methods for approximate modeling of heat exchange processes. **Results** The construction of a device for cauterisation of bleeding, the actuating element of which consists of a thermoelectric battery operating in cooling mode at the time of blood flow cautery and in heating mode when removing the device from the damaged area, is considered. A model of a device, realised on the basis of the solution of the problem of solidification of a viscous liquid by the method of L.S. Leibenson, is proposed, taking into account the electro- and thermo-physical characteristics of the thermoelectric battery cold source. As a result of the numerical experiment, the dependence of the duration of the ice crust formation on tissues 1 mm thick (which corresponds to the cauterisation of bleeding) is obtained on the value of the supply current of the thermoelectric battery. With increasing current, the duration of the ice crust formation is reduced; this can be of the order of 160 s at 5 A. It was demonstrated that the selection of thermoelectric battery parameters and current should be guided by medical norms and standards in order to avoid frostbite in the tissues adjacent to the bleeding zone. **Conclusion** The special design of thermoelectric device provides an effective technical means for cauterising bleeding by freezing (cryocautery), providing high intensity of cooling, shortened thrombus formation duration, and eliminating painful sensations when removing the device from a damaged area.

Keywords: thermoelectric system, thermoelectric transducer, cauterisation of bleeding, cryocautery, modelling, numerical experiment

Введение. Одним из главных аспектов сохранения жизни и здоровья человека в чрезвычайной ситуации является оперативное и своевременное лечебное вмешательство, которое в большинстве случаев включает в себя остановку кровотечения, восполнение кровопотери, а также введение лекарственных препаратов и экстренное хирургическое вмешательство, включая трансплантацию. При этом особенно важным, а зачастую определяющим действием, является быстрая остановка кровотечения с использованием различных средств. Данное обстоятельство определяется тем фактом, что кровотечение представляет большую опасность жизни человека, так как связано с недостаточным кровоснабжением тканей, потерей крови, которое приводит к гипотензии (снижению артериального давления), затем гипоксии (кислородному голоданию), дыхательной и сосудистой недостаточности и даже к летальному исходу. Следует отметить, что к летальному исходу может привести даже сравнительно небольшая кровопотеря в пределах 15-20 %. Поэтому адекватная своевременная остановка кровотечения дает возможность во многих случаях спасти жизнь человека, предотвращая развитие травматического шока, во многом облегчая последующее выздоровление.

В настоящее время методы остановки кровотечения делятся на четыре основные группы: механические, химические, биологические и термические [1]. При обширных ранениях и сильных кровотечениях одновременно или последовательно применяются несколько методов из перечисленных в различных комбинациях. В полевых условиях наиболее простым способом устранения кровопотери является механический (наложение жгута, повязок, тампонов и т.п.) [2]. Другим методом остановки крови является химический или биологический (использование

лекарственных средств, например таких, как криопреципитат, дицинон, кальция глюконат, викасол, протамина сульфат и др.) [3]. Однако, в первом случае, может наблюдаться низкая эффективность остановки крови, связанная, например, с плохой свертываемостью, во втором – с недоступностью соответствующих лекарственных препаратов. В этой связи актуально использование новых методов остановки кровопотерь [4-6], к которым также относится термический метод, основанный на локальном охлаждении зоны кровотечения [7]. Эффект от местного применения холода состоит в вызываемом спазме сосудов, что приводит к снижению объемного кровотока по поврежденному сосуду и тем самым, способствует фиксации тромбов в месте повреждения. Практически при любом виде травм в практике оказания первой помощи в этом случае применяется пузырь со льдом [8]. При желудочном кровотечении желудок промывают холодной водой [9]. Несмотря на то, что перечисленные методы достаточно эффективны, их главными недостатками являются сложность использования в полевых условиях, где сказывается отсутствие постоянного источника холода, дискомфортность процедуры остановки кровотечения, риск обморожения тканей.

В этих условиях актуальным является разработка и исследование новых технических средств, позволяющих реализовывать с высокой эффективностью рассмотренный метод остановки кровотечения, основанный на локальном замораживании области кровопотери. В качестве таких технических средств перспективным представляется использование приборов и устройств, исполнительным элементом в которых являются термоэлектрические преобразователи энергии [10-11].

Постановка задачи. Целью исследования является изучение возможностей применения термоэлектрических преобразователей энергии для остановки кровотечения, описание конструкции устройства, реализованного на их основе, а также приближенное моделирование процессов теплообмена при остановке кровотечения с использованием данной конструкции

Методы исследования. Предлагаемая к рассмотрению конструкция устройства (рис.1-2) [12] состоит из термоэлектрической батареи (ТЭБ) 1, рабочей поверхностью 2 сопряженной с тепловыравнивающей пластиной 3. Поверхность 4 ТЭБ 1, противоположная рабочей 2, приведена в тепловой контакт с теплоъемной пластиной 5. Тепловыравнивающая 3 и теплоъемная 5 пластины, обладающие высокой теплопроводностью, связаны между собой креплениями 6 (например, в виде болтового соединения) так, чтобы тепловыравнивающая, теплоъемная пластины и ТЭБ образовывали жесткую конструкцию. Для устранения теплоперетоков между тепловыравнивающей 3 и теплоъемной 5 пластиной крепления 6 выполняются из материала с низким коэффициентом теплопередачи (например, пластмассы). На поверхность тепловыравнивающей пластины 3, контактирующей с объектом воздействия, с хорошим сцеплением нанесен тонкий слой эластичного материала 7 (например, силикона). Питание ТЭБ 1 производится управляемым источником электрической энергии 8. Для плотной фиксации устройства на поврежденном участке ткани используется фиксирующее приспособление 9, выполненное в виде двух полос из кожного или матерчатого материала, с одной стороны крепящихся по бокам тепловыравнивающей пластины 3, а с другой имеющие возможность осуществлять ременное соединение.

Перед эксплуатацией прибор тщательно дезинфицируется и затем поверхностью с нанесенным эластичным материалом 7 приводится в механический контакт с поврежденным участком ткани. С помощью фиксирующего приспособления 9 производится плотное прижатие устройства к пораженному участку. Далее посредством управляемого источника электрической энергии 8 на ТЭБ 1 подается постоянный электрический ток такой полярности, чтобы ее рабочая поверхность 2, и, следовательно, тепловыравнивающая пластина 3 и эластичный материал 7, охладились. Величина тока питания, а также продолжительность охлаждения определяются длительностью кристаллизации, затвердевания и остановки кровотока поврежденного участка. Излишек теплоты, выделяющейся на поверхности 4 ТЭБ 1, противоположной рабочей, отводится в окружающую среду посредством теплоъемной пластины 5. После остановки кровотечения на ТЭБ 1 от источника электрической энергии 8 подается краткий импульс тока противоположной полярности, что приводит к

непродолжительному нагреву тепловыравнивающей пластины 3 и эластичного материала 7 с целью снятия болезненных ощущений при сьеме устройства. Далее происходит непосредственно сьем прибора, после чего проводятся дальнейшие медицинские процедуры.

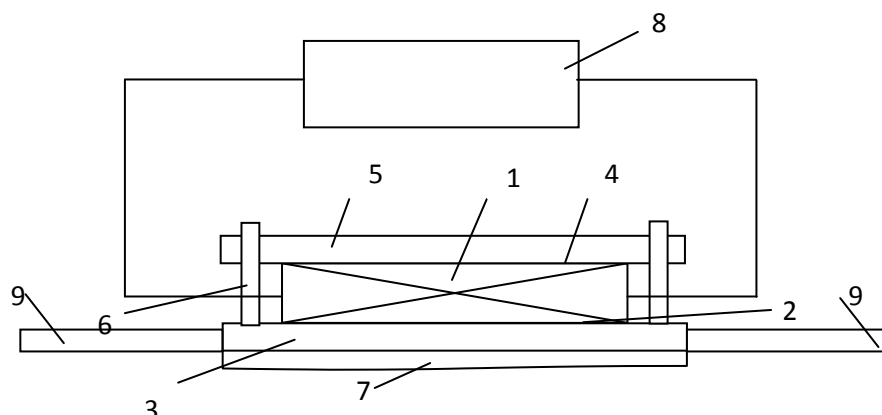


Рис.1. Схематическое изображение термоэлектрического устройства для остановки кровотечения
Fig.1. Schematic representation of a thermoelectric device for stopping bleeding



Рис.2. Объемная модель термоэлектрического устройства для остановки кровотечения
Fig.2. The volumetric model of a thermoelectric device for stopping bleeding

Использование ТЭБ при воздействии на место кровотечения дает возможность получить более высокую интенсивность охлаждения, тем самым сокращая продолжительность образования тромба, прекращающего кровоток, а применение реверса тока дает возможность устранить болезненные ощущения при сьеме прибора с поврежденного участка. При этом сокращение длительности охлаждения во многом сокращает риск обморожения близлежащих тканей.

Модель устройства для остановки кровотечения. На рис.3 изображена ТЭБ, приведенная в соприкосновение через тепловыравнивающую пластину с областью кровотечения. С точки зрения минимальной инерционности и большой тепловой активности необходимо, чтобы пластина была минимальной толщины, изготовленной из высокотеплопроводного металла.

Схематическая картина взаимодействия охлаждающего ТЭБ с тканью при остановки кровотечения следующая. При пропускании тока через ТЭБ достаточной величины на поверхности биологического объекта образуется тонкая корочка льда, обеспечивающая прочное соединение коммутационной пластины с тканью. С течением времени толщина корочки льда увеличивается, при этом граница раздела лед-жидкость движется внутрь ткани.

Температура границы раздела T_γ равна температуре замерзания ткани и остается постоянной. В то же время температура T_x на тепловыравнивающей пластине непрерывно понижается.

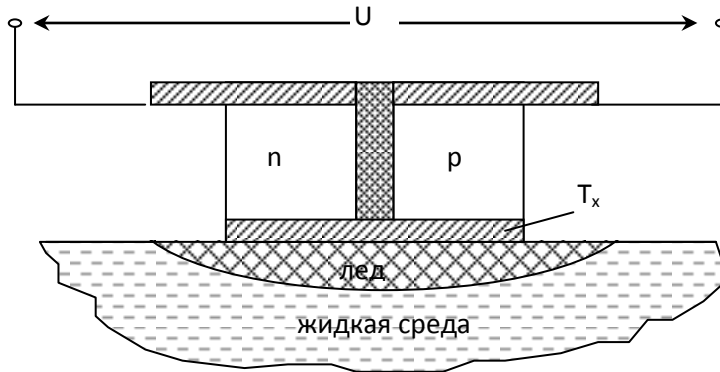


Рис.3. Охлаждающая термоэлектрическая батарея в рабочих условиях

Fig.3. Cooling thermoelectric battery in operating conditions

На рис.4 изображена эквивалентная схема данного процесса. Для упрощения математического анализа схема представлена в сферической системе координат. Основное достоинство такой системы – наличие единственной координаты r , хотя, в общем, задача является двумерной.

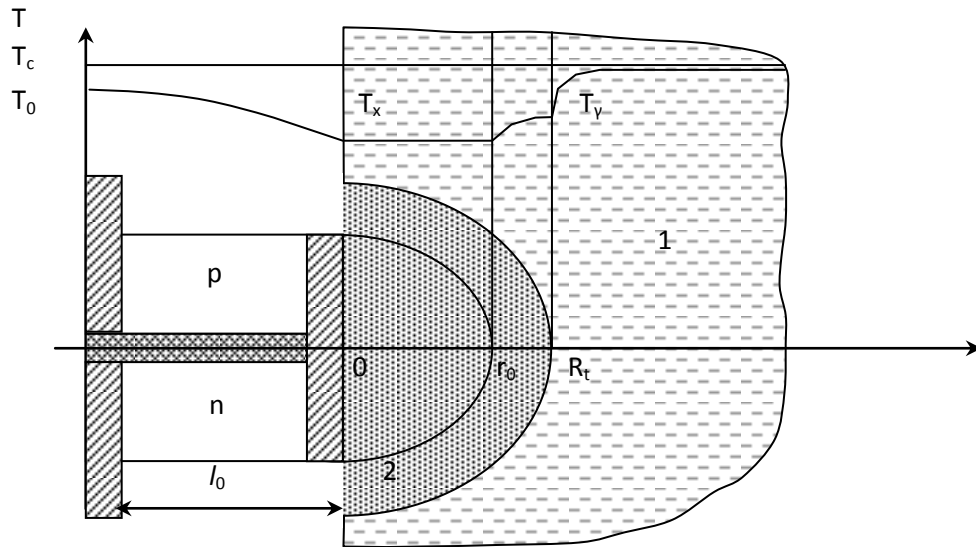


Рис.4. Термоэлектрическая батарея в рабочих условиях и температурное поле системы «ТЭБ - замораживаемая среда»

1-псевдожидкая фаза, 2-лед (твердая фаза), R_t - подвижная граница льда, r_0 - радиус тепловыравнивающей пластины

Fig.4. Thermoelectric battery under operating conditions and temperature field System «TEB - freezing environment»

1-pseudo-liquid phase, 2-ice (solid phase), R_t -mobile boundary of ice, R_0 is the radius of the heat-leveling plate

Расположим начало координат на границе плоской и полусферической частей тепловыравнивающей пластины по оси симметрии. Температурное поле тепловыравнивающей пластины равномерно вследствие высокой теплопроводности материала пластины. Поэтому перепад температур в сегменте $r \leq r_0$ будет отсутствовать.

Запишем уравнение нестационарной теплопроводности для твердой фазы (льда),

обозначив ее температуру $T_1(r, \tau) = T_1$:

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} = \frac{1}{a_1} \frac{\partial T_1}{\partial \tau}. \quad (1)$$

Для температуры T_1 координата r ограничена условием

$$r_0 \leq r \leq R_t,$$

где r_0 - радиус коммутационной пластины, R_t - подвижная координата границы раздела твердой и псевдожидкой фаз. Условия постоянства температуры на границе раздела фаз имеет вид

$$T_1(R_t, \tau) = T_\gamma = \text{const} \quad (2)$$

Температура псевдожидкой фазы T_2 не изменяется в течение рассматриваемого процесса, оставаясь примерно равной температуре человеческого тела T_c :

$$T_2(r, \tau)|_{r > R_t} = T_c = \text{const} \quad (3)$$

Граница твердой фазы ($r = R_t$) находится в контакте с вязкой жидкостью. При этом на границе происходит конвективный теплообмен с коэффициентом теплопередачи α_1 . На границе раздела фаз происходит процесс затвердевания жидкости, который характеризуется величиной v (теплотой замерзания единицы объема жидкости). Тепловой поток за счет теплопроводности в твердой фазе должен быть скомпенсирован на границе конвективным потоком со стороны жидкости и изменением теплоты перехода из жидкой фазы в твердую. Изменением теплоты перехода пропорционально скорости движения границы.

Уравнение теплового баланса на границе имеет вид:

$$k_1 \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_t} = \alpha_1 (T_c - T_\gamma) + v \frac{dR_t}{d\tau} \quad (4)$$

где k_1 - удельная теплопроводность твердой фазы, α_1 - коэффициент теплообмена между тканью и границей раздела фаз.

Теперь поставим задачу сопряжения системы с охлаждающей ТЭБ. Будем считать ТЭБ малоинерционной, что корректно в случае ее малой высоты h . Время выхода ТЭБ в квазистационарный режим t_0 приближенно определяется соотношением [13]:

$$t_0 \approx h^2 / a_0, \quad (5)$$

где a_0 - температуропроводность материала ТЭБ. При $h = 0,5$ мм и $a_0 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$, время выхода в стационарном режиме τ_0 будет равно 0,5 с.

При охлаждении объекта ТЭБ будет наблюдаться нестационарный режим, однако в интервалы времени, соизмеримые с τ_0 , режим работы самой ТЭБ можно считать квазистационарным. Это означает, что в рассматриваемые интервалы времени температурное поле самой ТЭБ может быть описано уравнениями стационарного процесса. Запишем их:

$$T_0 - T_x^m = \Delta T_m = \frac{1}{2} Z(T_x^m)^2, \quad (6)$$

$$T_0 - T_x^m = \Delta T_m = \frac{q_0 h}{k_0}, \quad (7)$$

где T_0 - температура горячих спаев ТЭБ, T_x - температура холодных спаев ТЭБ, T_x^m - минимальная температура холодных спаев при отсутствии тепловой нагрузки, q_0 - тепловая нагрузка на холодный спай. Из (6) и (2-7) следует:

$$q_0 = k_0 \frac{T_x - T_x^m}{h}. \quad (8)$$

Для сопряжения охлаждаемой системы с ТЭБ необходимо сначала найти уравнение температурного поля в твердой фазе, непосредственно граничащей с тепловыравнивающей пластиной. Это уравнение температурного поля должно быть определено при условии, что его правая граница ($r = R_t$) является подвижной.

Решение уравнения (1) при нелинейных граничных условиях может быть найдено приближенным методом Л.С. Лейбензона [14]. Суть этого метода заключается в том, что температурное поле принимается равным температурному полю стационарного состояния, описываемому соответствующим дифференциальным уравнением, а также граничными условиями. При этом параметр подвижной границы R_t считается функцией времени, подлежащей определению.

Найдем стационарное поле температур в твердой фазе из общего уравнения (1).

$$\frac{d^2 T_1}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dT_1}{dr} = 0, \quad (9)$$

решение которого имеет вид

$$T_1(r) = T_1 = C_1 + \frac{C_2}{r}, \quad (10)$$

где C_1 и C_2 - произвольные постоянные. Обозначим плотность поглощаемого теплового потока на сферической поверхности $r = r_0$ через q_1 :

$$q_1 = k_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=r_0}. \quad (11)$$

Подвижная граница имеет, как указывалось выше, постоянную температуру T_γ . Подставив (2) и (11) в (10), получим уравнение квазистационарного поля:

$$T_1(r) = T_\gamma - \frac{q_1 r_0^2}{k_1} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_t} \right). \quad (12)$$

Температурное поле является квазистационарным, так как параметр R_t зависит от времени.

Найдем связь между плотностями тепловых потоков q_0 и q_1 . Тепловой поток плотностью q_0 , поступающий на ТЭБ, проходит через сечение круга радиусом r_0 , а тепловой поток плотностью q_1 - через полусферическую поверхность того же радиуса. Поэтому

$$q_1 = \frac{1}{2} q_0. \quad (13)$$

Температура холодных спаев ТЭБ T_x может быть выражена через температуру T_1 . Учитывая (13), запишем:

$$T_x = T_1(r) \Big|_{r=r_0} = T_\gamma - \frac{1}{2} \frac{q_0 r_0}{k_1} \left(1 - \frac{r_0}{R_t} \right). \quad (14)$$

Подставив (14) в (8), найдем

$$q_0 = \frac{k_0}{h} (T_\gamma - T_x^m) \left[1 + \frac{1}{2} \frac{k_0 r_0}{k_1 h} \left(1 - \frac{r_0}{R_t} \right) \right]^{-1} \quad (15)$$

Преобразуем уравнение теплового баланса на границе раздела фаз (14) с учетом (11), (13) и (15) в виде:

$$\frac{d\tau}{d\phi} = -n \frac{(K+1)\phi^2 - K_\phi}{(K+1)\phi^2 - K_\phi - p}. \quad (16)$$

В выражении (16) применимы следующие обозначения величин:

$$\phi = R_t/r_0, \quad n = \nu r_0/\alpha_1(T_c - T_\gamma), \quad K = \frac{k_0 r_0}{2k_1 h}, \quad p = \frac{k_0}{2\alpha_1 h} \frac{T_\gamma - T_x^m}{T_c - T_\gamma}.$$

Полученное выражение (16) – уравнение с разделяющимися переменными. После разделения переменных и интегрирования с учетом начального условия, получим решение задачи в неявном виде:

$$\tau = n \int_1^\phi \left[\frac{p}{(K+1)x^2 - Kx - p} - 1 \right] dx. \quad (17)$$

Пределы интегрирования были определены из начального условия:

$$\phi \Big|_{t=0} = \frac{R_t}{r_0} \Big|_{t=0} = 1. \quad (18)$$

Интеграл в решении (17) является справочным. Определив его, окончательно имеем:

$$\tau = n \left\{ \frac{2p}{(K+1)N} \left[\operatorname{Arth} \frac{2\phi - \frac{K}{K+1}}{N} - \operatorname{Arth} \frac{2\phi - \frac{K+2}{K+1}}{N} \right] - (\phi - 1) \right\}, \quad (19)$$

где $N = \sqrt{\frac{4p}{K+1} + \left(\frac{K}{K+1}\right)^2}$.

Из анализа решения следует, что оно имеет действительные значения при аргументе $M < 1$:

$$M = \frac{2\phi - \frac{K}{K+1}}{N} \leq 1. \quad (20)$$

При нарушении неравенства (20) решение имеет комплексные корни, что лишено физического смысла.

Обсуждение результатов. На рис.5 приведены результаты расчетов. Расчеты произведены при следующих исходных данных:

$$\begin{aligned} T_x^m &= 260 \text{ К}, \quad r_0 = 0,0015 \text{ м}, & \nu &= 320 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-3}, \\ T_\gamma &= 273 \text{ К}, \quad k_0 = 0,13 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}, & \delta &= R_t - r_0 = 0,001 \text{ м}, \\ T_c &= 310 \text{ К}, \quad k_1 = 0,25 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}, & \phi &= 1,067. \\ h &= 0,002 \text{ м}, \quad \alpha_1 = 1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \end{aligned}$$

Рассмотрена зависимость продолжительности образования ледяной корочки на ткани толщиной 1 мм (что соответствует остановке кровотока) от величины тока питания ТЭБ. Согласно полученным данным с увеличением тока питания ТЭБ продолжительность образования ледяной корки и соответственно продолжительность остановки кровотока уменьшается. Увеличение тока питания с 2 до 5 А снижает время образования ледяной корки толщиной 1 мм с 240 до 162 с.

Данное обстоятельство вполне очевидно, так как увеличение тока питания ТЭБ приводит к повышению значения ее тепловой мощности. Однако здесь следует отметить некоторые ограничения по величине холодопроизводительности ТЭБ и температуры тепловыравнивающей пластины относительно продолжительности примораживания.

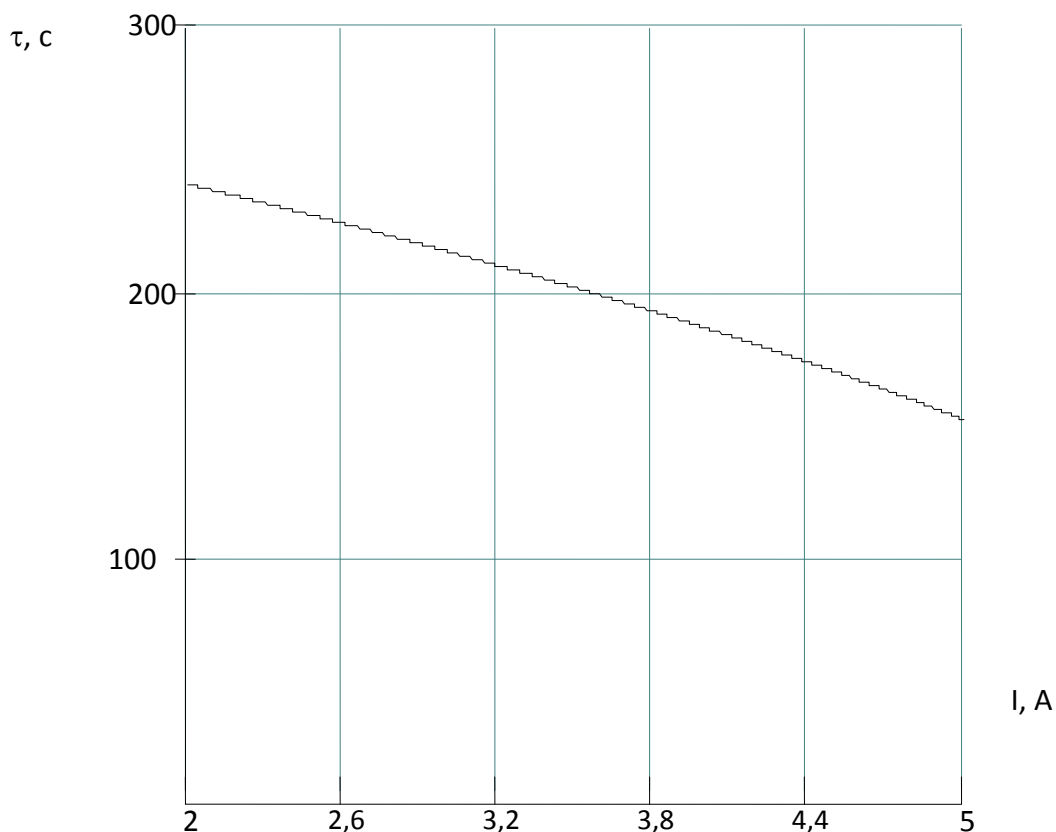


Рис.5. Зависимость продолжительности образования ледяной корочки на ткани биологического объекта толщиной 1 мм от величины тока питания термоэлектрической батареи
Fig.5. Dependence of the duration of the formation of an ice shroud on the tissues of a biological object 1 mm thick from the value of the current supply of a thermoelectric battery

Так, по медицинским стандартам [15] продолжительность охлаждения любой зоны человеческого организма до величины примерно при 265-267 К не должна превышать 5-6 мин. В этих условиях при подборе ТЭБ и тока ее питания следует ориентироваться на данные нормативы во избежание процесса обморожения прилежащих в зоне кровотока тканей.

Вывод. Проведенное исследование позволяет сформулировать следующий вывод:

1. В настоящее время в практике оказания первой медицинской помощи, связанной с остановкой кровотечения, эффективным является использование новых методов, основанных на локальном замораживании зоны кровотока.

2. Существующие технические средства, реализующие данный метод (пузырь со льдом, промывание холодной водой) имеют определенные недостатки: сложность использования в полевых условиях, где сказывается отсутствие постоянного источника холода, дискомфортность процедуры остановки кровотечения, риск обморожения тканей.

3. Эффективным техническим средством для остановки кровотечения методом замораживания является термоэлектрическое устройство специальной конструкции, дающее возможность обеспечивать высокую интенсивность охлаждения, сокращая продолжительность образования тромба, прекращающего кровоток, реверс тока, что дает возможность устранить болезненные ощущения при съеме прибора с поврежденного участка.

4. Разработана модель термоэлектрического устройства для остановки кровотечения, реализованная на основе решения задачи о затвердевании вязкой жидкости методом Л.С. Лейбензона с учетом электро- и теплофизических характеристик источника холода - ТЭБ.

5. В результате численного эксперимента получена зависимость продолжительности образования ледяной корочки на ткани толщиной 1 мм, что соответствует возможности

остановки кровотечения, от величины тока питания ТЭБ, согласно которой следует, что при увеличении тока питания продолжительность образования ледяной корки снижается и может составлять порядка 160 с при 5 А.

6. Указано, что подбор параметров ТЭБ и тока ее питания должен ориентироваться на медицинские нормы и стандарты во избежание процесса обморожения прилежащих в зоне кровотечения тканей.

Библиографический список:

1. Корнеев А. Первая медицинская помощь. Донецк: БАО. - 2013. - 240 с.
2. Первая медицинская помощь: Справочник / Под общ. ред. В. М. Баршая и Л. В. Димитровой. Ростов на Дону: Феникс. - 2001. - 346 с.
3. <http://fb.ru/article/165072/krovoostanavlivayuschie-preparaty-krovoostanavlivayuschie-preparaty-v-ginekologii>.
4. Сапин М. Р. Анатомия и физиология человека. М.: Просвещение. - 2000. – 256 с.
5. Столяров Е.А., Грачев Б.Д., Косов А.И., Батаков Е.А., Навасардян А.С. Остановка кровотечения. Острая кровопотеря. Переливание крови и ее компонентов.: Учебное пособие. Самара: СамГМУ. - 2005. - 157 с.
6. Воробьев А.И., Городецкий В.М., Шулутко Е.М., Васильев С.А. Острая массивная кровопотеря. М.: ГЭОТАР-Медиа. - 2001. - 172 с.
7. Глыбочко П.В., Николаенко В.Н. и др. Первая медицинская помощь: Учебник. Москва: Академия. - 2013. - 305 с.
8. Яромиш И.В. Скорая и неотложная медицинская помощь. Минск: Вышэйшая школа. - 2010. - 289 с.
9. Неотложная хирургия органов брюшной полости / Под ред. В.В. Леватовича. М.: ГЭОТАР-Медиа. - 2007. - 247 с.
10. Ssenoga Twaha, Jie Zhu, Yuying An, Bo Li. A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement // Renewable and sustainable energy reviews. - 2016. - vol. 65. - pp. 698-726.
11. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx // Journal of Thermoelectricity. - 2015. - № 2. - pp. 86-94.
12. Патент РФ на изобретение № 2594821 Термоэлектрическое устройство для остановки кровотечения / Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., опубл. 20.08.2016, Бюл. №23.
13. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. т.2. Термоэлектрические преобразователи энергии. Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества. - 2003. - 376 с.
14. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа. - 1967. - 600 с.
15. Левчук И.П., Третьяков Н.В. Медицина катастроф. - М.: ГЭОТАР-Медиа. -2011. - 246 с.

References:

1. Korneev A. Pervaya meditsinskaya pomoshch'. Donetsk: BAO; 2013. 240 s. [Korneev A. First Aid. Donetsk: BAO; 2013. 240 p. (in Russ.)]
2. Pervaya meditsinskaya pomoshch': Spravochnik. Pod obshch. red. V. M. Barshaya, L.V. Dimitrovoy. Rostov-on-Don: Feniks; 2001. 346 s. [First Aid: reference book. V. M. Barshay, L.V. Dimitrova (Eds). Rostov-on-Don: Feniks; 2001. 346 p. (in Russ.)]
3. <http://fb.ru/article/165072/krovoostanavlivayuschie-preparaty-krovoostanavlivayuschie-preparaty-v-ginekologii>.
4. Sapin M.R. Anatomiya i fiziologiya cheloveka. Moscow: Prosveshchenie; 2000. 256 s. [Sapin M.R. Anatomy and Physiology of a Human. Moscow: Prosveshchenie; 2000. 256 p. (in Russ.)]
5. Stolyarov E.A., Grachyov B.D., Kosov A.I., Batakov E.A., Navasardyan A.S. Ostanovka krvotekheniya. Ostraya krvopoterya. Perelivanie krovi i ee komponentov. Uchebnoe posobie. Samara: SSU; 2005. 157 s. [Stolyarov E.A., Grachyov B.D., Kosov A.I., Batakov

- E.A., Navasardyan A.S. Stopping bleeding. Massive blood loss. Transfusion of blood and its components. Tutorial. Samara: SSU; 2005. 157 p. (in Russ.)]
6. Vorob'ev A.I., Gorodetskiy V.M., Shulutko E.M., Vasil'ev S.A. Ostraya massivnaya krovopoterya. Moscow: GEOTAR-Media; 2001. 172 s. [Vorob'ev A.I., Gorodetskiy V.M., Shulutko E.M., Vasil'ev S.A. Severe massive bleeding. Moscow: GEOTAR-Media; 2001. 172 p. (in Russ.)]
 7. Glybochko P.V., Nikolaenko V.N. i dr. Pervaya meditsinskaya pomoshch': Uchebnik. Moscow: Alademiya; 2013. 305 s. [Glybochko P.V., Nikolaenko V.N. et al. First Aid: Tutorial. Moscow: Alademiya; 2013. 305 p. (in Russ.)]
 8. Yaromich I.V. Skoraya i neotlozhnaya meditsinskaya pomoshch'. Minsk: Vysheishaya shkola; 2010. 289 s. [Yaromich I.V. First Aid and emergency medical care. Minsk: Vysheishaya shkola; 2010. 289 p. (in Russ.)]
 9. Neotlozhnaya khirurgiya organov bryushnoi polosti. Pod. red. V.V. Levatovicha. Moscow: GEOTAR-Media; 2007. 247 s. [Emergency surgery of the abdominal cavity organs. V.V. Levatovich (Ed). Moscow: GEOTAR-Media; 2007. 247 p. (in Russ.)]
 10. Twaha S., Zhu J., An Y., Li B. A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement. Renewable and sustainable energy reviews. 2016; 65: 698-726.
 11. Yevdulov O.V., Ragimova T.A. Investigation of thermoelectric system for local freezing of tissues of the larynx. Journal of Thermoelectricity. 2015; 2:86-94.
 12. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Evdulov D.V. Termoelektricheskoe ustroystvo dlya ostanovki krovotecheniya. Patent RU № 2594821. Byul. №23. Opubl. 20.08.2016. [Ismailov T.A., Evdulov O.V., Evdulov D.V. Thermoelectric device for stopping bleeding. Patent RU № 2594821. Bull. №23. Publ. 20.08.2016. (In Russ.)].
 13. Anatyshchuk L.I. Termoelektrichestvo. T.2. Termoelektricheskie preobrazovateli energii. Kiev, Chernovtsy: Institut termoelektrichestva: 2003. 376 s. [Anatyshchuk L.I. Thermoelectricity. Vol.2. Thermoelectric power converters. Kiev, Chernovtsy: Institut termoelektrichestva: 2003. 376 p. (in Russ.)]
 14. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti. Moscow: Vysshaya shkola; 1967. 600 s. [Lykov A.V. Theory of heat conduction. Moscow: Vysshaya shkola; 1967. 600 p. (in Russ.)]
 15. Levchuk I.P., Tretyakov N.V. Meditsina katastrof. Moscow: GEOTAR-Media; 2011. 246 s. [Levchuk I.P., Tretyakov N.V. Conflict and Catastrophe Medicine. Moscow: GEOTAR-Media; 2011. 246 p. (in Russ.)]

Сведения об авторах.

Евдулов Денис Викторович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники.

Евдулов Олег Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники.

Набиев Наби Абдулаевич – аспирант.

Information about the authors.

Denis V. Yevdulov – Cand. Sc.(Technical), Department of Theoretical and General electrical engineering.

Oleg V.Yevdulov – Cand. Sc.(Technical), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering.

Nabi A. Nabiyev – graduate student.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 11.01.2017.

Принята в печать 25.01.2017.

Conflict of interest

Received 11.01.2017.

Accepted for publication 25.01.2017.

Для цитирования: *Макеев А.Н. Тепловые пункты систем теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (1): 37-47. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-37-47*

For citation: *Makeev A.N. Substations of district heating systems with pulse coolant circulation. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (1): 37-47. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-37-47*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 658.264

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-37-47

ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИМПУЛЬСНОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Макеев А.Н.

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,

430000, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68.

e-mail: tggi@rambler.ru

Резюме: *Цель.* Целью исследования является обобщение результатов применения технологий и средств организации импульсного движения теплоносителя в системе теплоснабжения для повышения ее энергетической эффективности на основе организации локальных гидравлических ударов с последующим использованием их энергии для обеспечения очищения теплоэнергетического оборудования, интенсификации процесса теплообмена, а также для реализации возможности трансформации располагаемого напора из одного гидравлического контура в другой. **Методы.** Аналитически обобщены тепловые пункты для подключения тепловых энергоустановок потребителей к тепловым сетям по зависимой и независимой схемам. Для устранения выявленных недостатков предложено использовать импульсную циркуляцию теплоносителя. **Результаты.** Приведены принципиальные схемы тепловых пунктов с импульсной циркуляцией теплоносителя для зависимого и независимого подключения тепловых энергоустановок. Дано подробное описание их работы. Показаны преимущества использования импульсной циркуляции теплоносителя в тепловых пунктах. Представлены материалы, отражающие результаты технического воплощения и практического внедрения данной технологии. **Вывод.** Теоретический анализ работы принципиальных схем тепловых пунктов с импульсной циркуляцией теплоносителя, результаты их практического применения, а также материалы научных работ, посвященных использованию энергии гидравлического удара и исследованию влияния импульсного движения теплоносителя на тепловые и гидродинамические процессы, позволили получить совокупность факторов, отражающих техническую и экономическую рациональность применения импульсной циркуляции теплоносителя.

Ключевые слова: *система теплоснабжения, источник теплоты, тепловая сеть, система теплопотребления, тепловая нагрузка, тепловой пункт, зависимая схема присоединения тепловой нагрузки, независимая схема присоединения тепловой нагрузки, импульсная циркуляция теплоносителя, интенсификация теплообмена, трансформация располагаемого напора*

TECHICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

SUBSTATIONS OF DISTRICT HEATING SYSTEMS WITH PULSE COOLANT CIRCULATION

Andrey N. Makeev

Ogarev Mordovia State University

68 I. Bolshevikskaya Str., Saransk 430000, Russia

e-mail: tggi@rambler.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to generalise the results of the application of technologies and means for organising pulse coolant flow within a district heating system in order to increase its energy efficiency based on the organisation of local hydraulic shocks and the subsequent use of their energy to ensure the purification of heat energy equipment, intensify the heat transfer process and realise the possibility of transforming the available head from one hydraulic circuit to another. **Methods** Substations connecting the thermal power installations of consumers with heat networks via dependent and independent schemes are analytically generalised. The use of pulse coolant circulation is proposed as a means of overcoming identified shortcomings. **Results** Principal schemes of substations with pulse coolant circulation for dependent and independent connection of thermal power installations are detailed. A detailed description of their operation is given. The advantages of using pulse coolant circulation in substations are shown. The materials reflecting the results of the technical implementation and practical introduction of this technology are presented. **Conclusion** Theoretical analysis of the operation of the basic schemes of substations with pulse coolant circulation and the results of their practical application, as well as the materials of scientific works devoted to the use of the energy of a hydraulic impact and the study of the effect of pulse coolant flow on thermal and hydrodynamic processes, have yielded a combination of factors reflecting technical and economic rationality of application of pulse coolant circulation.

Keywords: heat supply system, heat source, heat network, heat consumption system, heat load, heat point, dependent scheme of heat load connection, independent scheme of heat load connection, pulse coolant circulation, heat exchange intensification, transformation of available flow

Введение. В соответствии с Правилами эксплуатации теплотребляющих установок и тепловых сетей потребителей [1], тепловой пункт представляет собой комплекс устройств, состоящий из элементов тепловых энергоустановок, обеспечивающих их присоединение к тепловой сети, работоспособность, управление режимами теплотребления, трансформацию располагаемых напоров, регулирование параметров теплоносителя. Тепловые пункты бывают индивидуальными (если они обслуживают одно здание или его часть), а также центральными (при числе обслуживаемых зданий более одного). Данный комплекс устройств позволяет обеспечить возможность технологического присоединения тепловых энергоустановок потребителей к тепловой сети по зависимой и независимой схемам.

В первом случае система теплотребления может быть подключена к тепловой сети: непосредственно – при совпадении температурного и гидравлического режимов; через водоструйный элеватор – при необходимости понижения температуры теплоносителя у конечного потребителя и располагаемом напоре в тепловой сети, достаточном для работы элеватора; через смесительный насос – при необходимости понижения температуры теплоносителя у конечного потребителя и располагаемом напоре в тепловой сети, недостаточном для работы элеватора. Во втором случае используется два вида теплоносителей – греющий, который циркулирует в тепловой сети и нагреваемый, циркулирующий в гидравлическом контуре системы теплотребления, при этом процесс теплообмена между ними осуществляется при помощи теплообменника.

Используемые технические решения тепловых пунктов для зависимого присоединения

тепловых энергоустановок характеризуются следующими недостатками:

- низкая эффективность, а в некоторых случаях полное отсутствие возможности регулирования тепловой нагрузки со стороны потребителя (например, в случае установки дросселирующих шайб регулирование не возможно по причине того, они подлежат пломбированию; коэффициент смещения большинства применяемых элеваторов фиксирован его конструктивными параметрами и т.п.);
- необходимость поддержания на входе элеватора значительного располагаемого напора [2];
- затраты электроэнергии на привод смесительного насоса;
- гидравлическая и тепловая зависимости потребителей тепловой энергии между собой.

Недостатками применяемых технических решений тепловых пунктов для независимого присоединения тепловых энергоустановок потребителей являются их сложность и, соответственно, высокая начальная стоимость, а также большие эксплуатационные затраты. Последние обусловлены необходимостью поддержания технически исправного состояния теплообменника путем проведения его регулярных промывок, применением дополнительных циркуляционного, смесительного и корректирующего насосов. В некоторых случаях для уменьшения количества используемых насосов применяют напорные преобразователи [3], однако, эффективность их применения относительно не велика, особенно на фоне постоянно растущего гидравлического сопротивления теплообменника [4], обусловленного постепенным закупориванием его проходного сечения отложениями, содержащимися в теплоносителе.

Постановка задачи. Для устранения отмеченных недостатков в тепловых пунктах зависимого и независимого присоединения систем теплоснабжения к тепловой сети предлагается использовать технологию импульсной циркуляции теплоносителя [5]. Она заключается в организации локальных гидравлических ударов [6] с последующим использованием их энергии [7] для обеспечения очищения теплоэнергетического оборудования [8], интенсификации процесса теплообмена [9], а также для реализации возможности трансформации располагаемого напора из одного гидравлического контура в другой [10].

Методы исследования. Настоящая работа выполнялась на базе учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения» ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» и представляет собой собственное научное исследование, содержащее обобщение и разъяснение теоретических данных по теме эффективного использования технологий и средств организации импульсного движения теплоносителя в системе теплоснабжения. Для конкретизации рассматриваемых вопросов приводятся принципиальные схемы и подробное описание работы тепловых пунктов с импульсной циркуляцией теплоносителя для зависимого и независимого присоединения тепловых энергоустановок к тепловой сети. Приведенные технические решения подкреплены авторскими патентами Российской Федерации на изобретения и полезные модели.

Обсуждение результатов. Предлагаемый вариант теплового пункта с импульсной циркуляцией теплоносителя для подключения тепловой нагрузки к тепловым сетям по зависимой схеме приведен на рисунке 1.

Работает тепловой пункт следующим образом [11]. Высокотемпературный теплоноситель T_1 поступает по подающему трубопроводу 1 тепловой сети через входную задвижку 3, проходит грязевик 5, очищаясь от механических примесей, и регулятор давления 8, где стабилизируется до требуемого значения. Затем, минуя узел смешения в точке присоединения смесительного трубопровода 13, поступает в подающий трубопровод 9 системы теплоснабжения и через выходную задвижку 11 с температурой T_3 покидает тепловой пункт. От системы теплоснабжения (на схеме не показана) охлажденный теплоноситель T_2 через входную задвижку 12 обратного трубопровода 10, поступает в тепловой пункт, проходит последовательно установленные ударный узел 14 [12], регулятор давления 8, грязевик 5 и через выходную задвижку 4 обратного трубопровода 2 тепловой сети покидает тепловой пункт.

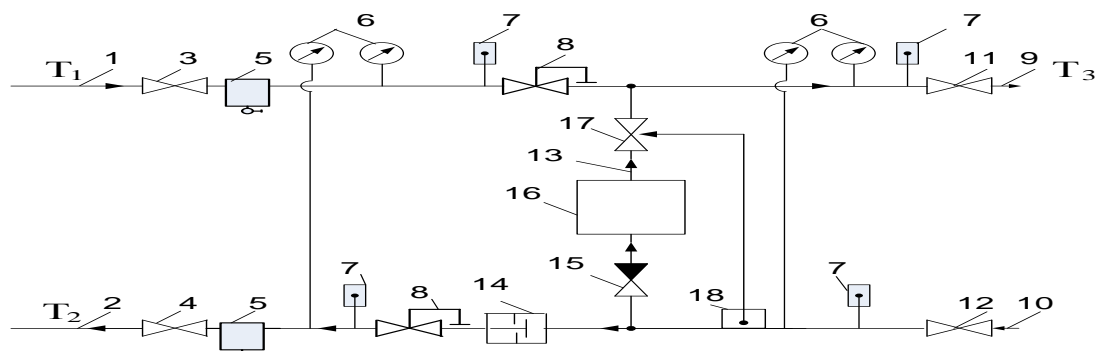


Рис.1. Схема теплового пункта с зависимым присоединением системы теплопотребления

Fig.1. Scheme of a heat point with a dependent connection of a heat consumption system

При движении охлажденного теплоносителя T_2 через ударный узел 14 возникает серия периодических гидравлических ударов, положительная волна распространения которых обеспечивает поступление охлажденного теплоносителя T_2 в смесительный трубопровод 13 последовательно через обратный клапан 15, гидроаккумулятор 16 и терморасширительный клапан 17 в подающий трубопровод 1 тепловой сети. Количество охлажденного теплоносителя T_2 , подаваемого через смесительный трубопровод 13, зависит от частоты и амплитуды генерации гидравлических ударов в ударном узле 14 и степени открытия терморасширительного клапана 17, которая автоматически (механически или гидравлически) задается термочувствительным элементом 18, установленным на обратном трубопроводе 10 системы теплопотребления. Для контроля параметров теплоносителя в тепловом пункте на каждом из трубопроводов установлена измерительная аппаратура – манометры 6 и термометры 7.

Принципиальная схема теплового пункта с импульсной циркуляцией теплоносителя, приведенная на рисунке 1, задействована при реконструкции теплового пункта «Центральный» ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева». На рисунке 2 представлен фрагмент данного объекта, содержащий Т-образный (оппозитный) ударный узел [13] Ду 100мм с элементами трубопроводов и запорно-регулирующей арматурой.

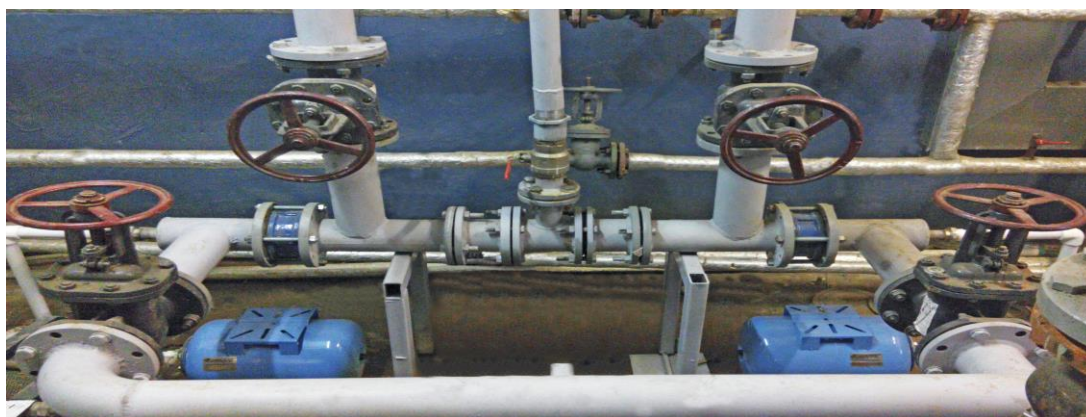


Рис.2. Фрагмент теплового пункта с импульсной циркуляцией теплоносителя для зависимого присоединения системы теплопотребления

Fig.2. Fragment of the heat point with impulse circulation of the heat carrier for the dependent connection of the heat consumption system

Эксплуатация данного теплового пункта возможна как в обычном, так и в экспериментальном импульсном режиме работы, что предоставляет значительный потенциал для последующих сравнительных испытаний.

Принципиальная схема теплового пункта для независимого присоединения системы теплоснабжения к тепловой сети представлена на рисунке 3. Схема работает следующим образом [14]. Сначала осуществляют подачу греющей среды по подающему трубопроводу тепловой сети 1 через входную задвижку 16, второй регулятор температуры 13 параллельно на входы по греющей среде теплообменника 3 и дополнительного теплообменника 11, на выходе которых она поступает одновременно ко входам рабочей среды 17 двухпоточного [15] ударного узла 6 и через его выход(ы) рабочей среды 18 истекает в обратный трубопровод 2 тепловой сети.

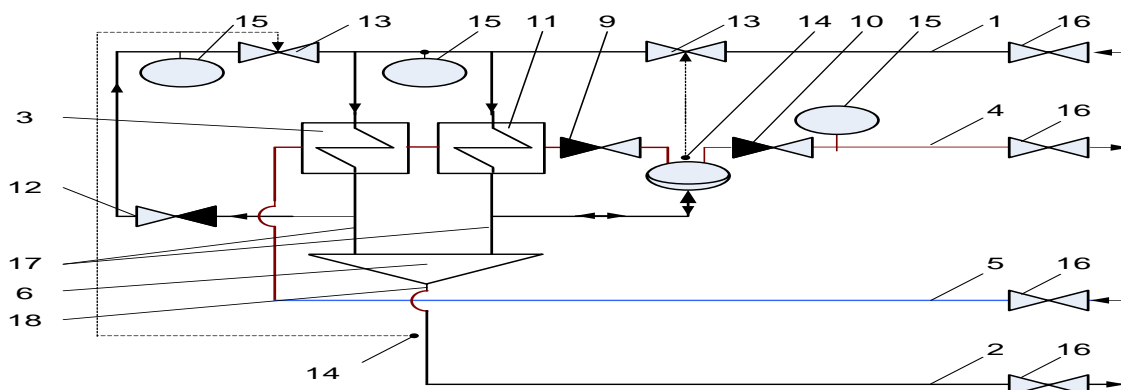


Рис.3.Схема теплового пункта с независимым присоединением системы теплоснабжения

Fig.3. The scheme of a heat point with independent connection of a heat consumption system

При этом ударный узел 6 попеременно генерирует импульсы количества движения рабочей среды во входах 17, благодаря чему обеспечивается импульсная подача греющей среды с выхода теплообменника 3 и/или дополнительного теплообменника 11 через дополнительный обратный клапан 12 в гидроаккумулятор 15, где пульсации сглаживаются и греющая среда через первый регулятор температуры 13 по рециркуляционному трубопроводу вновь поступает в подающий трубопровод 1 тепловой сети и затем к входам по греющей среде теплообменника 3 и дополнительного теплообменника 11. Контролирующий элемент 14 первого регулятора температуры 13, установленный в обратном трубопроводе 2 тепловой сети, регулирует подачу греющей среды из обратного 2 в подающий трубопровод 1 тепловой сети. Импульсы количества движения греющей среды на выходе теплообменника 3 и/или дополнительного теплообменника 11 также обеспечивают пульсирующее изменение пространственного положения эластичной диафрагмы 8 импульсного нагнетателя 7 [16]. Благодаря этому через систему обратных клапанов входа 9 и выхода 10 импульсного нагнетателя 7 обеспечивается пульсирующая циркуляция нагреваемой среды по теплообменнику 3 и дополнительному теплообменнику 11, которая, поступая в третий гидроаккумулятор 16, стабилизируется по давлению и подается через выходную задвижку 16 подающего трубопровода 4 системы теплоснабжения непосредственно в саму систему теплоснабжения. Температура нагреваемой среды постоянно фиксируется контролирующим элементом 14 второго регулятора температуры 13 и в случае перегрева (недогрева) количество греющей среды, поступающей к теплообменнику 3 и дополнительному теплообменнику 11, пропорционально уменьшается или увеличивается.

Второй гидроаккумулятор 15 предназначен для сглаживания остаточных пульсаций греющей среды, распространяющихся от ударного узла 6 к входной задвижке 16 подающего трубопровода 1 тепловой сети. Если конструкцию данного теплового пункта предполагается использовать для подключения системы горячего водоснабжения, а также при необходимости в других случаях между подающим 4 и обратным 5 трубопроводами системы теплоснабжения рекомендуется установить регулятор давления «до себя» и/или регулятор по температуре, назначение которых – защита теплообменника от чрезмерного повышения давления при

отсутствии разбора горячей воды и дополнительный подогрев нагреваемой среды при осуществлении ее рециркуляции. Для повышения надежности работы теплового пункта между подающим 4 и обратным 5 трубопроводами системы теплоснабжения, а также в рециркуляционный трубопровод тепловой сети могут быть установлены рециркуляционные насосы. В случае отказа, ремонта или иной причины, остановка ударного узла 6 они позволят защитить теплообменник 3 и дополнительный теплообменник 11 от «закипания».

Внешний вид экспериментального образца теплового пункта с импульсной циркуляцией теплоносителя для присоединения тепловой нагрузки по независимой схеме, изготовленный на базе оппозитного ударного узла [17], двух импульсных нагнетателей [18] и двух теплообменников «РИДАН» выполнен на базе учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения» ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева» и представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Тепловой пункт с импульсной циркуляцией теплоносителя для независимого присоединения системы теплоснабжения

Fig. 4. Thermal station with impulse coolant circulation for independent connection of the heat consumption system

Экспериментальные испытания [19] данного образца также подтвердили работоспособность и эффективность представленного выше технического решения.

Вывод. Технический результат применения теплового пункта с импульсной циркуляцией теплоносителя для независимого присоединения системы теплоснабжения заключается в повышении эффективности работы системы теплоснабжения, которая достигается за счет:

- обеспечения возможности трансформации располагаемого напора тепловой сети в напор местной системы теплоснабжения [20];
- реализации условий для самоочистки теплопередающих поверхностей в теплоэнергетическом оборудовании системы теплоснабжения от использования энергии гидравлического удара [21];
- обеспечения автоматического регулирования коэффициента смещения и тепловой нагрузки [22];
- увеличения коэффициента теплопередачи в теплоэнергетическом оборудовании системы теплоснабжения [23,24].

Технический результат теплового пункта с импульсной циркуляцией теплоносителя для независимого присоединения системы теплоснабжения заключается в повышении его энергетической эффективности путем использования импульсной циркуляции греющей и нагреваемой сред для решения следующих задач:

- реализация количественно-качественной трансформации располагаемого напора греющей среды тепловой сети в напор нагреваемой среды системы теплоснабжения [25];
- обеспечение условий для самоочистки теплопередающих поверхностей

теплообменника [26];

- повышение коэффициента теплопередачи в теплообменнике между его греющим и нагреваемым контурами [27];
- обеспечение возможности организации корректирующей линии с импульсной циркуляцией теплоносителя, которая не требует применения дополнительных насосов [28].

Учитывая отмеченные преимущества тепловых пунктов с импульсной циркуляцией теплоносителя для зависимого и независимого присоединения тепловой нагрузки к тепловой сети можно полагать, что они содержат в себе значительный потенциал для повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения. Подтверждение данного потенциала является лишь вопросом времени.

Библиографический список:

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок: утв. приказом Минэнерго Рос. Федерации от 24 марта 2003 г. № 115 : ввод в действие с 01.10.03 // Рос.газ. – 2003. – № 184, 6 сент.
2. Отопление и вентиляция: учеб. для вузов: в 2 ч. Ч. 1.: Отопление / П. Н. Каменев, А. Н. Сканава, В. Н. Богословский [и др.]. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. – 483 с.
3. Пат.на изобретение 2151344 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Система водяного отопления / А. Д. Чумаченко; заявитель и патентообладатель Брян. гос. инженерно-технол. акад. – № 98121968/06; заявл. 04.12.1998; опубл. 20.06.2000, Бюл. № 18.
4. Филиппов В.В. Теплообмен в химической технологии. Теория. Основы проектирования: учеб.пособие / В. В. Филиппов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – 197 с.
5. Makeev A.N. Импульсная система теплоснабжения общественного здания: дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Makeev. – Саранск, 2010. – 153 с.
6. Bakunin V.V. Optimization of selection and adjustment of hydraulic ram for maximum productivity / V. V. Bakunin // International scientific journal life and ecology . – Sarov, 2014. – No 1. – pp. 71–72.
7. Ahn B. Experimental Study Swirl Injector Dynamic Response Using a Hydromechanical Pulsator / Benjamin Ahn, Maksud Ismailov, Stephen Heister // Journal of Propulsion and Power, Vol. 28, No. 3 (2012), pp. 585–595.
8. Погребняк, А.П. О внедрении систем импульсной очистки поверхностей нагрева / А. П. Погребняк, В. Л. Кокорев, А. Л. Кокорев, И. О. Моисеинко, А. В. Гультаев, Н. Н. Ефимова // Новости теплоснабжения. – 2014. – №1 (январь). – С. 22–24.
9. Levtsev, A. P. Pulsating heat transfer enhancement in the liquid cooling system of power semiconductor converter / A. P. Levtsev, A. N. Makeev, S. F. Kudashev // Indian Journal of Science and Technology. – March 2016. Vol. 9(11) – P. 1 – 5. DOI: 10.17485 / ijst / 2016 / v9i11 / 89420 ; URL: [http : // www.indjst.org / index.php / indjst / article / view / 89420 / 68096](http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/89420/68096) (датаобращения: 30.01.2017)
10. Makeev, A. N. Импульсные системы теплоснабжения общественных зданий / А. Н. Makeev, А. П. Левцев // Региональная архитектура и строительство. – Пенза, 2010. – №2 (9). – С. 45–51.
11. Пат.на полезную модель 102760 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Тепловой пункт / С. Ф. Кудашев, А. П. Левцев, А. Н. Makeev; заявитель и патентообладатель гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2010143635/03; заявл. 25.10.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 7.
12. Левцев, А. П. Обзор и анализ основных конструкций ударных клапанов для создания гидравлического удара / А. П. Левцев, А. Н. Makeev, Н. Ф. Makeev, Я. А. Нарватов,

- А. А. Голянин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23253> (дата обращения: 28.09.2016).
13. Пат.на изобретение 2558740 Российская Федерация, МПК F15B 21/12. Ударный узел / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Н. Макеев, С. И. Храмов, С. Ф. Кудашев, А. М. Зюзин, Я. А. Нарватов; заявитель и патентообладатель НОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО». – № 2014107201/06 ; заявл. 25.02.2014 ; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22.
 14. Пат.на изобретение 2543465 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Тепловой пункт / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Н. Макеев, С. И. Храмов, Я. А. Нарватов ; заявитель и патентообладатель А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Н. Макеев. – № 2013137717/12 ; заявл. 12.08.2013 ; опубл. 27.02.2015, Бюл. № 6.
 15. Пат.на полезную модель 113546 Российская Федерация, МПК F15B 21/12. Ударный узел для газогидравлического устройства (варианты) / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. М. Зюзин; заявитель и патентообладатель НОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО». – № 2011141604/06; заявл. 13.10.2011; опубл. 20.02.2012, Бюл. № 5.
 16. Пат.на полезную модель 159837 Российская Федерация, МПК F04F 7/00, F04B 43/02. Импульсный нагнетатель / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, Я. А. Нарватов, Г. Б. Кенчадзе; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2015137314/06 ; заявл. 01.09.2015 ; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.
 17. Пат.на изобретение 2484380 Российская Федерация, МПК F24D 3/02. Ударный узел / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Ф. Кудашев; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2012111639/12; заявл. 26.03.2012; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16.
 18. Пат.на полезную модель 168152 Российская Федерация, МПК F24D 3/00, F04B 43/00, F04F 1/00, F04F 7/00. Импульсный нагнетатель / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. А. Голянин; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2016115435; заявл. 20.04.2016; опубл. 19.01.2017, Бюл. № 2.
 19. Кудашев С.Ф. Индивидуальный тепловой пункт с импульсной циркуляцией теплоносителя :дис. ... канд. техн. наук / С. Ф. Кудашев. – Саранск, 2014. – 133 с.
 20. Пат.на полезную модель 88104 Российская Федерация, МПК F24D 3/02. Система отопления (варианты) / А. Н. Макеев, А. П. Левцев, А. А. Лазарев; заявители и патентообладатели А. Н. Макеев, А. П. Левцев, А. А. Лазарев. – № 2009126711/22; заявл. 13.07.2009; опубл. 27.10.2009, Бюл. № 30.
 21. Hsu C.Y. A numerical study on high-speed water jet impact / C. Y. Hsu, C. C. Liang, A. T. Nguyen, T. L. Teng // *Ocean engineering*, Vol. 72 (2013), – pp. 98–106.
 22. Левцев А. П. Импульсные системы тепло- и водоснабжения: монография / А. П. Левцев, А. Н. Макеев; под общ.ред. д-ра техн. наук проф. А. П. Левцева. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 172 с.
 23. Галицейский Б. М. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках / Б. М. Галицейский, Ю. А. Рыжов, Е. В. Якуш. – М.: Машиностроение, 1977. – 256 с.
 24. Valueva E.P. Hydrodynamics and heat transfer in pulsating turbulent pipe flow of a liquid of variable properties / E. P. Valueva // *High Temperature*. – 2005.– Т. 43. – № 6. С.– 890–899.
 25. Пат.на изобретение 2423650 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Способ теплоснабжения / А. Н. Макеев, А. П. Левцев; заявители и патентообладатели А. Н. Макеев, А. П. Левцев. – № 2010112729/03; заявл. 01.04.2010; опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19.
 26. Пат.на изобретение 2191642 Российская Федерация, МПК B08B9/032. Способ обработки системы отопления здания / Т. В. Жунусова, В. М. Низовкин; заявители и патентообладатели Т. В. Жунусова, В. М. Низовкин. – № 2000128479/12; заявл. 16.11.2000; опубл. 27.10.2002, Бюл. 12.

27. Левцев А. П. Влияние импульсного режима течения теплоносителя на коэффициент теплопередачи в пластинчатом теплообменнике системы горячего водоснабжения / А. П. Левцев, С. Ф. Кудашев, А. Н. Makeev, А. И. Лысяков // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – №2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12664> (дата обращения: 20.02.2017).
28. Левцев А. П. Корректирующий контур с импульсной циркуляцией теплоносителя в составе теплового пункта системы теплоснабжения / А. П. Левцев, А. Н. Makeev, Я. А. Нарватов, А. А. Голянин // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 2-1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20925> (дата обращения: 20.02.2017).

References:

1. Pravila tekhnicheskoi ekspluatatsii teplovykh energoustanovok: utv. prikazom Minenergo RF ot 24 marta 2003 g. № 115: vvod v deystvie s 01.10.03. Rossiyskaya Gazeta. 2003; 184, 6 sentyabrya. [Rules of technical operation of heat power systems: affirmed by the Order of Ministry of Energy of Russian Federation from 24 of March 2003 № 115; put into action since 01.10.03. Rossiyskaya Gazeta. 2003; 184, 6 of September. (in Russ.)]
2. Kamenev P.N., Skanavi A.N., Bogoslovskiy V.N. i dr. Otoplenie i ventilyatsiya: uchebnik dlya vuzov v 2 chastyakh. Ch. 1. Otoplenie. Izd. 3-e, pererab. i dop. Moscow: Stroyizdat; 1975. 483 s. [Kamenev P.N., Skanavi A.N., Bogoslovskiy V.N. et al. Heating and ventilation: tutorial for higher education institutions in 2 parts. Part 1. Heating. 3rd Edition. Moscow: Stroyizdat; 1975. 483 s. (in Russ.)]
3. Chumachenko A.D. Sistema vodyanogo otopleniya. Patent RU № 2151344. MPK F24D 3/00. Opubl. 20.06.2000. Byul. № 18. [Chumachenko A.D. System of water heating. Patent RU № 2151344. MPK F24D 3/00. Publ. 20.06.2000. Bull. № 18. (in Russ.)]
4. Filippov V.V. Teploobmen v khimicheskoi tekhnologii. Teoriya. Osnovy proektirovaniya: uchebnoe posobie. Samara: Samara State Technical University; 2014. 197 s. [Filippov V.V. Heat transfer in chemical technology. Theory. Basics of design: Tutorial. Samara: Samara State Technical University; 2014. 197 p. (in Russ.)]
5. Makeev A.N. Impul'snaya sistema teplosnabzheniya obshchestvennogo zdaniya. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni cand. tekhn. nauk. Saransk; 2010. [Makeev A.N. Impulse heating system of a public building. Published summary of PhD of Technical Sciences thesis. Saransk; 2010. (In Russ.)]
6. Bakunin V.V. Optimization of selection and adjustment of hydraulic ram for maximum productivity. International scientific journal life and ecology. 2014; 1:71–72.
7. Ahn B., Ismailov M., Heister S. Experimental Study Swirl Injector Dynamic Response Using a Hydromechanical Pulsator. Journal of Propulsion and Power. 2012; 3:585–595.
8. Pogrebnyak A.P., Kokorev V.L., Kokorev A.L., Moiseenko I.O., Gul'tyaev A.V., Efimova N.N. O vnedrenii sistem impul'snoi ochistki poverkhnostei nagreva. Novosti teplosnabzheniya. 2014; 1:22–24. [Pogrebnyak A.P., Kokorev V.L., Kokorev A.L., Moiseenko I.O., Gul'tyaev A.V., Efimova N.N. On the introduction of impulse heating systems for heating surfaces. Novosti teplosnabzheniya. 2014; 1:22–24. (In Russ.)]
9. Levitsev A.P., Makeev A.N., Kudashev S.F. Pulsating heat transfer enhancement in the liquid cooling system of power semiconductor converter. Indian Journal of Science and Technology. 2016; 9:1-5. DOI: 10.17485 / ijst / 2016 / v9i11 / 89420; URL: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/89420/68096> (access date: 30.01.2017).
10. Makeev A.N., Levitsev A.P. Impul'snye sistemy teplosnabzheniya obshchestvennykh zdanii. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2010; 2(9):45–51. [Makeev A.N., Levitsev A.P. Impulse heat supply systems for public buildings. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2010; 2(9):45–51. (In Russ.)]

11. Kudashev S.F., Levtshev A.P., Makeev A.N. Teplovoy punkt. Patent RU № 102760. MPK F24D 3/00. Opubl. 10.03.2011. Byul. № 7. [Kudashev S.F., Levtshev A.P., Makeev A.N. Heat point. Patent RU № 102760. MPK F24D 3/00. Publ. 10.03.2011. Bull. № 7. (In Russ.)]
12. Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev N.F., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Obzor i analiz osnovnykh konstruksii udarnykh klapanov dlya sozdaniya gidravlicheskogo udara. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015; № 2-2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23253> (data obrashcheniya: 28.09.2016). [Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev N.F., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Overview and analysis of the basic designs of impact valves for the creation of a hydraulic shock. *Modern problems of science and education*. 2015; № 2-2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23253> (access date: 28.09.2016). (in Russ.)]
13. Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Khramov S.I., Kudashev S.F., Zyuzin A.M., Narvatov Ya.A. Patent RU № 2558740. MPK F15B 21/12. Udarny uzel. Opubl. 10.08.2015. Byul. № 22. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Khramov S.I., Kudashev S.F., Zyuzin A.M., Narvatov Ya.A. Patent RU № 2558740. MPK F15B 21/12. Impact knot. Publ. 10.08.2015. Bull. № 22. (in Russ.)]
14. Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Khramov S.I., Narvatov Ya.A. Patent RU № 2543465. MPK F24D 3/00. Teplovoy punkt. Opubl. 27.02.2015. Byul. № 6. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Khramov S.I., Narvatov Ya.A. Patent RU № 2543465. MPK F24D 3/00. Heat point. Publ. 27.02.2015. Bull. № 6. (in Russ.)]
15. Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RU № 113546. MPK F15B 21/12. Udarny uzel dlya gazogidravlicheskogo ustroystva (varianty). Opubl. 20.02.2012. Byul. № 5. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RU № 113546. MPK F15B 21/12. Impact knot for gas-hydraulic device (variants). Publ. 20.02.2012. Bull. № 5. (in Russ.)]
16. Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Kenchadze G.B. Patent RU № 159837, MPK F04F 7/00, F04B 43/02. Impul'sny nagnetatel'. Opubl. 20.02.2016. Byul. № 5. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Kenchadze G.B. Patent RU № 159837, MPK F04F 7/00, F04B 43/02. Impulse blower. Publ. 20.02.2016. Bull. № 5. (in Russ.)]
17. Levtshev A.P., Makeev A.N., Kudashev S.F. Patent RU № 2484380. MPK F24D 3/02. Udarny uzel. Opubl. 10.06.2013. Byul. № 16. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Kudashev S.F. Patent RU № 2484380. MPK F24D 3/02. Impact knot. Publ. 10.06.2013. Bull. № 16. (in Russ.)]
18. Levtshev A.P., Makeev A.N., Golyanin A.A. Patent RU № 168152. MPK F24D 3/00, F04B 43/00, F04F 1/00, F04F 7/00. Impul'sny nagnetatel'. Opubl. 19.01.2017. Byul. № 2. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Golyanin A.A. Patent RU № 168152. MPK F24D 3/00, F04B 43/00, F04F 1/00, F04F 7/00. Impulse blower. Publ. 19.01.2017. Bull. № 2. (in Russ.)]
19. Kudashev S.F. Individual'nyi teplovoi punkt s impul'snoi tsirkulyatsiei teplonosatelya. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni cand. tekhn. nauk. Saransk; 2014. [Kudashev S.F. Saransk; 2014. Individual heat station with impulse coolant circulation. Published summary of PhD of Technical Sciences thesis. Saransk; 2014. (in Russ.)]
20. Makeev A.N., (in Russ.), Lazarev A.A. Patent RU № 88104. MPK F24D 3/02. Sistema otopleniya (varianty). Opubl. 27.10.2009. Byul. № 30. [Makeev A.N., Levtshev A.P., Lazarev A.A. Patent RU № 88104. MPK F24D 3/02. Heating system (variants). Publ. 27.10.2009. Bull. № 30. (in Russ.)]
21. Hsu C.Y., Liang C.C., Nguyen A.T., Teng T.L. A numerical study on high-speed water jet impact. *Ocean engineering*. 2013;72:98–106.
22. Levtshev A.P., Makeev A.N. Impul'snye sistemy teplo- i vodosnabzheniya. Pod red. Levtsheva A.P. Saransk: Mordovia State University; 2015. 172 s. [Levtshev A.P., Makeev A.N. Pulse systems of heat and water supply. Levtshev A.P. (Ed). Saransk: Mordovia State University; 2015. 172 p. (in Russ.)]
23. Galitseyskiy B.M., Ryzhov Yu.A., Yakush E.V. Teplovye i gidrodinamicheskie protsessy v koleblyushchikhsya potokakh. Moscow: Mashinostroenie; 1977. 256 s. [Galitseyskiy B.M.,

- Ryzhov Yu.A., Yakush E.V. Thermal and hydrodynamic processes in oscillating flows. Moscow: Mashinostroenie; 1977. 256 p. (in Russ.)]
24. Valueva E.P. Hydrodynamics and heat transfer in pulsating turbulent pipe flow of a liquid of variable properties. High Temperature. 2005; 43(6):890–899.
25. Makeev A.N., Levtshev A.P. Patent RU № 2423650. MPK F24D 3/00. Sposob teplosnabzheniya. Opubl. 10.07.2011. Byul. № 19. [Makeev A.N., Levtshev A.P. Patent RU № 2423650. MPK F24D 3/00. The way of heat supply. Publ. 10.07.2011. Bull. № 19. (in Russ.)]
26. Zhunusova T.V., Nizovkin V.M. Patent RU № 2191642. MPK B08B9/032. Sposob obrabotki sistemy otopleniya zdaniya. Opubl. 27.10.2002, Byul. 12. [Zhunusova T.V., Nizovkin V.M. Patent RU № 2191642. MPK B08B9/032. Method of processing building's heating system. Publ. 27.10.2002, Bull. 12. (in Russ.)]
27. Levtshev A.P., Kudashev S.F., Makeev A.N., Lysyakov A.I. Vliyanie impul'snogo rezhima techeniya teplonosatelya na koeffitsient teploperedachi v plastinchatom teploobmennike sistemy goryachego vodosnabzheniya. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014; 2: URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12664>. (data obrashcheniya: 20.02.2017). [Levtshev A.P., Kudashev S.F., Makeev A.N., Lysyakov A.I. Influence of the pulsed regime of the heat carrier flow on the heat transfer coefficient in the plate heat exchanger of the hot water supply system. Modern problems of science and education. 2014; 2: URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12664>. (access date 20.02.2017) (in Russ.)]
28. Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Korrektiruyushchii kontur s impul'snoi tsirkulyatsiei teplonosatelya v sostave teplovogo punkta sistemy teplosnabzheniya. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015; 2-1: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20925> (data obrashcheniya: 20.02.2017). [Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Correcting circuit with impulse circulation of heat carrier in the heat point of the heat supply system. Modern problems of science and education. 2015; 2-1: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20925> (access date: 20.02.2017). (in Russ.)]

Сведения об авторе.

Макеев Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетических систем, руководитель учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения» ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва».

Information about the author.

Andrey N. Makeev – Cand. Sc.(Technical), Assoc. Prof., Department of heat and power systems, director of teaching and research laboratory «Pulsed the system heating and water supply».

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Conflict of interest

Поступила в редакцию 17.01.2017.

Received 17.01.2017.

Принята в печать 27.01.2017.

Accepted for publication 27.01.2017.

Для цитирования: Абдурагимов Т.Т., Мелехин В.Б., Хачумов В.М. Информационно-аналитическая модель нечеткого пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):48-60. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-48-60

For citation: Abduragimov T.T., Melekhin V. B., Hachumov V.M. Information-analytical model for a fuzzy proportional-integral-derivative controller. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):48-60. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-48-60

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.518

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-48-60

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕГО РЕГУЛЯТОРА

Абдурагимов Т.Т.¹, Мелехин В.Б.², Хачумов В.М.³

¹⁻²Дагестанский государственный технический университет

367015, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70

³Институт системного анализа РАН,

117312, г. Москва, пр. 69-летия Октября, 9

e-mail: ¹iron969@mail.com, ²pashka1602@rambler.ru,

³vmh@isa.ru,

Резюме: Цель. Целью исследования является создание модели, позволяющей повысить точность нечетких алгоритмов управления сложными объектами в условиях неопределенности. **Методы.** Разработан способ нечеткого представления и сравнения между собой параметров состояния сложных объектов управления в условиях неопределенности. Предложен принцип реализации информационно аналитической модели пропорционально-интегрально-дифференцирующего закона регулирования параметров состояния сложного объекта на основе лингвистических переменных и лингвистических функций. Разработан способ построения графиков лингвистических функций на основе обработки экспертных данных методами регрессионного анализа. **Результат.** Получена информационно-аналитическая модель нечеткого пропорционально-интегрально-дифференцирующего закона, позволяющая обеспечить требуемую точность регулирования параметров состояния сложного объекта управления в неустойчивой окружающей среде. В работе проведен анализ и обозначен основной недостаток нечетких алгоритмов управления сложными объектами (низкая точность регулирования параметров состояния объекта управления), а также определены основные, связанные с ним, ограничения эффективного их применения. Показано, что к одному из эффективных путей, позволяющих обойти отмеченный недостаток, следует отнести использование в нечетких алгоритмах управления для реализации выбираемых управлений информационно-аналитическую модель пропорционально-интегрально-дифференцирующего закона регулирования параметров состояния сложного объекта. **Вывод.** Предложенный подход позволяет эффективным образом реализовать пропорциональный, интегральный и дифференциальный нечеткие законы регулирования, и на этой основе обеспечить эффективное управление состоянием сложных объектов в недоопределенных и неустойчивых условиях функционирования на основе нечетких алгоритмов управления.

Ключевые слова: сложный объект управления, нечеткий алгоритм управления, лингвистическая переменная, лингвистическая функция, нечеткий пропорционально-интегрально-дифференцирующий закон регулирования (PID-controller)

TECHICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

INFORMATION-ANALYTICAL MODEL FOR A FUZZY PROPORTIONAL-
INTEGRAL-DERIVATIVE CONTROLLER

Timur T. Abduragimov¹, Vladimir B. Melekhin², Vyacheslav M. Khachumov³

¹⁻²Daghestan state technical university

70 I.Shamilya Ave., 70367015 Makhachkala, Russia

³Institute system analysis by wounds,

69 years of the October Ave., Moscow 117312, Russia

e-mail: ¹iron969@mail.com, ²pashka1602@rambler.ru, ³vmh@isa.ru,

Abstract. Objectives The aim of the study is to create a model allowing us to improve the accuracy of fuzzy control algorithms for complex objects in conditions of uncertainty. **Methods** An approach of fuzzy representation and comparison of the state parameters of complex objects of control in conditions of uncertainty has been developed. The principle of realisation of information-analytical model of proportional-integral-derivative law of regulation of state parameters of a complex object on the basis of linguistic variables and linguistic functions is proposed. A method for constructing graphs of linguistic functions is developed on the basis of expert data processing using regression analysis methods. **Results** An information-analytical model for a fuzzy proportional-integral-derivative law is constructed that allows a satisfactory level of accuracy for the regulation of the state parameters of a complex control object in an unstable environment to be achieved. The main drawback of fuzzy algorithms for managing complex objects (low accuracy in regulation of the state parameters of the control object) is identified and major limitations associated with their effective use are analysed. It is shown that one of the most effective means of circumventing the noted shortcoming is the use of the information-analytical model of the proportional-integral-derivative law of the state parameters of a complex object with fuzzy control algorithms used to implement selectable controls. **Conclusion** The proposed approach allows the proportional, integral and derivative fuzzy laws of regulation to effectively control the state of complex objects under undetermined and unstable operating conditions based on fuzzy control algorithms provided on this basis.

Keywords: complex control object, fuzzy control algorithm, linguistic variable, linguistic function, fuzzy proportional-integral-derivative control law (PID-controller)

Введение. Для управления сложными объектами в нестабильной окружающей среде (ОС), когда построение адекватных аналитических моделей затруднено или невозможно в силу высокой неопределенности характера влияния на объект управления (ОУ) возмущающих факторов ОС, на практике широко используются нечеткие алгоритмы управления продукционного типа, формируемые на основе экспертных данных [1-8].

Как правило, в таких алгоритмах управления для сокращения количества продукции, допустимые состояния ОУ $S = \{S_i\}, i = 1, 2, \dots, n_1$, скорость изменения параметров состояния $V = \{v_j\}, j = 1, 2, \dots, m$ и управления $B_i \in B = \{B_i\}, i = 1, 2, \dots, n_1 \times m$ определяются в нечеткой форме или интервальным способом представления с помощью термов лингвистических переменных (ЛП) [9]. Данное обстоятельство и определяет основной недостаток нечетких алгоритмов управления, связанный с низкой точностью регулирования параметров состояния ОУ. Основной проблемой этого недостатка является то, что с помощью нечетких алгоритмов управления практически достаточно эффективно реализуется только пропорциональный закон регулирования параметров состояния ОУ [10-15].

Отмеченный выше недостаток нечетких алгоритмов управления, несмотря на простоту реализации, не позволяет эффективно их использовать в случаях, когда:

- к точности желаемого состояния ОУ предъявляются повышенные требования;

- наблюдается высокая динамика изменения регулируемых параметров состояния ОУ под внешними воздействиями;
- не допустимым является относительно большое запаздывание в силу высокой динамики изменения параметров состояния ОУ, т.е. требуется перевести объект управления в заданное состояние в реальном времени во избежание возникновения аномальных ситуаций.

Постановка задачи. В работе предлагается обойти отмеченный выше недостаток нечетких алгоритмов управления на основе информационно-аналитической модели нечеткого ПИД закона регулирования, позволяющего эффективным образом сформировать и реализовать пропорциональную, интегральную и дифференциальную составляющие выбираемых на их основе управлений. В основе решения данной задачи предлагается использовать ЛП и лингвистические функции (ЛФ) [16], позволяющие построить приближительную аналитическую зависимость между значениями параметров состояния объекта управления и управляющими воздействиями, обеспечивающими возможность регулирования данных параметров в нестабильных условиях окружающей среды.

Следует отметить, что в общем случае изменение состояний ОУ может происходить: по заданной программе функционирования, изменяющейся во времени и сводящейся к отработке заданных в ней управлений $B_{i2} \in B$; в результате возмущающих факторов ОС, негативным образом влияющих на состояние ОУ; на основе управлений $B_{i2} \in B$, выполняемых системой управления для перевода ОУ в требуемое на текущий момент времени состояние, которое он покинул под воздействием возмущающих факторов ОС и за счет влияния изменений одних параметров состояния на значения других параметров ОУ.

Таким образом, в общем случае целесообразно исследовать способы построения информационно-аналитической модели ПИД закона регулирования для ОУ двух типов: с происходящими и не происходящими в них изменениями параметров состояния в результате их взаимного влияния друг от друга.

Методы исследования. Нечеткая модель описания и сравнения между собой состояний объекта управления. В общем случае текущие фактические $S_i(t) \in S$ и целевые $S_j^*(t) \in S$, состояния ОУ можно определить соответственно кортежами $\langle a_1, a_2, \dots, a_{i2}, \dots, a_m \rangle$ и $\langle a_1^*, a_2^*, \dots, a_{i2}^*, \dots, a_m^* \rangle$ значений параметров состояния $A = \{a_{i2}\}, i_2 = 1, 2, \dots, m$, где a_{i2}, a_{i2}^* соответственно фактическое и целевое значение i_2 -го параметра состояния ОУ в текущий момент времени. Это позволяет сформировать проблемные на текущий момент времени состояния ОУ $S_{j2}(T) = \langle \Delta a_1^{j2}, \Delta a_2^{j2}, \dots, \Delta a_{i2}^{j2}, \dots, \Delta a_m^{j2} \rangle, j_2 = 1, 2, \dots, n_3$, и сформировать на их основе продукции нечеткого алгоритма управления состояниями сложного объекта имеющие, например, следующее содержание:

«Если текущее состояние ОУ определяется проблемным состоянием $S_{j2}(t)$, а целевым является состояние $S_j^(t)$, то в случае низкой скорости изменения отклонений следует сформировать и реализовать управление $B_{j2} \in B$ »,* (1)

где $\Delta a_{i2}^{j2} = a_{i2}^* - a_{i2}$ - недопустимое отклонение фактического значения i_2 -го параметра состояния от его целевого значения.

Для обобщенного описания различных состояний ОУ и сравнения между собой значений входящих в них параметров с целью определения отклонений, используем соответствующие им ЛП $R = \{R_{i2}\}, i_2 = 1, 2, \dots, m$. Каждая такая ЛП определяется следующей четверкой:

$$R_{i2} = (H_{i2}, T_{i2}, U_{i2}, r_{i2}),$$

Где H_{i2} - название ЛП, которое совпадает с названием соответствующего ей параметра состояния ОУ, например, «Температура состояния ОУ»; $T_{i2} = \{T_{i2}(k)\}, k = 1, 2, \dots, 5$ - термножество или множество словесных (нечетких) значений ЛП, например, $T_{i2} = \{\text{«очень низкая»}, \text{«низкая»}, \text{«средняя»}, \text{«высокая»}, \text{«очень высокая температура»}\}$; $U_{i2} \in [a_{i2}^H, a_{i2}^B]$ - базовое множество значений ЛП, которое определяет шкалу ее численных значений соответственно с

нижней a_{i2}^H и верхней A_{i2}^H границами. Данная шкала в соответствии с количеством и названием термов ЛП разбивается на пять непересекающихся интервалов с четкими границами, внутри каждого из которых определяется нечеткое множество значений параметров состояния $a_{i2} \in A_{OU}$.

Таким образом, ограничения, определяемые термами $T_{i2}(k) \in T_{i2}$ ЛП R_{i2} и накладываемые на значения базовой переменной r_{i2} регулируемого параметра a_{i2} , задаются четко и выбираются исходя из предельных эксплуатационных характеристик ОУ или на основе данных опроса экспертов; r_{i2} - базовая переменная ЛП, или конкретное значение соответствующего ей параметра состояния a_{i2} ОУ, т.е. $r_{i2} = a_{i2}$.

Это позволяет каждое значение регулируемого параметра $a_{i2} \in A_{OU}$ представить парой $a_{i2} = \langle r_{i2}, T_{i2}(k) \rangle$, где $T_{i2}(k)$ - нечеткое значение параметра состояния или терм, в интервал численных значений которого попадает величина r_{i2} его базовой переменной.

В свою очередь, такое представление различных значений регулируемых параметров ОУ позволяет сравнивать между собой соответствующие им пары без привлечения для этого операции нечеткой эквивалентности, требующей выполнения трудоемких операций определения минимума и максимума [17].

Для нечеткого представления значений параметров состояния ОУ, как правило, измеряемых датчиками в количественной форме, используем преобразования вида [18]:

$$\psi : r_{i2} \rightarrow \begin{cases} T_{i2}(1), \text{ если } 0 < r_{i2} \leq r_1^*; \\ T_{i2}(k) \text{ если } r_{k-1}^* \leq r_{i2} < r_k^*; \\ \dots\dots\dots \\ T_{i2}(5) \text{ если } r_{5-1}^* \leq r_{i2} < r_5^*, \end{cases} \quad (2)$$

позволяющие каждой базовой переменной r_{i2} регулируемого параметра состояния, определяемого лингвистической переменной R_{i2} , поставить в соответствие один из ее термов $T_{i2}(k), k = 1, 5$, где r_{k-1}^*, r_k^* - соответственно нижняя и верхняя границы числовых значений терма $T_{i2}(k)$.

В этом случае степень нечеткого равенства $\rho(r_{i2}^1, r_{i2}^2)$ двух значений $a_{i2}^1 = r_{i2}^1$ и $a_{i2}^2 = r_{i2}^2$ регулируемого параметра, представленных соответственно парами $\langle r_{i2}^1, T_{i2}^1(k_1) \rangle$ и $\langle r_{i2}^2, T_{i2}^2(k_2) \rangle$, будем определять согласно следующему характеристическому уравнению:

$$\rho(r_{i2}^1, r_{i2}^2) = \begin{cases} 1, \text{ если } |r_{i2}^1 - r_{i2}^2| \leq \varepsilon; \\ 1 - \frac{|r_{i2}^1 - r_{i2}^2|}{r_k^* - r_{k-1}^*}, \text{ если } (T_{i2}^1(k_1) = T_{i2}^2(k_2)); \\ 0, \text{ если } R_{i2}^1(k_1) \neq R_{i2}^2(k_2), \end{cases} \quad (3)$$

где ε - величина допустимого значения отклонения фактического значения параметра $r_{i2}^1 = a_{i2}$ от заданного его значения $r_{i2}^2 = a_{i2}^*$, определяемая согласно требуемой точности решения задачи (допустимая ошибка регулирования в установившемся режиме); $|r_{i2}^1 - r_{i2}^2|$ - абсолютная величина разности.

Полагаем, что сравниваемые значения r_{i2}^1, r_{i2}^2 параметра a_{i2} равны между собой, если $\rho(r_{i2}^1, r_{i2}^2) = 1$, т.е. оба значения параметра состояния попадают в заданную окрестность ε одной и той же точки на шкале допустимых численных значений ЛП.

Сравниваемые значения параметра a_{i2} нечетко равны при $0 < \rho(r_{i2}^1, r_{i2}^2) < 1$, т.е. если они попадают в интервал значений одного и того же терма ЛП. В этом случае оценка степени равенства определяется по их относительной удаленности от центра тяжести функции принадлежности. Наконец, сравниваемые значения параметра состояния $a_{i2} \in A_{OU}$ не равны между собой, если степень их нечеткого равенства принимает значение $\rho(r_{i2}^1, r_{i2}^2) = 0$, т.е. они попадают в интервалы численных значений различных термов.

Тогда, если в качестве критерия эффективности регулирования параметров состояния $a_{i_2} \in A_{OU}$ принять значение степени нечеткого равенства $\rho(r_{i_2}, r_{i_2}^*)$, равное 1, то задача сводится к построению и реализации управлений $B_{i_2} \in B$, позволяющих обеспечить такие текущие r_{i_2} значения данных параметров, при которых соответствующая им степень равенства, равна 1, где r_{i_2} и $r_{i_2}^*$ - соответственно текущее и требуемое на данный момент времени значения регулируемого параметра a_{i_2} [18-20].

Построение информационно-аналитической модели нечеткого ПИД закона регулирования при отсутствии взаимного влияния параметров состояния друг на друга. Сформулируем задачу построения информационно-аналитической модели нечеткого закона ПИД регулирования при отсутствии у ОУ взаимного влияния параметров состояния друг на друга.

Пусть текущее целевое $S^*(t)$ состояние ОУ определяется кортежем его параметров следующего вида: $S^*(t) = \langle \langle r_{i_2}^*(t), T_{i_2}^*(k^*) \rangle, i_2 = 1, 2, \dots, m \rangle$, где $r_{i_2}^*$ - текущее целевое количественное значение i_2 -го параметра состояния ОУ, которое попадает в интервал численных значений терма $T_{i_2}^*(k^*)$.

Фактическое состояние ОУ в данный момент времени определяется кортежем следующего вида: $S(t) = \langle \langle r_{i_2}(t), T_{i_2}(k) \rangle, i_2 = 1, 2, \dots, m \rangle$, где $r_{i_2}(t)$ - фактическое значение i_2 -го параметра состояния ОУ, попадающее в интервал численных значений терма $T_{i_2}^1(k)$.

Тогда в процессе сравнения между собой значений одноименных параметров $a_{i_2} \in A$ в кортежах $S^*(t)$ и $S(t)$ для построения текущего проблемного состояния ОУ и выбора на его основе управлений $B_{i_2} \in B$ по нечеткому алгоритму управления, состоящему из продукций вида (1), может возникнуть следующих три случая.

1. Когда хотя бы для одного из параметров состояния ОУ, его сравниваемые значения попадают в интервалы численных значений различных термов, а скоростью $v(\Delta a_{i_2}) = (\Delta r_{i_2}(t_2) - \Delta r_{i_2}(t_1)) / (t_2 - t_1)$ изменения текущего значения отклонения данного параметра можно пренебречь. Другими словами, степень равенства сравниваемых значений анализируемого параметра состояния $\rho(r_{i_2}(t), r_{i_2}^*(t))$, равна 0, где $r_{i_2}(t), r_{i_2}^*(t)$ - значения параметра $a_{i_2} \in A$ соответственно в фактическом и целевом состоянии ОУ. В этом случае управление $B_{i_2} \in B$, позволяющее обеспечить требуемую точность регулирования данного параметра управления, должно состоять из двух составляющих: пропорциональной - $B_{i_2}(П)$ и интегральной - $B_{i_2}(И)$.

Другими словами, нечеткому ПИД регулятору достаточно реализовать пропорционально-интегральный закон регулирования искомого параметра состояния. При этом, на первом шаге регулирование текущего значения параметра состояния осуществляется на основе пропорциональной составляющей выбранного управления $B_{i_2} \in B$, а на втором – интегральной его составляющей.

Задача пропорциональной составляющей $B_{i_2}(П)$ управления $B_{i_2} \in B$ в этом случае сводится к такому изменению параметра управления, при котором он принимает значение $r_{i_2}(t)$, попадающее в интервал численных значений одного и того же терма, что и его целевое $r_{i_2}^*(t)$ значение, т.е. когда для него выполняется условие: « $0 < \rho(r_{i_2}(t), r_{i_2}^*(t)) \leq 1$ ».

Интегральная же составляющая управления $B_{i_2}(И)$ в этом случае должна обеспечить такое текущее значение $r_{i_2}^{**}(t)$ параметра управления a_{i_2} , для которого выполняется условие: « $|r_{i_2}^{**}(t) - r_{i_2}^*(t)| \leq \varepsilon$ », т.е. значение степени равенства $\rho(r_{i_2}^{**}(t), r_{i_2}^*(t)) = 1$.

Например, пусть в качестве исполнительного механизма в нечетком ПИД регуляторе параметра управления $a_{i_2}(t)$ используется реверсивный шаговый двигатель. Тогда пропорциональная составляющая $B_{i_2}(П)$ в данном регуляторе параметра управления $a_{i_2}(t)$ реализуется путем непрерывного исполнения шаговым двигателем такого количества шагов, которое является пропорциональным разности $(k^* - k)$, где (k^*, k) - номера термов, в интервалы численных значений которых попадают соответственно целевое и текущее значения регулируемого параметра ОУ. Знак разности в этом случае позволяет определить направление вращения шагового двигателя.

Выполнение же интегральной составляющей $B_{i2}(И)$ управления $B_{i2} \in B$ в процессе регулирования, например, параметра состояния $a_{i2}(t)$ реализуется на основе шагового режима работы двигателя с проверкой выполнения условия: « $\rho(r_{i2}^{**}(t), r_{i2}^*(t)) = 1$ » после исполнения каждого шага вращения. После выполнения условия « $\rho(r_{i2}^{**}(t), r_{i2}^*(t)) = 1$ » регулирование параметра $a_{i2}(t)$ прекращается, т.к. цель управления считается достигнутой.

2. Когда при сравнении между собой значений одноименных параметров в состояниях $S(t)$ и $S^*(t)$ хотя бы для одного из них выполняется условие: « $0 < \rho(a_{i2}(t), a_{i2}^*(t)) \leq 1$ », а скоростью v изменения текущего значения отклонения данного параметра можно пренебречь.

В этом случае для выбранного управления $B_{i2} \in B$ нечеткому ПИД регулятору достаточно сформировать и реализовать только интегральную составляющую $B_{i2}(И)$ найденного управления. Данная составляющая реализуется в виде итерационного процесса доведения регулируемого параметра состояния до требуемого значения путем изменения управления на каждом его шаге на заданное приращение до тех, пока для текущего значения $r_{i2}^{**}(t)$ регулируемого параметра $a_{i2}(t)$ не будет выполнено условие: « $(r_{i2}^{**}(t), r_{i2}^*(t)) = 1$ ».

3. Значения всех степеней близости $\rho(a_{i2}(t), a_{i2}^*(t))$ для сравниваемых значений одноименных параметров управления в состояниях $S(t)$ и $S^*(t)$ равны единице. В этом случае система ситуационного управления не предпринимает никаких действий, но продолжает контролировать состояние технологического процесса.

Рассмотрим случай, когда скорость $v(\Delta a_{i2}) = (\Delta r_{i2}(t_2) - \Delta r_{i2}(t_1))/(t_2 - t_1)$ изменения отклонения параметра состояния $a_{i2}(t)$ ОУ является недопустимо высокой. Тогда возникает необходимость в отработке постоянно действующей дифференциальной $B_{i2}(Д)$ составляющей управления $B_{i2} \in B$, компенсирующей влияние возмущающего фактора ОС на ОУ в течение всего периода его проявления.

Данная составляющая управления в общем виде определяется следующим образом $B_{i2}(Д) = fv(\Delta a_{i2}(t))$.

Для эффективной реализации в нечетком ПИД законе регулирования параметров состояния $a_{i2} \in A$ ОУ пропорциональных составляющих $B_{i2}(П)$ управлений $B_{i2} \in B$ целесообразно построить и использовать графики ЛФ [16], представляющие собой аналитическую зависимость между отклонениями параметров управления Δa_{i2} и устраняющими их управлениями $B_{i2}(П)$ следующего вида:

$$\Delta a_{i2} = k_{i2} B_{i2}(П), i_2 = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

где k_{i2} - коэффициенты пропорциональности эмпирической модели (4).

В общем случае каждая ЛФ определяется следующей пятеркой:

$$H_{ЛФ}, ЛП_{3П}, \{ЛП_H(i), i = 1, 2, \dots, n\}, M, F,$$

где $H_{ЛФ}$ - название лингвистической функции; $ЛП_{3П}$ - зависимая лингвистическая переменная; $\{ЛП_H(i)\}$ - множество независимых ЛП; M - матрица соответствий между нечеткими значениями зависимой ЛП и нечеткими значениями независимых ЛП, которые определяются термами данных переменных; F - график ЛФ, представляющий собой аналитическую зависимость $a_{3П} = f(a_H^1, a_H^2, \dots, a_H^n)$ между значениями $a_{3П}$ зависимой ЛП и значениями $a_H^i, i = 1, 2, \dots, n$ независимых ЛП.

Для построения графиков лингвистических функций (4) определим для каждой пропорциональной составляющей $B_{i2}(П)$ управлений $B_{i2} \in B$ элементы их терм множества $T_{i2} = \{T_{i2}(j)\}, j = 1, 2, \dots, 5$, словесные (нечеткие) значения которых задаются следующими термами: «очень малая», «малая», «средняя», «большая» и «очень большая величина управления». Это позволяет на основе экспертных данных установить соответствие между нечеткими значениями отклонений Δa_{i2} параметров управления $a_{i2} \in A$ и нечеткими значениями соответствующих им управлений $B_{i2}(П)$, например, (табл.1).

Таблица 1. Соответствие между нечеткими значениями отклонений Δa_{i2} параметра управления a_{i2} и нечеткими значениями соответствующего ему управления $B_{i2}(II)$
Table 1. Correspondence between fuzzy values of deviations of the control parameter and fuzzy values of the corresponding control

Δa_{i2}	Очень малое	Малое	Среднее	Большое	Очень большое
$B_{i2}(II)$	Очень малая	Малая	Средняя	Большая	Очень большая

Используя правило перехода от нечетких значений различных ЛПП по максимуму функции принадлежности нечетких множеств соответствующих ее термам, можно по данным табл.1 сформировать соответствие между количественными значениями отклонений Δa_{i2} параметров состояния $a_{i2} \in A$ и количественными значениями b_{i2} соответствующих им управлений $B_{i2}(II)$ (табл. 2).

Таблица 2. Соответствие между количественными значениями отклонений $\Delta a_{i2}(j)$ параметра управления a_{i2} и количественными значениями соответствующего ему управления $b_{i2}(j), j=1,2,\dots,5$

Table 2. Correspondence between the quantitative values of deviations of the control parameter and the quantitative values of the corresponding control (j), j = 1,2, ..., 5

Δa_{i2}	$\Delta a_{i2}(1)$	$\Delta a_{i2}(2)$	$\Delta a_{i2}(3)$	$\Delta a_{i2}(4)$	$\Delta a_{i2}(5)$
$B_{i2}(II)$	$b_{i2}(1)$	$b_{i2}(2)$	$b_{i2}(3)$	$b_{i2}(4)$	$b_{i2}(5)$

Обработав полученные в табл.2 данные методами регрессионного анализа [20], можно построить графики лингвистических функций, или эмпирические аналитические зависимости (4). Полученные таким образом приближенные аналитические выражения или графики лингвистических функций позволяют сформировать логико-трансформационные правила вывода нечетких алгоритмов управления таким образом, чтобы они позволяли выявлять не только вид управлений $B_{i2}(II)$, но и их количественные характеристики по наблюдаемым значениям отклонений параметров состояния ОУ.

После выявления и реализации пропорциональной составляющей $B_{i2}(II)$ выбранного управления $B_{i2} \in B$ на основе графика соответствующей ему ЛФ, для достижения требуемой точности регулирования, как правило, реализуется его интегральная составляющая $B_{i2}(II)$. Реализация интегральной составляющей $B_{i2}(II)$ выбранного управления $B_{i2} \in B$ сводится к построению итерационного процесса его изменения с шагом, который определяется техническими характеристиками исполнительного механизма нечеткого регулятора каждого параметра состояния. Например, приращение управления может определяться одним шагом шагового двигателя исполнительного устройства и т.д.

В случае наличия в ОС постоянно действующего возмущающего фактора, приводящего к недопустимо высокой скорости изменения хотя бы одного параметра состояния ОУ, требуется реализация дифференциальной составляющей $B_{i2}(D)$ соответствующего ему управления $B_{i2} \in B$, постоянно действующей на период действия возмущающего фактора ОС. Для построения дифференциального закона регулирования формируются ЛФ, в которых роль независимой переменной выполняют дифференциальные составляющие $B_{i2}(D)$ выбранных управлений $B_{i2} \in B$, а независимой переменной – скорость изменения отклонения $v(\Delta a_{i2})$ регулируемого параметра.

График F ЛФ в этом случае строится по выше описанному принципу обработки экспертных данных и определяется в общем виде аналитической зависимостью $B_{i2}(D) = f(v(\Delta a_{i2}(t)))$.

Построение информационно-аналитической модели нечеткого ПИД закона регулирования при наличии взаимного влияния параметров состояния друг на друга. Сформулируем методики построения и реализации пропорциональной $B_{i_2}(P)$, интегральной $B_{i_2}(I)$ и дифференциальной $B_{i_2}(D)$ составляющих, выбираемых на основе нечетких алгоритмов управлений $B_{i_2} \in B$ при взаимном влиянии параметров состояния $a_{i_2} \in A$ ОУ друг на друга.

Следует отметить, что если имеется возможность разбиения множества параметров состояния ОУ A на классы $A_k, A_k \subset A, k=1,2,\dots,m_5$, в каждом из которых принадлежащие им параметры управления влияют друг на друга, то это значительным образом позволяет сократить размерность, как нечеткого алгоритма управления, так и размерность задач, решаемых в процессе формирования управлений. Если такое разбиение невозможно, то задача решается в общем виде при условии, что $m_5 = m, k=1, A_k = A$. В этом случае значения отклонений каждого параметра управления $a_{i_2} \in A$ можно выразить аналитической зависимостью следующего вида:

$$\Delta a_{i_2}(t) = f_{i_5}(\Delta a_1(t), \Delta a_2(t), \dots, \Delta a_d(t), B), i_2 = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Используя графики ЛФ (4) аналитическую зависимость (5) можно представить в виде графиков лингвистических функций следующего вида:

$$\Delta a_{i_2}(t) = h_1(k_1 B_{i_2}^1(P)) + h_2(k_2 B_{i_2}^2(P)) + \dots + h_m(k_m B_{i_2}^m(P)), i_2 = 1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

где $h_{i_2}, i_2 = 1, 2, \dots, m$ - коэффициенты пропорциональности, интерпретируемые как степени влияния пропорциональных составляющих $B_{i_2}(P)$ управлений $B_{i_2} \in B$ на отклонения параметров $a_{i_2} \in A$, которые определяются по данным, полученным экспертным путем.

Для определения коэффициентов пропорциональности $h_{i_2}, i_2 = 1, 2, \dots, m$ для всех управлений $B_{i_2} \in B$ определяется одна и та же ЛП с названием «Степень влияния управлений $B_{i_2} \in B$ на параметры состояния $a_{i_2} \in A$ ». В этом случае базовая шкала значений данной ЛП изменяется от 0 до 1 и разбивается экспертным путем на пять нечетких интервалов, определяемых терминами: «очень слабое влияние», «слабое влияние», «среднее влияние», «сильное влияние» и «очень сильное влияние».

Затем, по вышеописанному принципу построения ЛФ путем обработки экспертных данных, формируются их графики (6), отражающие изменения отклонений в результате отработки пропорциональных составляющих $B_{i_2}(P)$ управлений $B_{i_2} \in B$, выбираемых по заданному нечеткому алгоритму управления. В данном случае отклонения играют роль зависимых ЛП, а управления - независимых лингвистических переменных.

Затем на основании уравнений (6) формулируется следующая многокритериальная многофакторная задача оптимального управления. Найти такие компромиссные значения пропорциональных составляющих $B_{i_2}(P)$ для всех управлений $B_{i_2} \in B$, при которых отклонения $\Delta a_{i_2}, i_2 = 1, 2, \dots, m$ принимают компромиссные минимальные значения. Решить данную задачу можно, например, методом многокритериальной оптимизации по Парето [21].

При необходимости, дальнейшее повышение точности текущих значений параметров состояния $a_{i_2} \in A$ ОУ можно обеспечить путем реализации интегральных составляющих $B_{i_2}(I)$ соответствующих им управлений $B_{i_2} \in B$. Для реализации интегральных составляющих нечеткого регулятора параметров состояния ОУ будем исходить из следующих соображений. Очевидно, что степень h_{i_2} влияния «собственного» управления B_{i_2} на параметр состояния a_{i_2} значительно выше (для «собственного» управления B_{i_2}

параметра a_{i_2} она, как правило, определяется в матрице ЛФ термом «очень сильное влияние» и в уравнениях (6) принимает значение близкое к 1).

Отсюда, можно утверждать, что скорость изменения значений отклонений Δa_{i_2} параметров $a_{i_2} \in A$ под действием «собственного» управления значительно выше, чем скорость их изменений под воздействием «чужих» управлений $B_{i_2}^* \in B$.

Обсуждение результатов. Следовательно, организовав итерационный процесс реализации интегральных составляющих $B_{i_2}(И)$ управлений $B_{i_2} \in B$ методом покоординатного спуска (подъема) в прямоугольной системе координат [21], в которой координаты определяются различными управлениями, можно за конечное число итераций получить допустимые отклонения регулируемых параметров состояния $a_{i_2} \in A$ сложного ОУ.

Дифференциальные $B_{i_2}(Д)$ или компенсационные составляющие управлений $B_{i_2} \in B$, с учетом их влияния на каждый параметр состояния $a_{i_2} \in A$ ОУ при недопустимой скорости изменения их отклонений $v(\Delta a_{i_2})$, в первом приближении могут определяться по графикам соответствующих им ЛФ следующего вида: $B_{i_2}(П) = \sum_{j=1}^m k_j^{i_2}(П) v(\Delta a_j)$, где $k_j^{i_2}(Д)$, $j = 1, 2, \dots, m$ - коэффициенты пропорциональности регрессионной модели графиков ЛФ, построенной путем обработки данных экспертного опроса.

В данном случае в качестве независимых ЛП при формировании графиков соответствующих ЛФ рассматриваются ЛП, определяющие дифференциальные составляющие $B_{i_2}(Д)$ управлений $B_{i_2} \in B$, а зависимые ЛП соответствуют скоростям $v(\Delta a_{i_2})$, $i_2 = 1, 2, \dots, m$ изменения отклонений параметров состояния $a_{i_2} \in A$ ОУ.

Более точно дифференциальные $B_{i_2}(Д)$ составляющие управлений $B_{i_2} \in B$ можно определить путем решения задачи оптимального управления в следующей постановке. «Определить такие оптимально-компромиссные значения дифференциальных составляющих $B_{i_2}(Д)$, $i_2 = 1, 2, \dots, m$ управлений $B_{i_2} \in B$ по Парето, которые позволяют обеспечить минимальные (допустимые) значения скоростей $v(\Delta a_{i_2}) \rightarrow \min$ изменения параметров состояния под действием возмущающих факторов ОС». Для решения данной задачи на основе экспертных данных формируются ЛФ, графики которых в общем виде можно определить следующим образом:

$$v(\Delta a_{i_2}) = f_{i_2}(v(\Delta a_1) = f_1(B_1(Д)), v(\Delta a_2) = f_2(B_2(Д)), \dots, v(\Delta a_m) = f_m(B_m(Д))), i_2 = 1, 2, \dots, m. (7)$$

Затем использовать аналитические выражения данных графиков в качестве минимизируемых критериев эффективности процесса регулирования соответствующих им параметров состояния ОУ.

Для построения аналитической зависимости графиков такого вида ЛФ на основе экспертных данных путем их обработки методами регрессионного анализа, вначале формируются графики $v(\Delta a_{i_2}) = k_{i_2}^* B_{i_2}(Д)$ лингвистических функций, определяющие зависимость между скоростью $v(\Delta a_{i_2})$ изменения отдельных параметров состояния $a_{i_2} \in A$ ОУ и дифференциальными составляющими $B_{i_2}(Д)$ соответствующих им управлений $B_{i_2} \in B$, где $k_{i_2}^*$ - коэффициенты пропорциональности соответствующей регрессионной модели, построенной на основе экспертных данных.

Затем, на основе экспертных данных, обработанных по ранее описанному принципу, формируются аналитические зависимости графиков (7), представляющие собой

регрессионные модели следующего вида: $v(\Delta a_{i_2}) = \sum_{j=1}^m k_j^*(i_2) k_j^* B_j(D)$, где коэффициенты пропорциональности $k_j^*(i_2)$, которые изменяются от 0 до 1 и интерпретируются как степень влияния дифференциальных составляющих $B_j(D)$ на скорость $v(\Delta a_{i_2})$ изменения параметра состояния $a_{i_2} \in A$ ОУ.

Вывод. Резюмируя вышеизложенное, можно сформулировать следующие выводы.

1. Предложенный способ нечеткого представления и сравнения проблемных состояний сложных объектов управления позволяет сократить число продукционных правил вывода в нечетких алгоритмах управления, и на этой основе повысить оперативность принимаемых автоматическим образом управленческих решений.

2. Разработанный метод построения аналитической зависимости графиков ЛФ в виде эмпирических математических моделей, сформированных на основе экспертных данных путем их обработки методами регрессионного анализа, позволяет эффективным образом реализовать нечеткий ПИД закон регулирования параметров состояния сложного ОУ и таким образом обеспечить его устойчивое функционирование в нестабильной окружающей среде.

3. Построенная в работе информационно-аналитическая модель нечеткого ПИД закона регулирования обеспечивает возможность организовать эффективное управление состоянием сложных объектов в недоопределенных и нестабильных условиях функционирования.

4. Моделирование на ЭВМ практического использования, предложенной информационно-аналитической модели нечеткого пропорционально-интегрального закона регулирования в системе управления расходом воды гидроагрегатами ГЭС по заданной суточной программе (при следующих параметрах состояния ОУ: диаметр трубопровода изменяется от 0 при закрытом гидравлическом затворе до 5 м при полностью открытом гидравлическом затворе; значение расхода воды может изменяться в пределах от 0 до 150 м³/сек.), показало возможность экономии расхода воды в течение года до 3% за счет повышения точности регулирования и получения в результате этого экономического эффекта до 17 млн. рублей в год.

Библиографический список:

1. Хижняков Ю.Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого управления в системах реального времени. – Пермь: ПНИПУ, 2013. -169 с.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / Пер. с англ. - 2-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 798 с.
3. Kosko B. Fuzzy systems as universal approximations // IEEE Transactions on Computers. Vol. 43/ № 11, November 1994. – P. 1329-1333.
4. Cordon O., Herrera F., A General study on genetic fuzzy systems // Genetic Algorithms in engineering and computer science, 1995. – P. 33-57.
5. Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N. Introduction to fuzzy logic using Matlab. - Berlin: Springer, 2007. - 430 p.
6. Kato M., Yamamoto T., Fujisawa S. A skill based PID controller using artificial neural networks // Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, 28-30 Nov. 2005. Vol. 1. -P. 702-707.
7. Захаров В.И., Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. Методология проектирования // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1993. № 5. - С. 197-220.
8. Passino K.M., Stephen Yurkovich. Fuzzy Control. - Boston (USA): Addison Wesley Longman, 1998. - 522 p.

9. Zadeh L.A. Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. № 8. - P. 338-353.
10. Hu B.G., Mann G.K.I., Gossine R.G. A systematic study of fuzzy PID controllers - functionbased evaluation approach // *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 2001. Vol. 9, №5. - P. 699-711.
11. Kawafuku R., Sasaki M., Kato S. Selftuning PID control of a flexible micro actuator using neural networks // *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 11-14 Oct. 1998. Vol. 3. P. 3067-3072.
12. Li Jie, Xie Jianying, Wu Zhengmao. Design of disturbance rejection PID controllers for time delay system based on genetic algorithms // *International Conference on Neural Networks and Brain (ICNN&B '05)*, 13-15 Oct. 2005. Vol. 2. - P. 876-880.
13. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. -416 с.
14. Бурлаков М.В. Нечеткие регуляторы. – СПб.: ГУАП, 2010. -252 с.
15. Лубенцова Е.В., Петраков В.А., Слюсарев Г.В., Лубенцов В.Ф. Метод построения нечетких регуляторов с использованием аналитических выражений для управляющих воздействий // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 11. Том 3. – С. 484-490.
16. Мелехин В.Б., Алиев С.Н., Вердиев М.М. Лингвистические функции и особенности их применения в системах управления и принятия решений // *Научно-технические ведомости СПб ГПУ. Основной выпуск*. 2008. №2. С. 249-254.
17. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. -272 с.
18. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б. Планирование поведения интеллектуального робота. – М.: Энергоатомиздат, 1994. -238 с.
19. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б., Канаев М.М. Выбор величины управления при реализации нечетких управляющих алгоритмов// *Электронное моделирование*. 1989. № 1. -С. 91-99.
20. Драйнер М., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ / Пер. с англ. В 2-х кн. Кн. 1. –М.: Финансы и статистика, 1986. -366 с.
21. Растринин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Советское радио, 1980. -232 с.

References:

1. Khizhnyakov Yu. N. Algoritmy nechetkogo, neuronnogo i neuro-nechetkogo upravleniya v sistemakh real'nogo vremeni. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2013. 169 s. [Khizhnyakov Yu. N. Algorithms of fuzzy, neural and neural-fuzzy control in real-time systems. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2013. 169 p. (in Russ.)]
2. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie. 2-e izd. Moscow: BINOM. Laboratoriya znanii; 2013. 798 s. [Pegat A. Fuzzy modeling and control. 2nd edition. Moscow: BINOM. Laboratoriya znanii; 2013. 798 p. (in Russ.)]
3. Kosko B. Fuzzy systems as universal approximations. *IEEE Transactions on Computers*. 1994; 43(11):1329-1333.
4. Cordon O., Herrera F., A General study on genetic fuzzy systems. In *Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science*. J. Periaux, G. Winter, M. Galan, and P. Cuesta (Eds.): John Wiley and Sons; 1995. P. 33-57.
5. Sivanandam S.N., Sumathi S., Deepa S.N. Introduction to fuzzy logic using Matlab. Berli: Springer; 2007. 430 p.
6. Kato M., Yamamoto T., Fujisawa S. A skill based PID controller using artificial neural networks. Proceedings of “Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce”. 2005. Vol. 1. P. 702-707.
7. Zakharov V.I. Ul'yanov S.V. Nechetkie modeli intellektual'nykh promyshlennykh regulyatorov i sistem upravleniya. Metodologiya proektirovaniya. *Izvestiya RAN. Tekhnicheskaya*

- kibernetika. 1993; 5: 197-220. [Zakharov V.I. Ul'yanov S.V. Fuzzy models of intelligent industrial controllers and control systems. Design Methodology. Journal of Computer and Systems Sciences International. 1993; 5: 197-220. (in Russ.)]
8. Passino K.M., Yurkovich S. Fuzzy Control. Boston (USA): Addison Wesley Longman; 1998. 522 p.
 9. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control. 1965; 8:338-353.
 10. Hu B.G., Mann G.K.I., Gossine R.G. A systematic study of fuzzy PID controllers - functionbased evaluation approach. IEEE Trans. Fuzzy Syst. 2001; 9(5):699-711.
 11. Kawafuku R., Sasaki M., Kato S. Selftuning PID control of a flexible micro actuator using neural networks. Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. 1998; 3: 3067-3072.
 12. Jie L., Jianying X., Zhengmao W. Design of disturbance rejection PID controllers for time delay system based on genetic algorithms. Proceedings of International Conference on Neural Networks and Brain (ICNN&B '05). 2005; 2:876-880.
 13. Gostev V.I. Proektirovanie nechetkikh regulyatorov dlya sistem avtomaticheskogo upravleniya. Saint-Petersburg: BHV – Peterburg; 2011. 416 s. [Gostev V.I. Designing fuzzy controllers for automatic control systems. Saint-Petersburg: BHV – Peterburg; 2011. 416 s. (in Russ.)]
 14. Burlakov M.V. Nechetkie regulatory. Saint-Petersburg: GUAP; 2010. 252 s. [Burlakov M.V. Fuzzy regulators. Saint-Petersburg: GUAP; 2010. 252 p. (in Russ.)]
 15. Lubentsova E.V., Petrakov V.A., Slyusarev G.V., Lubentsov V.F. Metod postroeniya nechetkikh regulyatorov s ispol'zovaniem analiticheskikh vyrazhenii dlya upravlyayushchikh vozdeistvii. Fundamental'nye issledovaniya. 2015; 11(3):484-490. [Lubentsova E.V., Petrakov V.A., Slyusarev G.V., Lubentsov V.F. Method for constructing fuzzy regulators using analytical expressions for control actions. Fundamental research. 2015; 11(3):484-490. (in Russ.)]
 16. Melekhin V.B., Aliev S.N., Verdiev M.M. Lingvisticheskie funktsii i osobennosti ikh primeniya v sistemakh upravleniya i prinyatiya reshenii. Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPb GPU. Osnovnoi vypusk. 2008; 2:249-254. [Melekhin V.B., Aliev S.N., Verdiev M.M. Linguistic functions and features of their application in management and decision-making systems. St. Petersburg Polytechnic University Journal Of Engineering Sciences And Technology. 2008; 2:249-254. (in Russ.)]
 17. Melikhov A.N., Bernshtein L.S., Korovin S.Ya. Situatsionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoi logikoi. Moscow: Nauka; 1990. 272 s. [Melikhov A.N., Bernshtein L.S., Korovin S.Ya. Fuzzy-Logic Situational Advisory Systems. Moscow: Nauka; 1990. 272 p. (in Russ.)]
 18. Bernshtein L.S., Melekhin V.B. Planirovanie povedeniya intellektual'nogo robota. Moscow: Energoatomizdat; 1994. 238 s. [Bernshtein L.S., Melekhin V.B. Planning the behavior of an intellectual robot. Moscow: Energoatomizdat; 1994. 238 s. (in Russ.)]
 19. Bernshtein L.S., Melekhin V.B., Kanaev M.M. Vybory velichiny upravleniya pri realizatsii nechetkikh upravlyayushchikh algoritmov. Elektronnoe modelirovanie. 1989; 1:91-99. [Bernshtein L.S., Melekhin V.B., Kanaev M.M. Selection of the control value for the realization of fuzzy control algorithms. Engineering Simulation. 1989; 1:91-99. (in Russ.)]
 20. Drayner M., Smit G. Prikladnoi regressiionnyi analiz. Per. S. Angl. V 2 kn. Kn. 1. Moscow: Finansy i statistika; 1986. 366 s. [Drayner M., Smit G. Applied regression analysis. Translated from English. In 2 books. Book 1. Moscow: Finansy i statistika; 1986. 366 p. (in Russ.)]
 21. Rastrigin L.A. Sovremennye printsipy upravleniya slozhnyimi ob'ektami. Moscow: Sovetskoye radio; 1980. 232 s. [Rastrigin L.A. Modern principles of managing complex objects. Moscow: Sovetskoye radio; 1980. 232 p. (in Russ.)]

Сведения об авторах.

Абдурагимов Тимур Тагирович - соискатель кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Мелехин Владимир Борисович - д.т.н., профессор, зав. кафедрой программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Хачумов Вячеслав Михайлович - д.т.н., профессор, зав лаб. 0-4. «Методы интеллектуального управления» Института системного анализа РАН.

Information about the authors.

Timur T. Abduragimov - competitor of the pulpit of software of the computing machinery and automated systems.

Vladimir B. Melekhin - Dr. Sc. (Technical), Prof., head of the chair of software of the computing machinery and automated systems.

Vyacheslav M. Hachumov - Dr. Sc. (Technical), Prof. head of Lab. 0-4. «Methods of intellectual management», Institute of the system analysis by WOUNDS.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 12.12.2016.

Принята в печать 20.01.2017.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.12.2016.

Accepted for publication 20.01.2017.

Для цитирования: Абуев Я.К., Бабаев А.Б., Эсетов Ф.Э. Компьютерное моделирование антиферромагнитных структур, описываемых трехвершинной антиферромагнитной моделью поттса. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):61-69. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-61-69

For citation: Abuev Y.K., Babaev A.B., Esetov Ph.E. Computer simulation of antiferromagnetic structures described by the three-vertex antiferromagnetic potts model. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):61-69. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-61-69

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 239.2

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-61-69

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ СТРУКТУР, ОПИСЫВАЕМЫХ ТРЕХВЕРШИННОЙ АНТИФЕРРОМАГНИТНОЙ МОДЕЛЬЮ ПОТТСА

Абуев Я.К.¹, Бабаев А.Б.², Эсетов Ф.Э.³

¹Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН,
367003, Махачкала, Россия

²⁻³Дагестанский государственный педагогический университет,
367003, Махачкала, Россия
e-mail: ²b_albert78@mail.ru,

Резюме: Цель. Проведено компьютерное моделирование антиферромагнитных структур описываемых трехвершинной моделью Поттса на треугольной решетке с учетом антиферромагнитных обменных взаимодействий между ближайшими J_1 и вторыми соседями J_2 . Основной целью компьютерного моделирования являлось выяснение основного состояния и областей влияния фрустраций на термодинамические и магнитные свойства антиферромагнитных структур описываемых низкоразмерной моделью Поттса. **Метод.** Компьютерное моделирование проведено на основе метода Монте-Карло. При этом рассматриваемый метод реализуется с применением алгоритма Метрополиса в сочетании с кластерным алгоритмом Вольфа. Компьютерное моделирование проводилось для низкоразмерных систем с периодическими граничными условиями и линейными размерами $L=24 \div 124$. **Результат.** На основе анализа теплоемкости и энтропии, показано, что в рассматриваемой модели с величинами взаимодействий обменных параметров $J_1 < 0$ и $J_2 < 0$ в интервалах изменений величины $0 \leq r < 0.2$ и $1.0 < r \leq 2.0$ ($r = J_2/J_1$) наблюдаются фазовые переходы. В промежуточном интервале $0.2 \leq r \leq 1.0$ фазовый переход отсутствует, и наблюдаются фрустрации. Для всех рассмотренных систем с линейными размерами L получены температурные зависимости термодинамических параметров, таких как теплоемкости, восприимчивости, и энтропии. Обсуждается поведение этих параметров, как при низких, так и при высоких значениях температур. На основе применения метода кумулянтов Биндера четвертого порядка определены температуры фазовых переходов. **Вывод.** Показано, в каких случаях в зависимости от величины r в моделируемой системе наблюдается фазовый переход, а в каких - фрустрации. Доказано, что конкуренция обменных параметров первых и вторых ближайших соседей в интервале изменений параметра r $0.2 \leq r \leq 1$ приводит к вырождению основного состояния рассматриваемой структуры и в рассматриваемом интервале наблюдаются фрустрации. На основе полученных данных построена фазовая диаграмма в зависимости от температуры фазового перехода и величины отношения r .

Ключевые слова: фрустрации, фазовые переходы, модель Поттса, треугольная решетка

TECHICALSCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

COMPUTER SIMULATION OF ANTIFERROMAGNETIC STRUCTURES DESCRIBED BY
THE THREE-VERTEX ANTIFERROMAGNETIC POTTS MODEL

Abuev Y.K.¹, Babaev A.B.², Esetov Ph.E.³

¹Institute of Physics of Daghestan Scientific Center of Russian Academy of Sciences,
52 M. Yaragskogo Str., 367003 Makhachkala, Russia

²⁻³ Daghestan State Pedagogical University,
57 M. Yaragskogo Str., Makhachkala 367003, Russia
e-mail: ²b_albert78@mail.ru,

Abstract. Objectives A computer simulation of the antiferromagnetic structures described by the three-vertex Potts model on a triangular lattice is performed, taking into account the antiferromagnetic exchange interactions between the nearest J_1 and second J_2 neighbours. The main goal of the computer simulation was to elucidate the effects of ground state and areas of frustration on the thermodynamic and magnetic properties of antiferromagnetic structures described by the low-dimensional Potts model. **Method** The computer simulation is based on the Monte Carlo method. This method is implemented using the Metropolis algorithm in combination with the Wolff cluster algorithm. The computer simulation was carried out for low-dimensional systems with periodic boundary conditions and linear dimensions $L = 24 \div 124$. **Results** On the basis of heat capacity and entropy analysis, phase transitions were observed in the considered model to possess exchange interaction parameters $J_1 < 0$ and $J_2 < 0$ in the variation intervals $0 \leq r < 0.2$ and $1.0 < r \leq 2.0$ ($r = J_2/J_1$). In the intermediate interval $0.2 \leq r \leq 1.0$ there is no phase transition, and frustrations are observed. The temperature dependences of thermodynamic parameters, such as heat capacity, susceptibility and entropy, were obtained for all considered systems with linear dimensions L . The behaviour of these parameters, both at low and high temperatures, is discussed. The temperatures of the phase transitions are determined using the Binder fourth-order cumulant method. **Conclusion** Cases are shown in which, depending on the r -value, either a phase transition or a frustration is observed in the simulated system. It is proved that the competition between the exchange parameters of the first and second nearest neighbors in the r variation interval $0.2 \leq r \leq 1.0$ leads to a degeneracy in the examined structure ground state; frustrations are additionally observed in the interval under consideration. On the basis of the obtained data, a phase diagram is constructed depending on the phase transition temperature and r -ratio.

Keywords: frustrations, phase transitions, Potts model, triangular lattice

Введение. В последние двадцатилетие интенсивно обсуждаются фазовые переходы (ФП) и критические явления (КЯ) в магнетиках, описываемых двумерными (2D) решеточными моделями Изинга и Поттса [1-3]. Это обусловлено тем, что низкоразмерные решеточные модели на треугольной решетке описывают большой класс реальных физических систем: слоистые магнетики, пленки жидкого гелия, сверхпроводящие пленки, адсорбированные пленки и др. [4-10]. Атомы в узлах треугольной решетки отличаются состояниями. В рассматриваемой работе атом в узле может принимать три различные состояния – состояние с $s=1$ – покрашенный черным цветом атом, состояние с $s=2$ – покрашенный серым цветом узел, – состояние с $s=3$ – покрашенный белым цветом атом (рис.1). Если антиферромагнитное (АФ) взаимодействием первых соседей намного больше АФ взаимодействия вторых соседей реализуется конфигурация а) см. рис.1., если же взаимодействия вторых соседей будут намного больше, чем взаимодействие с первыми соседями, то реализуется конфигурации, приведенные на рис. 1 (в), и в промежуточном случае - реализуются конфигурации 1 (б).

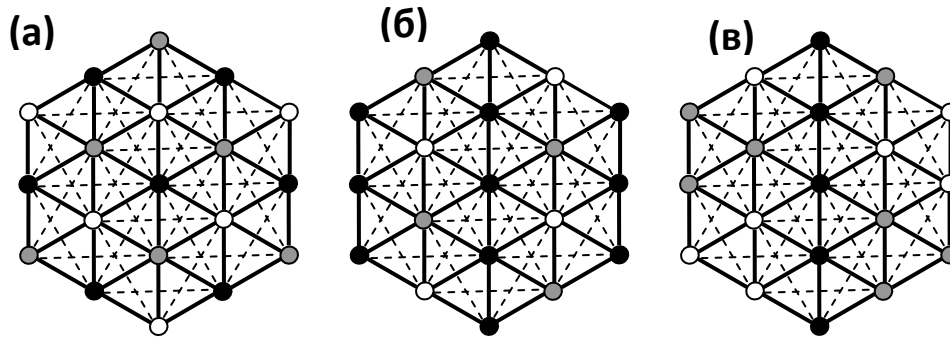


Рис.1. Магнитные структуры в 3-вершинной модели Поттса на треугольной решетке. Исходная фаза (а) соответствует параметру $r=J_2/J_1$ в диапазоне $0 < r < 0.2$; промежуточная фаза (б) – в диапазоне $0.2 < r < 1.0$; конечная фаза (в) – в диапазоне $r > 1.0$.

Fig.1. Magnetic structures in the 3-vertex Potts model on a triangular lattice. The initial phase (a) corresponds to the parameter $r = J_2 / J_1$ in the range $0 < r < 0.2$; Intermediate phase (b) - in the range $0.2 < r < 1.0$; The final phase (in) is in the range $r > 1.0$.

Постановка задачи. Антиферромагнетик на треугольной решетке является примером фрустрированной спиновой системы. Эффекты фрустраций играют важную роль в различных магнитных системах. Экспериментальные [3] и теоретические исследования [4] позволили установить, что фрустрированные системы проявляют свойства, отличные от соответствующих нефрустрированных систем. Однако, необходимо отметить, что в случае трехвершинной антиферромагнитной (АФ) модели Поттса на треугольной решетке в основном состоянии фрустрация обусловленная геометрией решетки отсутствует и магнитная система упорядочена при конечной температуре. При учете вторых ближайших соседей конкуренция обменных взаимодействий может привести к фрустрациям, т.е. такому пространственному расположению магнитных моментов атомов в кристалле, при котором невозможно одновременное антиферромагнитное упорядочение всех взаимодействующих спинов (рис.1).

Нами ранее в работах [11, 12] на основе метода Монте-Карло исследовалась трехвершинная антиферромагнитная модель Поттса на треугольной решетке с учетом первых и вторых ближайших соседей с величинами взаимодействий $J_1 < 0$ и $J_2 < 0$ в диапазоне значений $r=0.0 \div 1.0$, $r=J_2/J_1$. Было обнаружено, что в этой модели в интервале изменений величины $0,0 \leq r < 0,2$ наблюдается ФП первого рода, в то время как в интервале изменений $0,2 \leq r \leq 1,0$ – в системе возникают фрустрации, и нет ФП. При этом, в работах не было установлено, что происходит при $r > 1$ – фрустрации или фазовый переход?

Исследование термодинамических параметров в зависимости от величины отношения вторых ближайших соседей к первым $r = J_2/J_1$ в интервале изменений $1,0 \leq r \leq 2,0$ и определение значений r , при которых в магнитной структуре, описываемой трехвершинной моделью Поттса на треугольной решетке, возникают фрустрации, расчет энтропии, температуры фазового перехода, и в зависимости от этого отношения является главной задачей этой работы.

Методы исследования. Антиферромагнитная трехвершинная ($q=3$) модель Поттса на треугольной решетке с учетом взаимодействия вторых ближайших соседей описывается следующим гамильтонианом [5]:

$$H = -J_1 \sum_{i,j} \cos \theta_{i,j} - J_2 \sum_{i,k} \cos \theta_{i,k}, \quad (1)$$

где J_1 и J_2 – параметры обменных антиферромагнитных ($J_1 < 0$, $J_2 < 0$) взаимодействий для ближайших и вторых ближайших соседей соответственно, $\theta_{i,j}$, $\theta_{i,k}$ – углы между взаимодействующими спинами $S_i - S_j$ и $S_i - S_k$ соответственно, причем $\theta_{i,j}$ принимают три

значения 0° , 120° и 240° . Следует отметить, что рассматриваемая нами модель хорошо описывает термодинамические и критические свойства и неупорядоченных магнетиков [13, 14].

Расчеты проведены для систем с периодическими граничными условиями и с линейными размерами $L \times L = N$, $L=24 \div 124$ на основе алгоритма Метрополиса метода Монте-Карло. При этом отношение обменного взаимодействия вторых и ближайших соседей менялось в интервале $0 \leq r \leq 2.0$, где $r = J_2/J_1$. Кроме того нами, осуществлен анализ поведения термодинамических параметров, определены температуры ФП, и вычислены предельные значения энтропии при низких и высоких температурах. Начальные конфигурации задавались таким образом, чтобы все спины находились в разных состояниях. Для вывода системы в равновесное состояние вычислялось время релаксации τ_0 для всех систем с линейными размерами L . Затем усреднение проводилось по участку марковской цепи длиной $\tau = 200\tau_0$. Кроме того, для повышения точности расчетов проводилось усреднение по 10 различным начальным конфигурациям. Затем эти данные использовались для расчета средних значений термодинамических параметров.

Обсуждение результатов. Для наблюдения за температурным ходом поведения теплоемкости и восприимчивости нами использовались флуктуационные соотношения [15]:

$$C = (NK^2)(\langle U^2 \rangle - \langle U \rangle^2), \quad (2)$$

$$\chi = (NK)(\langle m^2 \rangle - \langle m \rangle^2), \quad (3)$$

где $K = J/k_B T$, $N = L^2$ - число магнитных узлов, U - внутренняя энергия, m - параметр порядка системы. Угловые скобки означают термодинамическое усреднение.

На рис.2 представлены характерные зависимости теплоемкости C от температуры T для случая $J_1 < 0$ и $J_2 < 0$ при различных значениях r , полученные для систем с линейными размерами $L=60$. Здесь и далее на всех рисунках погрешность данных не превышает размеров символов, используемых для построения графиков.

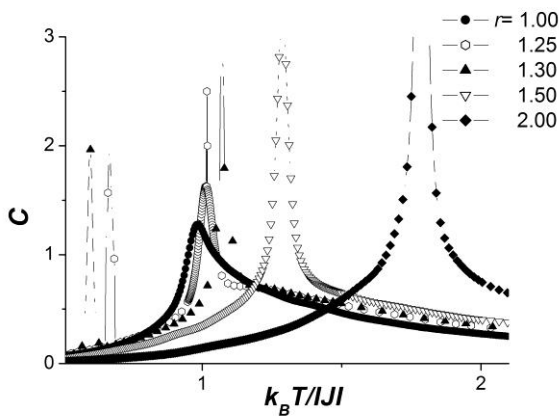


Рис.2. Температурные зависимости теплоемкости в интервале изменений r , $1.0 < r < 2.0$.
 Fig.2. Temperature dependences of heat capacity in the range of changes r , $1.0 < r < 2.0$.

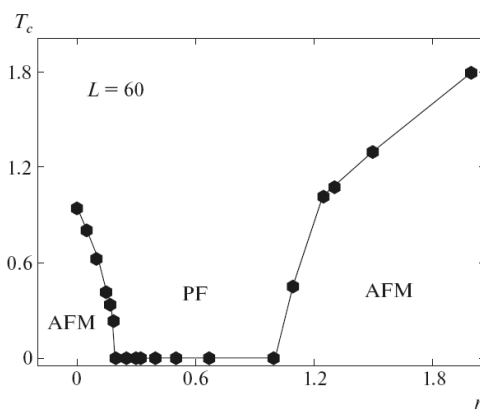


Рис.3. Зависимость точки фазового перехода в 3-вершинной модели Поттса на треугольной решетке от параметра $r = J_2/J_1$.
 Fig.3. Dependence of the phase transition point in the 3-vertex Potts model on a triangular lattice on the parameter $r = J_2 / J_1$.

Как видно из рис.2, уменьшение значения r в интервале $1.0 \leq r \leq 2.0$ приводит к сдвигу максимумов в сторону более низких температур. При этом наблюдается и уменьшение абсолютных значений максимумов теплоемкости. Такое поведение температурных зависимостей теплоемкости в зависимости от r обусловлено тем, что с уменьшением взаимодействия вторых соседей уменьшается вклад энергии взаимодействия по модулю, что ослабевает жесткость системы и, соответственно, понижает температуру фазового перехода.

Уменьшение абсолютных значений максимумов теплоемкости происходит за счет конкуренции первых и вторых ближайших соседей. Кроме того, из рисунка 2 видно, что при $r=1,0$ очевидной расходимости в критической области не наблюдается, что характерно для фрустрированных систем.

И наоборот, для систем с $r=1,25; 1,30; 1,50$ и $2,0$ в критической области наблюдается явная расходимость. При $r=1,25$ и $1,3$ наблюдается расщепление теплоемкости. Расщепление теплоемкости обычно характерно вблизи точки фрустрации. В работе [11] такое поведение теплоемкости было обнаружено для значения $r=0,167$. Зависимость точки фазового перехода в 3-вершинной модели Поттса на треугольной решетке от параметра r представлена на рисунке 3.

Для анализа характера ФП и особенностей поведения термодинамических характеристик вблизи точки перехода нами применялся метод кумулянтов Биндера четвертого порядка [16]:

$$V_L(T) = 1 - \frac{\langle E^4 \rangle_L}{3 \langle E^2 \rangle_L^2}, \quad (4)$$

$$U_L(T) = 1 - \frac{\langle m^4(T, L) \rangle_L}{3 \langle m^2(T, L) \rangle_L^2}, \quad (5)$$

где E - энергия и m - параметр порядка системы с линейными размерами L . Выражения (4) и (5) позволяют с хорошей точностью определить T_c при фазовых переходах первого и второго рода соответственно. Следует отметить, что применение кумулянтов Биндера позволяет также хорошо тестировать род фазового перехода в системе.

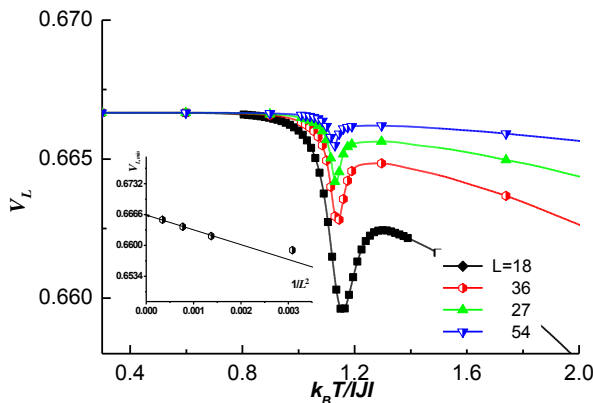


Рис.4. Температурная зависимость кумулянтов Биндера $V_L(T)$ для двумерной модели Поттса с величинами взаимодействий $J_1 > 0$ и $J_2 < 0$, при $|r|=1/3$.

Fig. 4. Temperature dependence of the Binder capacitor $V_L(T)$ for the two-dimensional Potts model with the interaction quantities $J_1 > 0$ and $J_2 < 0$, with $|r| = 1/3$.

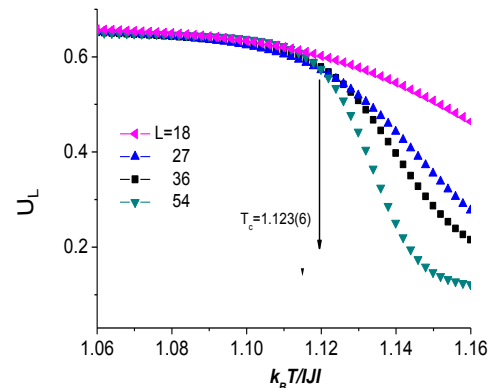


Рис.5. Температурная зависимость кумулянтов Биндера $U_L(T)$ для трехвершинной модели Поттса с величинами взаимодействий $J_1 > 0$ и $J_2 < 0$, при $|r|=1/3$.

Fig. 5. Temperature dependence of Binder's cumulants $U_L(T)$ for the three-vertex Potts model with the interaction values $J_1 > 0$ and $J_2 < 0$, with $|r| = 1/3$

Методика определения критической температуры нами рассмотрена в работах [17-20]. Известно, что фазовые переходы второго рода характеризуются, в частности, следующими отличительными особенностями [3]: усредненная величина $V_L(T)$ стремится к тривиальному значению V^* согласно выражению

$$V(T) = V^* + bL^{-d} \quad (6)$$

при $L \rightarrow \infty$ и $T = T_c(L)$, где $v^* = 2/3$, что и продемонстрировано на рис. 4. Кроме того, в случае ФП второго рода кривые температурной зависимости кумулянтов Биндера $U_L(T)$ по параметру порядка m имеют четко выраженную точку пересечения.

Характерные зависимости кумулянтов Биндера $U_L(T)$ для 2D модели Поттса от температуры для систем с разными линейными размерами L приведены на рис. 5. Как видно из рис. 5 в критической области наблюдается четко выраженная точка пересечения, что и свидетельствует о ФП второго рода. Кроме того, этот рисунок демонстрирует насколько точно можно определить критическую температуру T_c .

Основываясь на результатах данной работы и предыдущих исследований [11], мы построили зависимость точки фазового перехода (рис.3) в 3-вершинной модели Поттса на треугольной решетке от параметра $r = J_2/J_1$.

Известно, что в системах с фрустрациями энтропия S при низких температурах должна стремиться к отличному от нуля значению, а при высоких температурах энтропия должна стремиться к величине $\ln(q)$, поскольку при $T \rightarrow \infty$ статистическая сумма равна q^N . Указанные особенности для двумерной АФ 3-вершинной модели Поттса на треугольной решетке продемонстрированы на рис. 6. Зависимость нуль-температурной энтропии от величины r приведена на рис. 7.

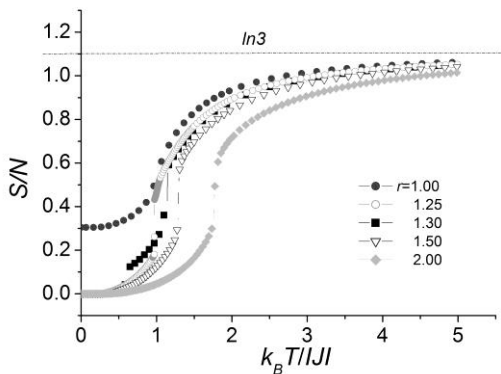


Рис.6. Температурная зависимость энтропии S для 2D АФ модели Поттса с $q=3$ в интервале изменений величины $1,0 \leq r \leq 2,0$.
Fig.6. Temperature dependence of entropy S for the 2D AF Potts model with $q = 3$ in the range of changes of magnitude $1,0 \leq r \leq 2,0$.

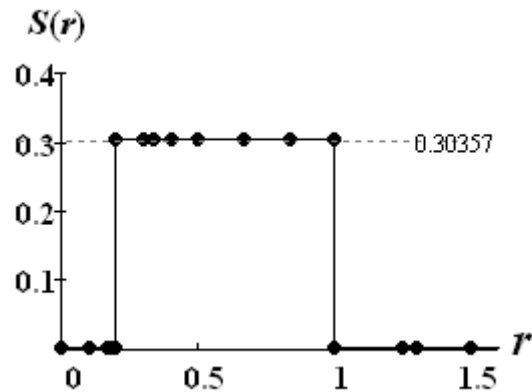


Рис.7. Зависимость энтропии (при $T=0$) в 3-вершинной модели Поттса на треугольной решетке от параметра $r = J_2/J_1$.
Fig.7. Dependence of entropy (at $T = 0$) in the 3-vertex Potts model on a triangular lattice on the parameter $r = J_2/J_1$.

Как видно из рис. 7 выделяются две фазы с соответствующими интервалами изменений величины r , $0 \leq r < 0,2$ и $1,0 < r \leq 2,0$ для которых имеется дальний порядок по ориентации спинов в каждой из подрешетках. Энтропия этих упорядоченных фаз как видно из рис. 7 равна нулю. В тоже время в интервале изменений величины $0,2 \leq r < 1,0$ энтропия отлична от нуля, что является характерным признаком отсутствия упорядочения в рассматриваемой магнитной системе.

Вывод. Таким образом, наши данные, полученные для антиферромагнитной структуры, описываемой двумерной трехвершинной моделью Поттса на треугольной решетке, на основе алгоритма Метрополиса метода Монте-Карло в широком интервале изменений величины $r = J_2/J_1$ — отношения взаимодействия между вторыми соседями к взаимодействию между ближайшими соседями $0 \leq r \leq 2,0$, приводят к следующим результатам:

1. В интервалах изменений величины $0 \leq r < 0,2$ и $1,0 \leq r \leq 2,0$ в рассматриваемых структурах возникают фазовые переходы первого рода.

2. Конкуренция обменных параметров первых и вторых ближайших соседей в интервале изменений параметра r $0,2 \leq r \leq 1$ приводит к вырождению основного состояния рассматриваемой структуры, и в рассматриваемом интервале наблюдаются фрустрации.

Библиографический список:

1. Diep H.T., Frustrated spin systems, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2004.
2. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Tricritical point of the three-dimensional Potts model ($q = 4$) with quenched nonmagnetic disorder // JETP Letters, 2014, 99, 9, 535.
3. Loison D., Schotte K.D., First and second order transition in frustrated XY systems // The European Physical Journal B, 1998, 5, 735.
4. Гехт Р.С., Магнитные состояния и фазовые переходы во фрустрированных антиферромагнетиках с треугольной решеткой // УФН, 1989, 159, 261.
5. Wu F.Y., The Potts model // Rev. Mod. Phys., 1982, 54, 235.
6. Малеев С.В., УФН, 2002, 172, 6, 617.
7. Liao H.J., Xie Z.Y., Chen J., Liu Z.Y., Xie H.D., Huang R.Z., Normand B., Xiang T., Gapless Spin-Liquid Ground State in the $S=1/2$ Kagome Antiferromagnet // Phys. Rev. Lett., 2017, 118, 137202.
8. Hallas A.M., Sharma A.Z., Cai Y., Munsie T.J., Wilson M.N., Tachibana M., Wiebe C.R., and Luke G.M., Relief of frustration in the Heisenberg pyrochlore antiferromagnet $Gd_2Pt_2O_7$ // Phys. Rev. , 2016, 94, 134417.
9. Landau D.P., Binder K., A Guide to Monte-Carlo Simulations in Statistical Physics (Cambridge: Cambridge University Press), 2009.
10. Nagai T., Okamoto Y., Janke W. Crossover scaling in the two-dimensional three-state Potts model. Condensed Matter Physics, 2013, 16, 23605.
11. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Magomedov M.A., Kassar-Ogly F.A., Proshkin A.I., Frustrations and phase transitions in the three-vertex Potts Model with next-nearest-neighbor interactions on a triangular lattice // JETP Letters, 2014, 100, 4, 242.
12. Бабаев А.Б., Муртазаев А.К., Сулейманов Э.М., Ризванова Т.Р., Исследование влияния фрустраций на термодинамические свойства низкоразмерной модели Поттса методами компьютерного моделирования // ФТТ, 2016, 58,10, 2001.
13. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Aznaurova G.Ya., Phase transitions in a three-dimensional diluted Potts model with 4 spin states // Low Temperature Physics, 2011, 37, 134.
14. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Ataeva G.Ya., Phase transitions in two-dimensional ferromagnetic Potts model with $q=3$ on a triangular lattice // Low Temperature Physics, 2013, 39, 2, 147.
15. Peczac P., Ferrenberg A.M., Landau D.P., High-accuracy Monte Carlo study of the three-dimensional classical Heisenberg ferromagnet // Phys.Rev. B1991,43, 6087.
16. Eichhorn K., Binder K., Monte Carlo investigation of the three-dimensional random-field three-state Potts model // J. Phys.: Condens. Matter, 1996, 8, 5209.
17. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Phase transitions in the two-dimensional Ferro- and antiferromagnetic Potts models on a triangular lattice // JETP, 2012, 115, 6, 1042.
18. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Aznaurova G.Y., Phase transition properties of three-dimensional systems described by diluted Potts model // JETP, 2009, 109, 3, 442.
19. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Aznaurova G.Y., Investigation of the critical properties in the 3d site-diluted Potts model // Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena, 2009, 152-153, 571.
20. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Aznaurova G.Y., Phase transitions in 3D site-diluted Potts model with spin states $q=4$ // Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena, 2011, 168-169, 357.

References:

1. Diep H.T. Frustrated spin systems. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd; 2004.

2. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Tricritical point of the three-dimensional Potts model ($q = 4$) with quenched nonmagnetic disorder. *JETP Letters*. 2014; 99:535.
3. Loison D., Schotte K.D., First and second order transition in frustrated XY systems. *The European Physical Journal B*. 1998; 5:735.
4. Geht R.S. Magnitnye sostoyaniya i fazovye perekhody vo frustrirovannykh antiferromagnetikakh s treugol'noi reshetkoi. *Uspekhi fizicheskikh nauk*; 1989; 159:261. [Geht R.S. Magnetic states and phase transitions in frustrated antiferromagnets with a triangular lattice. *Advances in Physical Sciences*; 1989; 159:261. (in Russ.)]
5. Wu F.Y. The Potts model. *Rev. Mod. Phys.* 1982; 54:235.
6. Maleev S.V. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2002; 172(6):617. [Maleev S.V. *Advances in Physical Sciences*. 2002; 172(6):617. (in Russ.)]
7. Liao H.J., Xie Z.Y., Chen J., Liu Z.Y., Xie H.D., Huang R.Z., Normand B., Xiang T. Gapless Spin-Liquid Ground State in the $S=1/2$ Kagome Antiferromagnet. *Phys. Rev. Lett.* 2017; 118:137202.
8. Hallas A.M., Sharma A.Z., Cai Y., Munsie T.J., Wilson M.N., Tachibana M., Wiebe C.R., Luke G.M. Relief of frustration in the Heisenberg pyrochlore antiferromagnet $Gd_2Pt_2O_7$. *Phys. Rev.* 2016; 94:134417.
9. Landau D.P., Binder K., *A Guide to Monte-Carlo Simulations in Statistical Physics*. Cambridge: Cambridge University Press; 2009.
10. Nagai T., Okamoto Y., Janke W. Crossover scaling in the two-dimensional three-state Potts model. *Condensed Matter Physics*. 2013; 16:23605.
11. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Magomedov M.A., Kassan-Ogly F.A., Proshkin A.I. Frustrations and phase transitions in the three-vertex Potts Model with next-nearest-neighbor interactions on a triangular lattice. *JETP Letters*. 2014; 100(4):242.
12. Babaev A.B., Murtazaev A.K., Suleymanov E.M., Rizvanova T.R. Issledovanie vliyaniya frustratsii na termodinamicheskie svoystva nizkorazmernoi modeli Potts metodomami komp'yuternogo modelirovaniya. *Fizika tverdogo tela*. 2016; 58(10):2001. [Babaev A.B., Murtazaev A.K., Suleymanov E.M., Rizvanova T.R. Investigation of frustration effect on the thermodynamic properties of the low-dimensional Potts model using computer simulation. *Physics of the Solid State*. 2016; 58(10):2001. (in Russ.)]
13. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Aznaurova G.Ya. Phase transitions in a three-dimensional diluted Potts model with 4 spin states. *Low Temperature Physics*. 2011; 37:134.
14. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Ataeva G.Ya. Phase transitions in two-dimensional ferromagnetic Potts model with $q=3$ on a triangular lattice. *Low Temperature Physics*. 2013; 39(2):147.
15. Peczac P., Ferrenberg A.M., Landau D.P. High-accuracy Monte Carlo study of the three-dimensional classical Heisenberg ferromagnet. *Phys.Rev. B*. 1991; 43:6087.
16. Eichhorn K., Binder K. Monte Carlo investigation of the three-dimensional random-field three-state Potts model. *J. Phys. Condens. Matter*. 1996; 8:5209.
17. Murtazaev A.K., Babaev A.B. Phase transitions in the two-dimensional Ferro-and antiferromagnetic Potts models on a triangular lattice. *JETP*. 2012; 115(6):1042.
18. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Aznaurova G.Y. Phase transition properties of three-dimensional systems described by diluted Potts model. *JETP*. 2009; 109(3):442.
19. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Aznaurova G.Y. Investigation of the critical properties in the 3d site-diluted Potts model. *Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena*. 2009; (152-153):571.
20. Murtazaev A.K., Babaev A.B., Aznaurova G.Y. Phase transitions in 3D site-diluted Potts model with spin states $q=4$. *Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena*, 2011; (168-169): 357.

Сведения об авторах.

Абуев Яраш Козовович – научный сотрудник Института физики, Дагестанского научного центра Российской академии наук.

Бабаев Альберт Бабаевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информатики и вычислительной техники» факультета математики, физики и информатики.

Эсетов Фархад Эзединович – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Информатики и вычислительной техники» факультета математики, физики и информатики.

Information about the authors.

Yarash K. Abuev - research fellow at the Institute of physics, Dagestan scientific center of the Russian academy of sciences.

Albert B. Babaev - Cand. Sc.(Phys.- Math.1), Assoc. Prof., Department of Informatics and computer engineering at the faculty of mathematics, physics and informatics.

Pharkhat E. Esetov - Cand. Sc.(Pedagogic.), Assoc. Prof., Department of informatics and computer engineering of the faculty of mathematics, physics and informatics.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 30.11.2016.

Принята в печать 13.01.2017.

Conflict of interest

Received 30.11.2016.

Accepted for publication 13.01.2017.

Для цитирования: Ветров А.Н. Прикладной диагностический модуль для диагностики параметров когнитивной модели субъекта обучения в адаптивной среде. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):70-85. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-70-85

For citation: Vetrov A.N. Applied diagnostic module for determining cognitive model parameters of subjects of education in an adaptive environment. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):70-85 (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-70-85

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.81.308.8.519.688

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-70-85

ПРИКЛАДНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ СУБЪЕКТА ОБУЧЕНИЯ В АДАПТИВНОЙ СРЕДЕ

Ветров А.Н.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет,
«ЛЭТИ», 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5,
Международный банковский институт,
191023, г. Санкт-Петербург, Невский пр., д. 60,
e-mail: vetrovan@nwgsu.ru

Резюме: *Цель.* Повышение эффективности функционирования информационно-образовательной среды системы автоматизированного обучения за счет реализации индивидуально ориентированного формирования знаний обучаемого с использованием адаптивной генерации разнородных образовательных воздействий на основе инновационного блока параметрических когнитивных моделей и комплекса программ для обеспечения автоматизации задач исследования. **Метод.** Системный анализ и моделирование информационно-образовательной среды. В процессе автоматизации диагностики индивидуальных особенностей личности субъекта обучения каждый метод исследования обуславливает ввод: локализации метода исследования, наименования блока вопросов (субтеста), текстологических содержаний пояснения, формулировки вопроса и вариантов ответа на вопрос, номинального значения интервала времени отображения формулировки вопроса, а также графических сопровождений определенного вопроса и вариантов ответа на вопрос.

Результат. Прикладной диагностический модуль выступает компонентом системы автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе инновационного блока параметрических когнитивных моделей. Обучающая система реализует генерацию упорядоченной последовательности информационно-образовательных воздействий, которые отражают содержание предмета изучения. **Вывод.** Прикладной диагностический модуль предназначен для автоматизации исследования физиологических, психологических и лингвистических параметров когнитивной модели субъекта обучения с целью системного анализа информационно-образовательной среды и реализации адаптивной генерации образовательных воздействий посредством использования средств автоматизации обучения, которые позволяют учитывать индивидуальные особенности обучаемых.

Ключевые слова: когнитивная модель, прикладной диагностический модуль, технология когнитивного моделирования (для системного, финансового и сложного анализа)

TECHICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

**APPLIED DIAGNOSTIC MODULE FOR DETERMINING COGNITIVE MODEL
PARAMETERS OF SUBJECTS OF EDUCATION IN AN ADAPTIVE ENVIRONMENT**

Anatoly N. Vetrov

*Saint-Petersburg state electrotechnical university "LETI",
5 Professor Popov Str., 5197376 Saint-Petersburg., Russia
The International banking institute,
60 Nevsky Ave., Saint-Petersburg 191023, Russia
e-mail: vetrovan@nwgsm.ru*

Abstract. Objectives To increase the functional efficiency of information and educational environments created by automated training systems by realising individually oriented formation of knowledge using adaptive generation of heterogeneous educational influences based on an innovative block of parametric cognitive models and a set of programs to support the automation of research tasks. **Method** System analysis and modeling of the information and educational environment. In the process of automating the diagnosis of the individual personality characteristics of the subject of education, each method of investigation determines the input: localisation of research method, name of block of questions (subtest), textual explanatory content, formulation of question and answer variants, nominal value of the time interval for displaying the formulation of the question, as well as the graphical accompaniment of a specific question and answers thereto. **Results** The applied diagnostic module acts as a component of the automated learning system with adaptation properties on the basis of the innovative block of parametric cognitive models. The training system implements the generation of an ordered sequence of informational and educational influences that reflect the content of the subject of a study. **Conclusion** The applied diagnostic module is designed to automate the study of physiological, psychological and linguistic parameters of the cognitive model of the subject of education to provide a systematic analysis of the information and educational environment and the realisation of adaptive generation of educational influences by using training automation approaches that allow the individual characteristics of trainees to be taken into account.

Keywords: cognitive model, applied diagnostic module, cognitive modeling technology (for system, financial and complex analysis)

Введение. Высокие темпы научно технического прогресса и уровень внедрения инноваций в области информационных технологий инициирует решение частных проблем информатизации разнородных информационно-образовательных сред (ИОС) различных современных образовательных центров и учреждений (организаций) [1, 4].

Системный анализ и повышение эффективности функционирования компонентов ИОС выступает сложной научно-технической проблемой, поскольку сейчас активно используются новые технологии поддержки технологического процесса индивидуально-ориентированного и адаптивного формирования знаний обучаемых в автоматизированных образовательных средах на основе средств обучения на расстоянии, что инициирует необходимость учета прикладных научных основ [10-22] когнитивной информатики (Р. Солсо), частной физиологии анализаторов (В.М. Кроль, Ч.А. Измайлов), когнитивной психологии (В.Н. Дружинин) и прикладной лингвистики (М.Л. Гик) для дальнейшего научного обоснования выявленных зависимостей, закономерностей и связей [2].

Постановка задачи. Для системного анализа и исследования ИОС автором предлагается разработанная структура системы автоматизированного обучения (САО) со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей (КМ) [3, 5-7], технология когнитивного

моделирования (ТКМ) [5, 8], а также инновационный блок параметрических КМ [2, 3, 5, 8, 9] как информационная основа для постановки и проведения (сложного) системного анализа.

Методы исследования. Формальное описание структуры системы автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей. В общем виде структура предложенной автором САО со свойствами адаптации на основе параметрических КМ (КМ субъекта обучения и КМ средства обучения) формализуется посредством использования аппарата классической теории управления.

Представленная непосредственно на схеме САО со свойствами адаптации на основе блока параметрических КМ нового поколения функционирует как основной неотъемлемый компонент классической или автоматизированной ИОС, которая при этом структурно декомпозируется на несколько разнородных элементов (рис. 1):

- обучающая система – реализует адаптивную генерацию последовательности индивидуально-ориентированных образовательных воздействий контингенту обучаемых: информационных фрагментов, вопросов тестов и заданий методик исследования;
- обучаемый – изучает содержание разнородных информационных фрагментов и отвечает на вопросы (последовательность определенных вопрос-ответных структур).

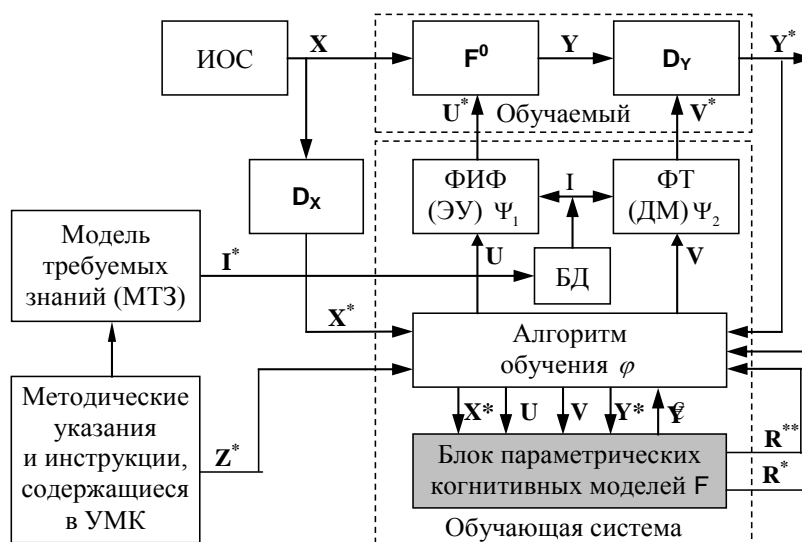


Рис.1. Структурная схема системы обучения автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей

Fig.1. Structural scheme of the system of teaching automated learning with adaptation properties based on cognitive models

Обучающая система реализует генерацию упорядоченной последовательности информационно-образовательных воздействий, которые отражают содержание предмета изучения, при этом уровень прочих воздействий ИОС полагается пренебрежимо малым для целей определенности.

Обучаемый характеризуется определенным модифицируемым набором индивидуальных физиологических, психологических, лингвистических и прочих особенностей личности субъекта обучения (ИОЛСО), которые содержатся непосредственно в основе КМ субъекта обучения.

В предложенной структурной схеме САО с блоком КМ используется ряд обозначений:

- полиномиальная модель обучаемого (F^0) – включает набор различных параметров и значений весовых коэффициентов, которые характеризуют состояние обучаемого Y в среде;

- датчик D_x – обеспечивает непосредственное измерение уровня воздействия ИОС X как X^* ;
- датчик D_y – измеряет оценку результативности формирования знаний обучаемого как Y^* ;
- методические указания – содержат инструкции по использованию УМК со структурированным набором информационных фрагментов (U_i) отражающих содержание раздела, модуля, параграфа, страницы, каждый из которых содержит блоки контрольных вопросов (V_i);
- база данных (БД) – содержит структурированную информацию (I), выраженную в данных по отношению к предметной области для последующего отображения конечному обучаемому;
- модель требуемых знаний (МТЗ) I^* – отражает требования институциональных органов регламентирующих политику в области образования и потребителей, задачи и цели обучения (Z^*), структурированный материал по определенному или нескольким предметам изучения;
- алгоритм обучения (Φ) – формирует последовательность возвращаемых значений содержащих ссылки на обучающие воздействия в БД и параметры их отображения (U) посредством использования разработанного автором процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов [5, 6, 7], а также последовательность возвращаемых значений ссылок на блоки контрольных вопросов (V) соответствующих разным элементам предмета изучения;
- формирователь информационных фрагментов (ФИФ) Ψ_1 – реализует индивидуально-ориентированную генерацию последовательности обучающих воздействий (U^*) с учетом ссылки на информационный фрагмент (U_i) и параметры блока параметрических КМ (R^* , R^{**});
- формирователь тестовых заданий (ФТ) Ψ_2 – реализует генерацию последовательности заданий из базы данных с методами исследования и отображение последовательности вопрос-ответных структур тестовых заданий (V^*) с учетом ссылок на информационные фрагменты ($\langle U_i, V_i \rangle$);
- блок параметрических КМ (F) – содержит совокупность значений репертуаров параметров КМ субъекта обучения (R^*) и КМ средства обучения (R^{**}), которые характеризуют соответственно ИОЛСО и потенциальные технические возможности средства обучения при генерации последовательности информационных фрагментов средством обучения.

Особенности структуры прикладного диагностического модуля для автоматизации исследования индивидуальных особенностей контингента обучаемых.

Прикладной диагностический модуль (ДМ) предназначен непосредственно для реализации автоматизации исследования индивидуальных особенностей личности обучаемых, выполнен по инновационному и революционному блочно-модульному принципу, при этом его компоненты находятся на различных уровнях предложенной архитектуры реализуют ряд функций и набор задач в период исполнения его программной реализации (рис. 2).

Инновационная архитектура прикладного ДМ включает три основных уровня иерархии:

- уровень интерфейса взаимодействия с пользователем (интерфейсы взаимодействия);
- уровень вычислительных процедур (вычислительное ядро: процессоры, процедуры и алгоритмы);
- уровень хранения данных (информационное хранилище: основные и резервные базы данных).

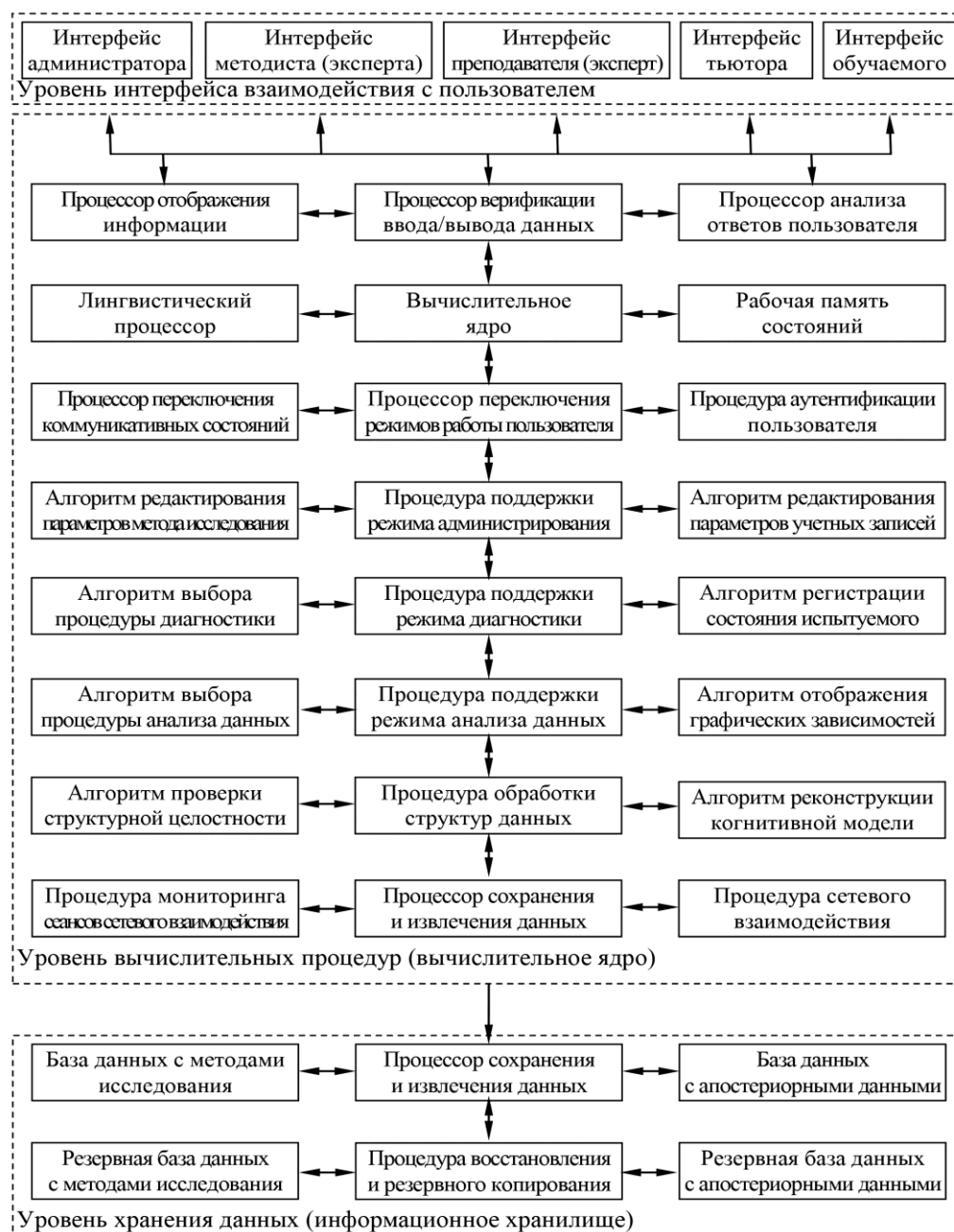


Рис. 2. Общая архитектура прикладного диагностического модуля
Fig. 2. The general architecture of the application diagnostic module

Обсуждение результатов. Архитектура прикладного ДМ включает несколько специальных процедур и алгоритмов:

- процессор отображения информации – обеспечивает непосредственное отображение заранее предустановленных параметров вопрос-ответных структур тестовых заданий для реализации контрольного тестирования (в электронном учебнике используется разработанный процессор адаптивной репрезентации последовательности информационных фрагментов [6, 7]);
- процедура обработки и отображения параметров вопроса – позволяет реализовать отображение последовательности вопрос-ответных структур метода исследования по заранее предустановленным параметрам алгоритма тестирования в режиме администрирования;
- процедура активизации подсистемы объяснений – отображает разные комментарии;

- процедура расчета статуса испытуемого – обеспечивает расчет множества номинальных значений набора показателей характеризующих физиологические, психологические, лингвистические и прочие индивидуальные особенности личности контингента испытуемых, которые выступают различными параметрами КМ субъекта обучения [3];
- процессор верификации ввода/вывода данных – реализует управление потоком ввода и вывода структурированных данных между вычислительными процедурами и информационными полями, которые расположены непосредственно на разных формах интерфейса прикладного ДМ;
- вычислительное ядро – реализует централизованное управление входными и выходными потоками информации, обеспечивает обработку структур данных в режиме администрирования, диагностики и анализа апостериорных данных, поддерживает сетевое взаимодействие;
- процессор анализа ответов пользователя – реализует верификацию предустановленных вариантов ответа эксперта с выбранными или введенными вариантами ответа испытуемого в разных информационных полях формы интерфейса программы в режиме диагностики;
- процедура обработки и отображения параметров вопроса – в режиме диагностики реализует отображение заданной последовательности контрольных вопросов с учетом заранее предустановленных параметров алгоритма тестирования в режиме администрирования;
- процедура обработки и отображения параметров вариантов ответа на вопрос – в режиме диагностики реализует непосредственное отображение перечня вариантов ответа на каждый вопрос теста с учетом заранее заданных параметров в режиме администрирования;
- процедура обработки событий инициированных пользователем на панели навигации – реализует обработку нажатий на кнопки управления при работе пользователя в режиме администрирования параметров заданного метода исследования и в режиме диагностики;
- рабочая память состояний – реализует промежуточное хранение значений параметров, которые не используются вычислительным процессором в пределах рабочего цикла;
- лингвистический процессор – обеспечивает переключение языка при отображении идентификаторов различных элементов расположенных на интерфейсных формах прикладного ДМ и реализует выбор определенной локализации используемого метода исследования;
- процедура выбора локализации метода исследования и интерфейса приложения – предоставляет возможность выбора языка для отображения параметров метода исследования и идентификаторов различных элементов интерфейса прикладного ДМ;
- процедура формирования текстологического содержания комментариев – реализует переключение и отображение всех пояснительных надписей на определенном языке;
- процедура формирования текстологического содержания вопроса и вариантов ответа;
- процедура формирования идентификаторов различных элементов интерфейса;
- процессор переключения коммуникативных состояний – поддерживает конструирование структуры коммуникативного акта состоящего из последовательности коммуникативных шагов между пользователем и интерфейсом прикладного ДМ в разных режимах работы;
- процессор переключения режимов работы пользователя – реализует выбор определенного режима работы одного из пользователей и первичную инициализацию его параметров;
- процедура аутентификации пользователя – реализует авторизацию и разграничение прав доступа пользователей к разным режимам функционирования прикладного ДМ;
- процедура поддержки режима администрирования – обеспечивает непосредственное выполнение всех функций определенного пользователя в режиме администрирования;

- процедура поддержки режима диагностики – обеспечивает тестирование ИОЛСО;
- процедура поддержки анализа данных – просмотр и обработка апостериорных данных;
- процессор сохранения и извлечения данных – реализует загрузку и выгрузку данных;
- процессор архивирования и резервного копирования – резервирование данных прикладного ДМ.

Набор специальных процедур диагностики индивидуальных особенностей контингента обучаемых на основе созданной технологии когнитивного моделирования. Прикладной ДМ содержит специальные процедуры для реализации диагностики (рис. 3): разнородные наборы процедур для автоматизации исследования разных параметров физиологического, психологического и лингвистического портретов КМ субъекта обучения.

Набор процедур для исследования параметров физиологического портрета	Набор процедур для исследования параметров психологического портрета	Набор процедур для исследования параметров лингвистического портрета
Процедуры исследования зрительной сенсорной системы Алгоритмы выявления аномалий восприятия пространства (м. Сивцева, периметр, стереоскоп)	Процедуры исследования интеллектуальных способностей Алгоритмы диагностики конвергентных способностей (м. Р. Амхауэра)	Процедуры исследования лингвистических способностей Алгоритмы диагностики уровня владения национальным языком изложения (м. Института филологии РАН)
острота зрения	вербальный интеллект	владение нац. языком
поле зрения	классификация	
бинокулярное зрение	ассоциативность	
Алгоритмы выявления аномалий цветового зрения (м. Е. Рабкина, Т. Юстовой)	матем. способности	Алгоритмы диагностики уровня владения иностранным языком изложения (м. Колчестерского образовательного центра)
ахромазия	комбинаторика	владение языком
протанопия	обобщение понятий	
дейтеранопия	мнемоника и память	Алгоритмы диагностики уровня владения словарем терминов и ключевых определений (м. вспомогательный тест по определенной дисциплине)
тританопия	плоскостное мышление	владение терминами
Алгоритмы выявления аномалий аккомодации (таблицы с символами)	Алгоритмы диагностики дивергентных способностей (м. С. Медника, П. Торренса)	
астигматизм	вербальная оригинальность	Алгоритмы диагностики уровня владения элементами интерфейса программного средства в системе обучения (м. вспомогательный тест по определенной программе)
миопия	вербальная ассоциативность	владение интерфейсом
гиперметропия	вербальная уникальность	
Процедуры исследования слуховой сенсорной системы	вербальная селективность	Алгоритмы диагностики уровня владения терминами в области информационных и коммуникационных технологий (м. вспомогательный тест по теории информации)
Алгоритмы выявления абсолютной акустической чувствительности (генератор и синтезатор звуков)	образная оригинальность	владение терминами ИТ
верхний порог	образная ассоциативность	
нижний порог	образная уникальность	
Алгоритмы выявления абсолютной акустической чувствительности (синтезатор звуков)	образная селективность	
верхний интервал	Алгоритмы диагностики типа обучаемости	
средний интервал	имплицитная	
нижний интервал	эксплицитная	
	Алгоритмы диагностики когнитивных стилей	
	полезависимость/полнезав.	
	импульсивность/ревлексивность	
	ригидность/гибкость	
	конкретизация/абстрагирование	
	когнитивная простота/сложность	
	категориальная узость/широта	

см. структуру когнитивной модели субъекта обучения [3, 6, 8]

Рис.3. Процедуры исследования в основе прикладного диагностического модуля
 Fig.3. Procedures of research in the basis of applied diagnostic module

Предварительная, организационная, технологическая, техническая, методическая, научно-исследовательская подготовка и реализация диагностики параметров. Процедура диагностики индивидуальных особенностей контингента обучаемых посредством использования прикладного ДМ выступает сложным научно-техническим процессом, который включает совокупность различных итераций и требует непосредственного обеспечения подготовки учеными, экспертами, методистами, инженерами и программистами: предварительной, организационной, технологической, технической, методической, операциональной, научно-исследовательской и прочих видов обеспечения подготовки технологического цикла (рис. 4).



Рис.4. Классификация подготовительных мероприятий перед исследованием индивидуальных особенностей контингента обучаемых
Fig.4. Classification of preparatory measures before the study individual characteristics of the trainee contingent

Каждый вид обеспечения подготовки технологического цикла автоматизированного исследования включает несколько различных этапов системного анализа как научно-исследовательского процесса.

Ввод структурированных данных, относящихся к определенной методике исследования, и данных учетных записей пользователей в базу данных прикладного ДМ осуществляется в режиме администрирования (на предварительном этапе исследования), а собственно автоматизированное исследование различных ИОЛСО в форме тестирования осуществляется непосредственно при работе испытуемого в режиме диагностики.

В процессе автоматизации диагностики ИОЛСО каждый метод исследования обуславливает ввод: локализации метода исследования, наименования блока вопросов (субтеста), текстологических содержаний пояснения, формулировки вопроса и вариантов ответа на вопрос, номинального значения интервала времени отображения формулировки вопроса, а также графических сопровождений определенного вопроса и вариантов ответа на вопрос.

На рис. 5 представлен интерфейс прикладного ДМ в режиме администрирования параметров метода исследования конвергентных интеллектуальных способностей КМ субъекта обучения.

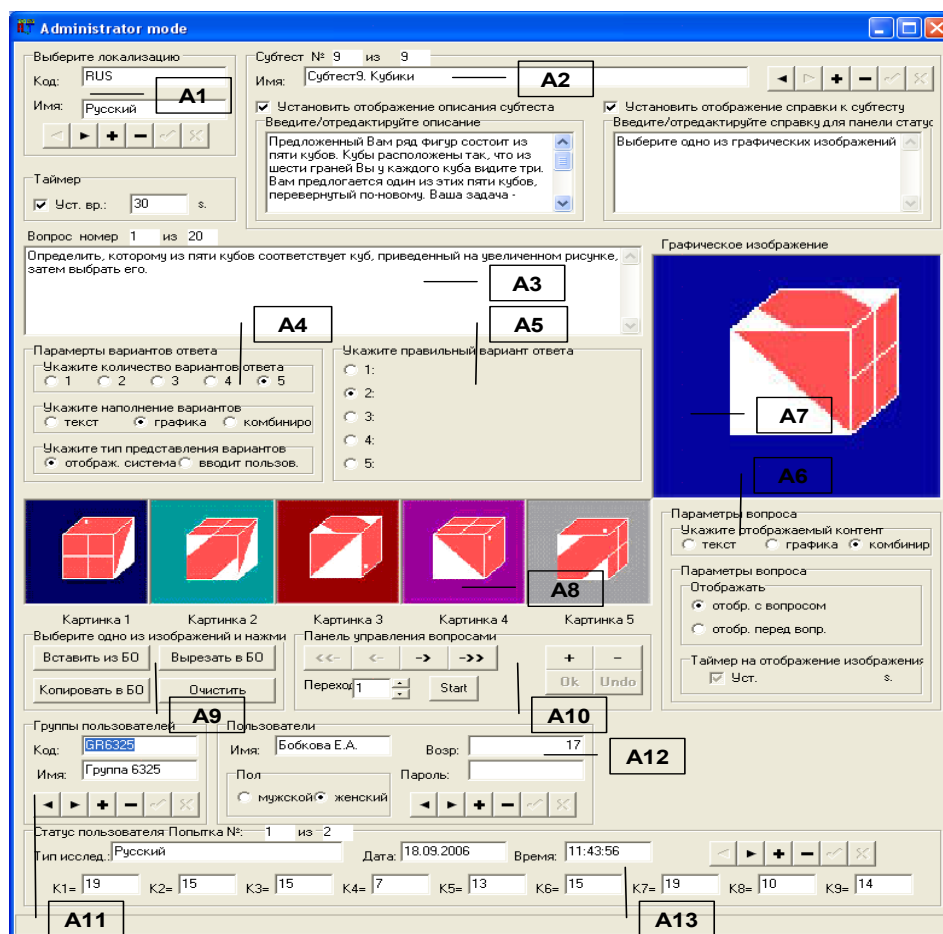


Рис.5. Интерфейс прикладного диагностического модуля в режиме администрирования методики исследования конвергентных интеллектуальных способностей Р. Амтхауэра

Fig.5. The interface of the application diagnostic module in the mode of administration of the method of research of convergent intellectual abilities R. Amthauer

На представленном интерфейсе прикладного ДМ в режиме администрирования методики исследования конвергентных интеллектуальных способностей Р. Амтхауэра используется непосредственно ряд обозначений субтестов (блоков вопросов) и параметров: K_1 – «Логический отбор» (вербальный интеллект), K_2 – «Поиск общих признаков» (обобщение), K_3 – «Поиск вербальных аналогий» (аналитичность мышления), K_4 – «Классификация понятий»

(классификация), К₅ – «Арифметические задачи» (арифметический счет), К₆ – «Числовые ряды» (комбинаторика), К₇ – «Мнемоника и память» (мнемоника и память), К₈ – «Плоские фигуры» (плоскостное мышление), К₉ – «Кубы» (объемное воображение).

Для администрирования базы данных с параметрами метода исследования и учетных записей пользователей применяют ряд элементов интерфейса: поле редактирования перечня локализаций метода исследования (А1), поле редактирования перечня наименований блоков вопросов (субтестов), селектор признака отображения и поле текстологического содержания формулировки пояснения выводимого перед каждым субтестом в отдельном всплывающем окне в ходе диагностики, селектор признака отображения и поле текстологического содержания формулировки пояснения выводимого в строке статуса интерфейсного окна в режиме диагностики (А2), поле редактирования текстологического содержания формулировки вопроса (А3), панель управления с селекторами количества, типа контента и способа выбора вариантов ответа на вопрос в режиме диагностики (А4), признак корректности и перечень текстологических содержаний вариантов ответа на вопрос (А5), панель управления с селекторами типа контента вопроса, способа отображения вопроса, номинального значения интервала времени отображения формулировки вопроса (А6), панель редактирования графического сопровождения вопроса (А7), панель редактирования графического содержания вариантов ответа на вопрос (А8), панель управления графическими изображениями вариантов ответа (А9), панель управления переключением на первый, предыдущий, следующий и последний вопрос с возможностью добавления, удаления, сохранения и отмены внесенных изменений в информационные поля (А10), панель редактирования кода (кодификатора) и наименования группы (А11), панель редактирования параметров учетных записей пользователей (А12), панель отображения апостериорных данных тестирования испытуемых (субъектов обучения) с возможностью переключения между попытками тестирования на основе метода исследования (А13).

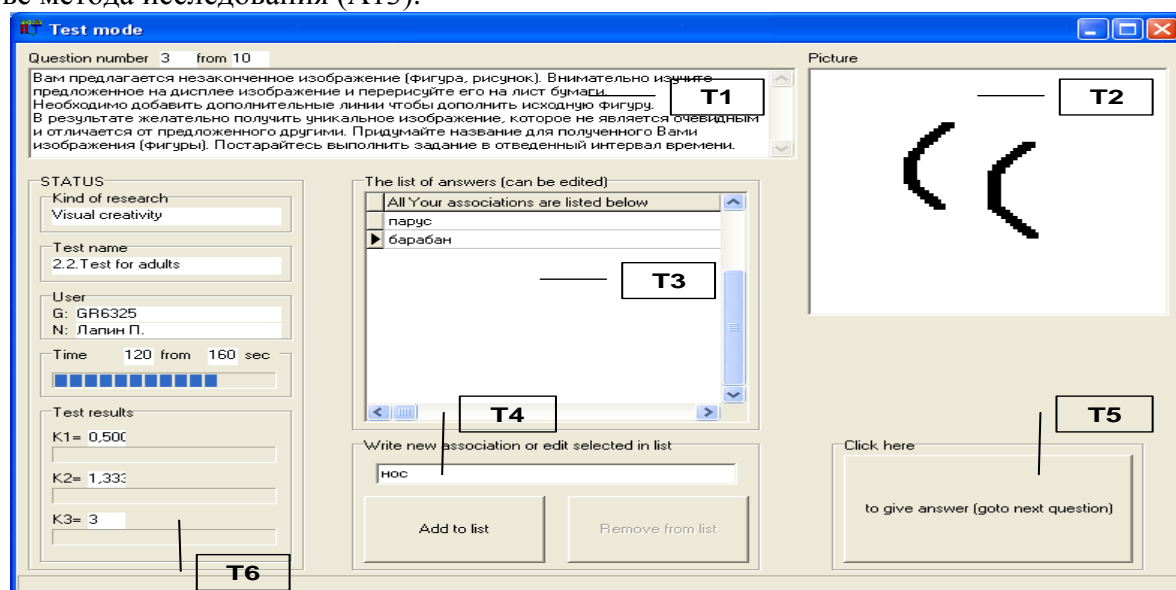


Рис. 6. Интерфейс прикладного диагностического модуля в режиме диагностики дивергентных интеллектуальных способностей (методы Е.П. Торренса, С.А. Медника)
Fig. 6. The interface of the application diagnostic module in diagnostic mode divergent intellectual abilities (the methods of EP Torrens, SA Mednik)

Интерфейс прикладного ДМ в режиме диагностики образной креативности (рис. 6) содержит: поле индикации номера по порядку, общего количества и текста формулировки вопроса (Т1), поле индикации графического изображения со стимулом (Т2), поле индикации списка вариантов ответа, введенных пользователем (Т3), поле индикации выделенного или вводимого пользователем варианта ответа на вопрос с возможностью добавления и удаления

(Т4), кнопка подтверждения списка ответов испытуемого инициирующая переход к следующему вопросу (Т5), статус испытуемого (Т6).

На рис. 7 представлена интерфейсная форма программной реализации прикладного ДМ в режиме администрирования параметров метода исследования образной креативности: панель редактирования текстологического содержания формулировки вопроса (АА1), панель редактирования графического изображения сопровождающего вопрос (АА2), панель установки параметров отображения вопроса (АА3), панель ввода перечня вариантов ответа (АА4), панель редактирования статуса учета варианта ответа в расчетах, наименования и индекса оригинальности определенного варианта ответа (АА5), панель управления графическим изображением (вопроса и вариантов ответа) (АА6), панель редактирования периода времени отображения вопроса (АА7), панель управления мультимедиа сопровождением вопроса (АА8), панель редактирования перечня кодов и наименований групп пользователей (АА9), панель просмотра и редактирования параметров учетных записей пользователей (АА10), панель просмотра и редактирования апостериорных данных автоматизированной диагностики с возможностью переключения между разными попытками прохождения метода исследования (АА11).

База данных в основе разработанного прикладного ДМ обеспечивает хранение параметров используемых методов исследования, всех параметров учетных записей пользователей и полученных в результате прохождения автоматизированной диагностики апостериорных данных испытуемых.

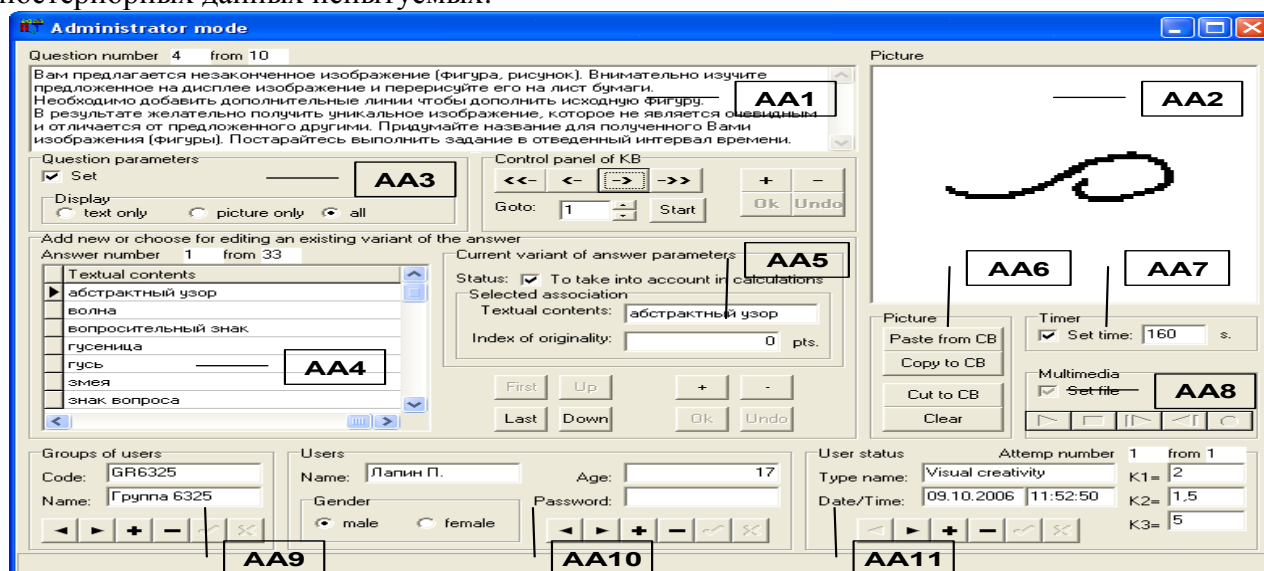


Рис.7.Интерфейс прикладного диагностического модуля в режиме диагностики дивергентных интеллектуальных способностей

Fig.7.Interface of the application diagnostic module in the diagnostic mode of divergent intellectual abilities

Текущие и результирующие апостериорные данные автоматически сохраняются в базе данных, при этом имеется возможность просмотра учетных записей апостериорных данных пользователей:

- в группе элементов интерфейса «Группы пользователей» (АА9) вначале выбираются кодификатор и наименование группы пользователей (испытуемых) посредством навигатора;
- в группе элементов интерфейса «Пользователи» (АА10) затем выбираются Ф.И.О., пол, возраст и пароль пользователя (испытуемого) посредством навигатора;
- в группе элементов интерфейса «Статус пользователей» (АА11) переключаются попытки: наименование метода исследования, дата и время прохождения диагностики

пользователем и номинальные значения коэффициентов метода исследования (теста) посредством навигатора.

Выводы и статистические закономерности на основе апостериорных данных

1. Практическое использование полученных научных и практических результатов осуществлялось автором в учебном процессе «Международного банковского института» с 2004 г. и «Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» с 2003 г., в ходе исследований были получены акты о практическом использовании и три авторских свидетельства.

2. Оценка эффективности адаптивной САО на основе КМ производилась с использованием общепринятых показателей эффективности (результативности) процесса автоматизированного формирования знаний контингента обучаемых:

$$K = \{k_1; k_2; k_3\} = \left\{ Y_2 - Y_1; \frac{Y_2}{Y_1}; \frac{Y_2 - Y_1}{Y_1} 100\% \right\},$$

где коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 соответственно, обозначают абсолютный, сравнительный и относительный показатели эффективности (результативности) формирования знаний [3, 5, 6, 8]. Результаты статистической обработки апостериорных данных обобщены и сведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты первичного статистического анализа результативности обучения
Table 1. Results of primary statistical analysis of learning outcomes

Показатель	Номер группы обучаемых							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Показатели результативности обучения за 2004 г.								
Объем выборки	20	21	25	18	18	15	0	0
Средний балл Y_1	4,05	4,286	4,24	4,611	4,056	4,4	-	-
СКО ср. балла	0,686	0,845	0,779	0,502	0,802	0,507	-	-
Показатели результативности обучения за 2005 г.								
Объем выборки	24	22	24	25	24	22	23	21
Средний балл Y_2	4,333	4,046	4,375	4,16	4,042	4,091	4,696	4
СКО ср. балла	0,817	0,785	0,824	0,8	0,859	0,811	0,559	0,894
Показатели результативности обучения за 2006 г. (с исп. ТКМ в 3 ^х группах)								
Объем выборки	26	23	29	24	25	22	22	22
Средний балл Y_3	4,5	4,609	4,379	3,708	3,92	3,773	4,455	3,818
СКО ср. балла	0,707	0,656	0,775	0,751	0,572	0,612	0,858	0,853
Итоги первичного статистического анализа								
Показатели, отражающие изменение эффективности обучения за 2004-2005 г.								
k_1	0,283	-0,240	0,135	-0,451	-0,014	-0,309	-	-
k_2	1,07	0,944	1,032	0,902	0,997	0,93	-	-
k_3 , %	6,996	-5,606	3,184	-9,781	-0,345	-7,023	-	-
Изменение СКО	0,131	-0,06	0,045	0,298	0,057	0,304	-	-
Показатели, отражающие изменение эффективности обучения за 2005-2006 г.								
k_1	0,167	0,563	0,004	-0,452	-0,122	-0,318	-0,241	-0,182
k_2	1,039	1,139	1,001	0,891	0,97	0,922	0,949	0,955
k_3 , %	3,854	13,915	0,091	-10,865	-3,018	-7,773	-5,132	-4,55
Изменение СКО	-0,11	-0,129	-0,049	-0,049	-0,287	-0,199	0,299	-0,041

3. В результате регрессионного анализа апостериорных данных полученные значения коэффициента множественной корреляции (КМК=0,558) и коэффициента множественной детерминации (КМД=0,312) свидетельствуют, что 31,2% дисперсии зависимой переменной \hat{Y}_i (оценка УОЗО) определяется вариацией значений коэффициентов (предикторов) K_i находящихся в полученной линейной модели множественной регрессии $\hat{Y}(K_i)$. Были

рассчитаны значения исходных (β) и стандартизованных коэффициентов (β') и получена линейная модель множественной регрессии $\hat{Y}(K_i)$, где константа равна 4,653.

$$Y = 4,653 - 0,006VOZR - 0,002K_7 - 0,156K_8 + 0,121K_9 + 0,064K_{14} - 0,029K_{15} + 0,006K_{16} - \\ - 0,074K_{17} + 0,025K_{18} - 0,009K_{19} - 0,026K_{20} + 0,001K_{21} + 0,035K_{22} + 0,013K_{23} + 0,009K_{24} - \\ - 0,008K_{25} - 0,111K_{27} - 0,008K_{28} + 0,032K_{29} + 0,022K_{45}$$

Фактором (зависимой переменной) выступает результативность обучения Y , а предикторами в полученной линейной модели множественной регрессии являются:

$VOZR$ – возраст, K_7 – протанопия, K_8 – дейтеранопия, K_9 – тританопия, K_{14} – вербальный интеллект, K_{15} – обобщение, K_{16} – аналитичность мышления, K_{17} – классификация, K_{18} – арифметический счет, K_{19} – комбинаторика, K_{20} – мнемоника и память, K_{21} – плоскостное мышление, K_{22} – объемное воображение, K_{23} – вербальная оригинальность, K_{24} – вербальная ассоциативность, K_{25} – вербальная селективность, K_{27} – образная оригинальность, K_{28} – образная ассоциативность, K_{29} – образная селективность, K_{45} – уровень владения языком изложения материала в информационных фрагментах.

4. ТКМ позволяет реализовать дополнительный контур адаптации на основе блока КМ, а также провести комплексный системный анализ ИОС направленный на повышение эффективности функционирования системы АДО и результативности процесса формирования знаний обучаемых.

5. В ходе дискриминантного анализа выделены группы обучаемых в зависимости от показателя результативности обучения (оценка УОЗО): «5» – отличники; «4» – хорошисты; «3» – троечники.

Рис. 8 отражает геометрическую интерпретацию взаимного расположения центроидов классов соответствующих выделенным группам обучаемых (испытуемых) непосредственно в пространстве координат двух канонических дискриминантных функций.

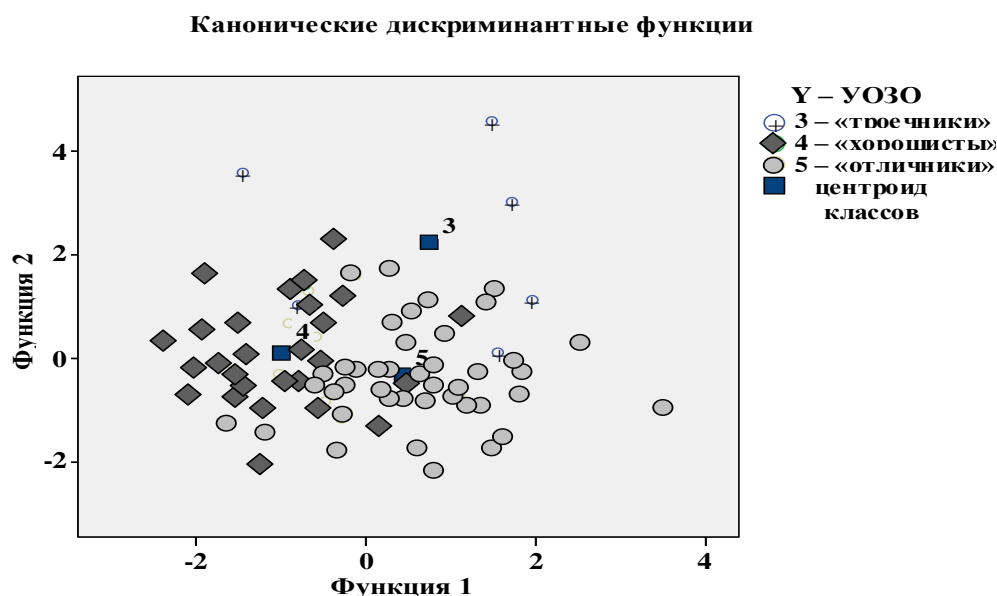


Рис. 8. Центроиды трех классов обучаемых в пространстве двух канонических функций
Fig.8. Centroids of three classes of trainees in the space of two canonical functions

Различительная способность (информативность) дискриминантных функций различна.

Первая каноническая дискриминантная функция различает хорошо центроиды классов хорошистов и отличников (троечников), но плохо центроиды классов отличников и троечников.

Вторая каноническая дискриминантная функция различает хорошо центроиды классов отличников (хорошистов) и троечников, но плохо - центроиды классов отличников и хорошистов.

Библиографический список:

1. Ветров А.Н., Ветров Н.А. Факторы успеха в образовательной деятельности ВУЗа: Тенденции развития информационной среды дистанционного образования; колл. монография под ред. чл.-корр. МАН ВШ И.Н. Захарова. – СПб.: МБИ, 2004. – С.54–65.
2. Ветров А.Н., Котова Е.Е. Факторы успеха в образовательной деятельности ВУЗа: Когнитивная модель для адаптивных систем дистанционного обучения; колл. монография под ред. чл.-корр. МАН ВШ И.Н. Захарова. – СПб.: МБИ, 2004. – С.65–78.
3. Ветров А.Н., Котова Е.Е., Кузьмин Н.Н. Информационная среда автоматизированного обучения на основе когнитивных моделей // Известия МАН ВШ, №3(37), 2006. – С.100–112.
4. Ветров А.Н. Особенности развития теории информации и информационных технологий на пороге XXI века: Монография. – М.: Деп. в РАО, 2007. – 141 с.
5. Ветров А.Н. Среда автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей: Монография. – М.: Деп. в РАО, 2007. – 256 с.
6. Ветров А.Н. Реализация адаптивного обучения в автоматизированной образовательной среде на основе когнитивных моделей // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ", №1, 2007. – С.10–16.
7. Ветров А.Н. Электронный учебник на основе процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов в автоматизированной образовательной среде // ВКИТ, №11, 2008. – С.38–50.
8. Ветров А.Н. Технология когнитивного моделирования в автоматизированной образовательной среде // Вестник РУДН, №4, 2008. – С.26–42.
9. Ветров А.Н. Программный комплекс для задач исследования адаптивной среды автоматизированного обучения на основе когнитивных моделей // Автоматизация и современные технологии, №10, 2010. – СПб.: СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2009, М.: Машиностроение, 2010. – С.20–33.
10. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. – М.: Наука, 1983. – 343 с.
11. Гик М.Л. Когнитивные основы переноса знаний. – М.: ИНИОН, 1990. – 67 с.
12. Гельфандбейн Я.А. Методы кибернетической диагностики динамических систем. – Рига: Знание, 1967. – 199 с.
13. Гонтмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1967. – 269 с.
14. Ершов А.П. Концепция использования средств вычислительной техники в сфере образования. – Новосибирск: Препринт ВЦ СО РАН АН СССР, 1990. – 58 с.
15. Измайлов Ч.А. Психофизиология цветового зрения. – М.: Изд-во «МГУ», 1989. – 205 с.
16. Каймин В.А. Технология разработки учебных программных средств. – М.: ИНФО, 1987. – 126 с.
17. Каймин В.А. Методы разработки программ на языках высокого уровня. – М.: МИЭМ, 1985. – 120 с.
18. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. – М.: Наука, 1997. – 109 с.
19. Петров В.В. Прикладная лингвистика и компьютер. – М.: ИНИОН, 1992. – 41 с.
20. Семенов В.В. Компьютерные технологии в дистанционном обучении. – М.: НИИВО, 1997. – 155 с.
21. Спицнадель В.Н. Теория и практика принятия оптимальных решений. – СПб.: ИД «Бизнес-пресса», 2002. – 394 с.
22. Теплицкий Л.А. Англо-русский толковый словарь по вычислительной технике, Интернету и программированию. – 2 –е изд. – М.: Издательско-торговый дом «Русская Редакция», 2000. – 438 с.

References:

1. Vetrov A.N., Vetrov N.A. Faktory uspekha v obrazovatel'noi deyatel'nosti VUZa: Tendentsii razvitiya informatsionnoi sredy distantsionnogo obrazovaniya. Koll. monografiya pod red. Zakharova I.N. Saint-Petersburg: MBI; 2004. S. 54–65. [Vetrov A.N., Vetrov N.A. Factors of success in the educational activity of the university: Trends in the development of the information environment of distance education. Collective monograph. Zakharov I.N. (Ed). Saint-Petersburg: MBI; 2004. P.54–65. (in Russ.)]
2. Vetrov A.N., Kotova E.E. Faktory uspekha v obrazovatel'noi deyatel'nosti VUZa: Kognitivnaya model' dlya adaptivnykh sistem distantsionnogo obucheniya. Koll. monografiya pod red. Zakharova I.N. Saint-Petersburg: MBI; 2004. S.65–78. [Vetrov A.N., Kotova E.E. Factors of success in the educational activity of the university: Cognitive model for adaptive systems of distance learning. Collective monograph. Zakharov I.N. (Ed). Saint-Petersburg: MBI; 2004. S.65–78. (in Russ.)]
3. Vetrov A.N., Kotova E.E., Kuz'min N.N. Informatsionnaya sreda avtomatizirovannogo obucheniya na osnove kognitivnykh modelei. Izvestiya MAN VSH. 2006; 3(37):100–112. [Vetrov A.N., Kotova E.E., Kuz'min N.N. Information environment of automated learning based on cognitive models. Proceedings of the IHEAS. 2006; 3(37):100–112. (in Russ.)]
4. Vetrov A.N. Osobennosti razvitiya teorii informatsii i informatsionnykh tekhnologii na poroge XXI veka: Monografiya. Moscow: Dep. v RAO; 2007. 141 s. [Vetrov A.N. Development features of information theory and information technologies on the threshold of the XXI century: Monograph. Moscow: Dep. in RAO; 2007. 141 p. (in Russ.)]
5. Vetrov A.N. Sreda avtomatizirovannogo obucheniya so svoistvami adaptatsii na osnove kognitivnykh modelei: Monografiya. Moscow: Dep. v RAO; 2007. 256 s. [Vetrov A.N. Automated learning environment with adaptation properties based on cognitive models: Monograph: Monografiya. Moscow: Dep. v RAO; 2007. 256 p. (in Russ.)]
6. Vetrov A.N. Realizatsiya adaptivnogo obucheniya v avtomatizirovannoi obrazovatel'noi sredena osnove kognitivnykh modelei. Izvestiya SPbGETU "LETI". 2007; 1:10-16. [Vetrov A.N. Implementation of adaptive learning in an automated educational environment based on cognitive models. Izvestiya SPbGETU "LETI". 2007; 1:10-16. (in Russ.)]
7. Vetrov A.N. Elektronnyi uchebnik na osnove protsessora adaptivnoi reprezentatsii informatsionnykh fragmentov v avtomatizirovannoi obrazovatel'noi srede. VKIT. 2008; 11:38-50. [Vetrov A.N. The electronic textbook based of the processor of adaptive representation of information fragments in the automated educational environment. Herald of computer and information technologies. 2008; 11:38-50. (in Russ.)]
8. Vetrov A.N. Tekhnologiya kognitivnogo modelirovaniya v avtomatizirovannoi obrazovatel'noi srede. Vestnik RUDN. Seriya: Informatizatsiya obrazovaniya. 2008; 4:26-42. [Vetrov A.N. The technology of cognitive modeling in an automated educational environment. RUDN Journal of Informatization in Education. 2008; 4:26-42. (in Russ.)]
9. Vetrov A.N. Programmnyi kompleks dlya zadach issledovaniya adaptivnoi sredy avtomatizirovannogo obucheniya na osnove kognitivnykh modelei. Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii. 2010; 10:20-33. [Vetrov A.N. A program complex for the tasks of studying the adaptive environment of automated learning based on cognitive models. Automation and Modern Technologies. 2010; 10:20-33. (in Russ.)]
10. Viner N. Kibernetika, ili upravlenie i svyaz' v zhitotnom i mashine. Moscow: Nauka; 1983. 343 s. [Wiener N. Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine. Moscow: Nauka; 1983. 343 p. (in Russ.)]
11. Gik M.L. Kognitivnye osnovy perenosy znaniy. Moscow: INION; 1990. 67 s. [Gik M.L. Cognitive bases of knowledge transfer. Moscow: INION; 1990. 67 p. (in Russ.)]
12. Gel'fandbeyn Ya. A. Metody kiberneticheskoi diagnostiki dinamicheskikh sistem. Riga: Znaniye; 1967. 199 s. [Gel'fandbeyn Ya. A. Methods of cybernetic diagnostics of dynamic systems. Riga: Znaniye; 1967. 199 p. (in Russ.)]

13. Gontmakher F.R. Teoriya matrits. Moscow: Nauka; 1967. 269 s. [Gontmakher F.R. Matrix Theory. Moscow: Nauka; 1967. 269 p. (in Russ.)]
14. Ershov A.P. Kontseptsiya ispol'zovaniya sredstv vychislitel'noi tekhniki v sfere obrazovaniya. Novosibirsk: Preprint VC SO RAN; 1990. 58 s. [Ershov A.P. The concept of using computer technology in education. Novosibirsk: Preprint VC SO RAN; 1990. 58 p. (in Russ.)]
15. Izmaylov Ch.A. Psikhofiziologiya tsvetovogo zreniya. Moscow: MSU; 1989. 205 s. [Izmaylov Ch.A. Psychophysiology of color vision. Moscow: MSU; 1989. 205 p. (in Russ.)]
16. Kaimin V.A. Tekhnologiya razrabotki uchebnykh programmnykh sredstv. Moscow: INFO; 1987. 126 s. [Kaimin V.A. Technology of development of educational software. Moscow: INFO; 1987. 126 p. (in Russ.)]
17. Kaimin V.A. Metody razrabotki programm na yazykakh vysokogo urovnya. Moscow: MIEM; 1985. 120 s. [Kaimin V.A. Methods for developing programs in high-level languages. Moscow: MIEM; 1985. 120 p. (in Russ.)]
18. Osipov G.S. Priobretenie znaniy intellektual'nymi sistemami. Moscow: Nauka; 1997. 109 s. [Osipov G.S. Acquisition of knowledge by intelligent systems. Moscow: Nauka; 1997. 109 p. (in Russ.)]
19. Petrov V.V. Prikladnaya lingvistika i komp'yuter. Moscow: INION; 1992. 41 s. [Petrov V.V. Applied linguistics and computer. Moscow: INION; 1992. 41 p. (in Russ.)]
20. Semenov V.V. Komp'yuternye tekhnologii v distantsionnom obuchenii. Moscow: NIIVO; 1997. 155 s. [Semenov V.V. Computer technologies in distance learning. Moscow: NIIVO; 1997. 155 p. (in Russ.)]
21. Spitsnadel' V.N. Teoriya i praktika prinyatiya optimal'nykh reshenii. Saint-Petersburg: ID «Biznes-pressa»; 2002. 394 s. [Spitsnadel' V.N. Theory and practice of making optimal decisions. Saint-Petersburg: ID «Biznes-pressa»; 2002. 394 p. (in Russ.)]
22. Teplitskiy L.A. Anglo-russkii tolkovyi slovar' po vychislitel'noi tekhnike, Internetu i programirovaniyu. 2 izd. Moscow: Russkaya Redaktsiya; 2000. 438 s. [Teplitskiy L.A. English-Russian Dictionary of Computer Science, Internet and Programming. 2nd Edition. Moscow: Russkaya Redaktsiya; 2000. 438 p. (in Russ.)]

Сведения об авторах.

Ветров Анатолий Николаевич – Президент ГМО «Академия когнитивных естественных наук».

Information about the authors.

Anatoly N. Vetrov - President of the GМО «Academy of Cognitive Sciences».

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Conflict of interest

Поступила в редакцию 10.01.2017.

Received 10.01.2017.

Принята в печать 10.02.2017.

Accepted for publication 10.02.2017.

Для цитирования: Глазкова А.В. Оценка результативности применения расстояний Евклида и Махаланобиса для решения одной из задач классификации текстов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (1):86-93. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-86-93

For citation: Glazkova A.V. Efficiency assessment of Euclidean and Mahalanobis distances for solving a major text classification problem. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (1):86-93. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-86-93

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.912

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-86-93

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ЕВКЛИДА И МАХАЛАНОБИСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ИЗ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ

Глазкова А.В.

Тюменский государственный университет,
625003, г. Тюмень, ул. Переконская, д. 15а,
e-mail: anna_glazkova@yahoo.com

Резюме: Цель. Целью работы является проведение сравнения эффективности применения метрик Евклида и Махаланобиса для решения задачи определения категории потенциальных адресатов текста. Актуальность поставленной задачи определена необходимостью развития средств идентификации адресата электронного документа, возросшей в связи с введением возрастных ограничений на контент интернет-страниц и содержимое текстовых ресурсов, а также малой освещенностью данной проблемы в работах российских исследователей. **Метод.** Сравнение эффективности использования расстояний Евклида и Махаланобиса проведено в рамках реализации интеллектуальной системы автоматической классификации текстов на основании возрастной категории их адресатов. **Результат.** Рассмотрены основные подходы к установлению меры близости объектов, представленных в виде наборов классификационных признаков, а также обоснован выбор метрик Евклида и Махаланобиса для проведения численного сравнения результатов классификации. Приведено описание выборок текстов, предоставленных для вычислительного эксперимента, и классификационных признаков, характеризующих категории. Проведен вычислительный эксперимент с использованием текстов, входящих в состав Национального корпуса русского языка. **Вывод.** Вычислительный эксперимент позволяет выбрать наиболее эффективный метод решения задачи определения возрастной категории потенциальных адресатов текста. Результаты эксперимента показали возможность использования метрик Евклида и Махаланобиса для решения задач классификации текстов, а также подтвердили предпочтительность использования метрики Махаланобиса для оценивания расстояний объектами, представленными коррелированными признаками. Представленное сравнение проведено в рамках реализации интеллектуальной системы автоматической классификации текстов на основании возрастной категории их адресатов.

Ключевые слова: расстояние Евклида; расстояние Махаланобиса; классификация документов; обработка естественного языка; характеристики текста; текст; классификационный признак

TECHICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

EFFICIENCY ASSESSMENT OF EUCLIDEAN AND MAHALANOBIS DISTANCES FOR
SOLVING A MAJOR TEXT CLASSIFICATION PROBLEM

Glazkova A.V.

Tyumen State University

15a Perekopskaya Str., Tyumen 625003, Russia,

e-mail: anna_glazkova@yahoo.com

Abstract. Objectives The aim is to compare the efficiency of using the Euclidean and Mahalanobis metrics to solve the problem of determining the category of potential text recipients. The relevance of the task is determined by the need to develop a means of identifying the recipients of electronic documents. This has been complicated with the introduction of age restrictions on the content of Internet webpages and text resources. Moreover, there has been little coverage of this issue in the works of Russian researchers. **Method** A comparison of the relative efficiencies of using Euclid and Mahalanobis distances was carried out within the framework of the implementation of an intelligent system for text automatic classification based on the age category of their recipients. **Results** The main approaches to establishing proximity measures of objects represented as sets of classification characteristics are discussed and the choice of Euclidean and Mahalanobis metrics for numerical comparison of classification results is justified. A description of the sample texts and characteristics of category designations are given for a computational experiment. The computational experiment was carried out using texts included in the National Corpus of the Russian language. **Conclusion** The computational experiment allows the most effective method for solving the problem of determining the age category of potential text recipients to be selected. The results of the experiment showed the possibility of using Euclidean and Mahalanobis metrics for solving text classification problems; the preference for using Mahalanobis metrics for estimating distances by objects represented by correlated features was also confirmed. The presented comparison of the relative efficiencies of Euclid and Mahalanobis distances was carried out within the framework of the implementation of an intelligent system for automatic text classification based on the age category of their recipients.

Keywords: Euclidean distance, Mahalanobis distance, document classification, natural language processing, text characteristics, text, classification feature

Введение. Решение вопросов обработки текстов на естественном языке является важным направлением развития информационного поиска [1-2]. Актуальными проблемами классификации естественно-языковых текстов являются идентификация автора и адресата текста. Механизмы решения данных задач применяются при создании диалоговых и поисковых систем, систем электронного обучения и фильтрации спама.

Проблемам атрибуции (установлению авторства) текста посвящены работы многих российских и зарубежных учёных (в частности, [3-5]). Вопрос определения характеристик адресата текста в настоящее время является менее освещённым и затрагивается преимущественно зарубежными исследователями (работы [6-7]). В то же время задача идентификации адресата текста приобретает высокую актуальность в связи с введением возрастных ограничений на контент интернет-страниц и содержимое текстовых ресурсов.

Важным этапом построения классификатора является создание набора информативных признаков [8-9]. На основании полученного набора признаков проводится разбиение объектов обучающей выборки и обучение классификатора, использующее детерминированные линейные методы [3; 10] или нелинейные методы, построенные на использовании деревьев решений и нейронных сетей [11-12]. Преимущество детерминированных методов состоит в большей прозрачности процесса классификации, что создает возможность пользователю системы

классификации проанализировать степень зависимости результатов от значений различных классификационных признаков.

Постановка задачи. В данной работе рассматривается задача определения *возрастной* категории потенциальных адресатов текста.

Набор классификационных признаков, характеризующих тексты, предназначенные различным возрастным категориям читателей, с большой долей вероятности имеет следующие особенности: значения признаков могут быть представлены в интервальной шкале; признаки являются коррелированными (в частности, значения признаков «Средняя длина слов текста» и «Количество многосложных слов в тексте» связаны между собой).

На основании предположения о существовании перечисленных особенностей были рассмотрены существующие пути вычисления меры близости объектов. В рамках решения задачи классификации часто используются понятия меры близости, характеризующие взаимное расположение классов и расстояния между объектами, подлежащими классификации. Количественная оценка сходства объектов связана с понятием метрики. При этом объекты представляются в виде точек координатного пространства, а размерность пространства определяется количеством признаков, использованных для описания объектов.

В табл. 1 в обобщенном виде приводится перечень наиболее часто применяемых метрик и коэффициентов ассоциативности, используемых для установления меры близости объектов, описанных бинарными переменными [13-14].

Таблица 1. Методы установления меры близости объектов
Table 1. Methods for establishing the proximity of objects

Мера близости	Шкала измерения признаков	Примечание
Евклидово расстояние	Количественные шкалы	Представляет собой геометрическое расстояние в многомерном пространстве признаков.
Квадратичное евклидово расстояние	Количественные шкалы	Придает большие веса расстояниям между более отдаленными объектами.
Расстояние Чебышева	Количественные шкалы	Позволяет определить различность двух объектов, отличающихся по одному признаку.
Манхэттенское расстояние	Количественные шкалы	В сравнении с евклидовым расстоянием влияние отдельных больших разностей уменьшается.
Расстояние Махаланобиса	Количественные шкалы	Применяется в случае ненулевой корреляции переменных.
Процент несогласия	Качественные шкалы	Применяется в случае, когда признаки, характеризующие объект, являются категориальными.
Простой коэффициент встречаемости	Номинальная (бинарная) шкала	Учитывает одновременное отсутствие признака у рассматриваемых объектов.
Коэффициент Жаккара	Номинальная (бинарная) шкала	Не учитывает одновременного отсутствия признака.
Коэффициент Гауэра	Качественные и количественные шкалы	Допускает одновременное использование переменных, измеренных по различным шкалам.

Методы исследования. Выбор метода оценивания меры близости является важным моментом исследования, влияющим на результат классификации объектов и зависящим от конкретной решаемой задачи. В данной работе, исходя из особенностей поставленной задачи, а также предположений о составе набора классификационных признаков, для вычисления меры

близости текстов были выбраны расстояние Евклида и расстояние Махаланобиса. Обе меры близости неоднократно применялись для решения задач классификации [15-17] и в зависимости от условий постановки задачи демонстрировали ту или иную степень предпочтительности своего использования.

Расчет расстояния Евклида проводился по классической формуле вычисления меры близости объектов, представленных точками в многомерном пространстве:

$$\rho_E(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}, \quad (1)$$

где x_i, y_i — значения i -го признака объектов x и y ;

k — общее количество признаков.

Для расчета расстояния Махаланобиса использовалась формула:

$$\rho_{Mx}(x, y) = \sqrt{(x - y)^T S^{-1} (x - y)}, \quad (2)$$

где x_i, y_i — значения i -го признака объектов x и y ;

S — матрица ковариаций.

Корпус текстов. В ходе вычислительного эксперимента использовались база данных «Морфологический стандарт Национального корпуса русского языка» и «База данных метатекстовой разметки Национального корпуса русского языка» (коллекция детской литературы) [18].

Тексты, составляющие Национальный корпус русского языка [19], размечены по различным лингвистическим параметрам.

Базы содержат заведомо качественные и максимально разнообразные тексты на русском языке, возрастная категория потенциальных читателей которых — взрослая или детская — определена на основании мнений экспертов. Объем выборки — 532 текста художественной литературы и 510 текстов детской литературы. В базах данных представлены тексты 372 авторов. Средняя длина в корпусе составляет 471 слово.

В исследовании, в соответствии с выборкой, предоставленной для эксперимента, используется деление текстов на детские и взрослые.

Набор классификационных признаков. Анализ данных показал возможность использования следующего набора классификационных признаков [20]:

- средняя длина слов текста (кроме стоп-слов);
- среднее количество слов в предложении;
- количество многосложных слов в тексте (более трех слогов, %);
- количество особых глагольных форм в тексте (%);
- среднее количество грамматических основ в предложении;
- количество числительных в тексте (%);
- доля простых предложений с двумя главными членами (относительно простых предложений, %);
- доля служебных слов (%);
- количество глаголов в тексте (%);
- количество прилагательных в тексте (%).

Для приведения значений к единому диапазону было дополнительно проведено нормирование.

Обсуждение результатов. Вычислительный эксперимент. Целью вычислительного эксперимента явилось сравнение эффективности использования метрик Евклида и Махаланобиса для определения категории текстов. Каждому тексту тестовой выборки было сопоставлено признаковое описание — набор значений признаков и их весовых коэффициентов. Под расстоянием от текста до категории подразумевалось расстояние от набора (вектора) признаков, характеризующих текст, до центра масс категории.

Обучение классификаторов проводилось на 75% текстов имеющих выборки, тестирование проводилось на оставшихся 25%. После проведения n разбиений исходной выборки на обучающую и контрольную ($n=5$) были вычислены средние значения по всем разбиениям.

Результатом классификации является процент правильно классифицированных записей на контрольной выборке. Число распознаваний с использованием метрики Махаланобиса составило 74,16% (среднеквадратическое отклонение – 5,88%), с использованием метрики Евклида – 68,42% (среднеквадратическое отклонение – 5,38%).

Использование других мер близости, подходящих для решения задач классификации объектов, представленных в виде векторов количественных признаков, – манхэттенского расстояния и квадратичного евклидова расстояния – показывает результаты, сравнимые с результатом применения метрики Евклида. Это обосновано тем, что формулы расчета данных метрик являются модифицированными формулами вычисления расстояния Евклида.

Сравнение с расстоянием Чебышева и коэффициентом Гауэра не проводилось. Это обусловлено тем, что расстояние Чебышева высчитывается как абсолютное значение максимальной разности последовательных пар значений признаков, характеризующих тексты. То есть оно применимо в случае, когда необходимо определить два объекта как различные, исходя из значений одного признака [21].

Коэффициенты ассоциативности, в отличие от мер сходства, предназначены для сравнения объекта не с эталоном, а для определения некой взаимной упорядоченности объектов [13]. Для проведения же классификации по известным классам необходимо вычисление именно меры близости объекта с эталоном, то есть с центроидом класса.

Вывод. Описанный в работе вычислительный эксперимент призван определить наиболее эффективный метод решения задачи определения возрастной категории потенциальных адресатов текста. Результаты эксперимента показали возможность использования метрик Евклида и Махаланобиса для решения поставленной задачи, а также подтвердили предпочтительность использования метрики Махаланобиса для оценивания расстояний объектами, представленными коррелированными признаками.

Представленное сравнение проведено в рамках реализации интеллектуальной системы автоматической классификации текстов на основании возрастной категории их адресатов. Говоря о сложности сравнимых алгоритмов оценки близости текстов, можно отметить, что время выполнения классификации с использованием метрики Евклида составляет $O(n)$, в то время сложность алгоритма классификации с применением расстояния Махаланобиса равна $O(n^2)$, где n – количество классификационных признаков.

Указанное различие обусловлено необходимостью расчета матрицы ковариации классификационных признаков при вычислении метрики Махаланобиса. Однако, поскольку в реальных задачах количество признаков, как правило, не превышает десяти-двадцати, на практике различие во времени выполнения классификации с использованием расстояний Евклида и Махаланобиса не проявляется.

Библиографический список:

1. Кадиев, П.А. Пакет программ для скремблирования информационного потока / П.А. Кадиев, И.П. Кадиев, Т.М. Мирзабеков // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2016. – № 2. – С. 83-92.
2. Шихиев, Ф.Ш. Графовая модель синтаксиса / Ф.Ш. Шихиев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2012. – № 25. – С. 32-37.
3. Nguyen, D. Author Age Prediction from Text using Linear Regression / D. Nguyen, N. Smith, C. Rose // Proc. of ICASSP. – New-York, 2011. – P. 267-276.
4. Кубарев, А.И. Сравнительный анализ эффективности распознавания авторского стиля текстов различными классификаторами / А.И. Кубарев, К.А. Михалева, В.В. Поддубный // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58. № 11-2. – С. 252-258.

5. Муха, А.В. Автоматизированный подход к определению авторства текста / А.В. Муха, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова, А.В. Заболеева-Зотова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 17. № 14 (117). – С. 51-54.
6. Akker, R. A comparison of addressee detection methods for multiparty conversations / R. Akker, D. Traum // Proc. of methods for multiparty conversations. – Amsterdam, 2009. – P. 99-106.
7. Choi, D. Text Analysis for Detecting Terrorism-Related Articles on the Web / D. Choi, B. Ko, H. Kim, P. Kim // Journal of Network and Computer Applications. – 2013. – Vol. 8, №5. – P. 37-46.
8. Колесникова, С.И. Методы анализа информативности разнотипных признаков / С.И. Колесникова // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – №1(6). – С. 69-80.
9. Поляков, И.В. Проблема классификации текстов и дифференцирующие признаки/ И.В. Поляков, Т.В. Соколова, А.А. Чеповский, А.М. Чеповский // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2015. – Т. 13. № 2. – С. 55-63.
10. Толчеев, В.О. Модифицированный и обобщенный метод ближайшего соседа для классификации библиографических текстовых документов / В.О. Толчеев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – №7. – С. 63-70.
11. Мешкова, Е.В. Методика построения классификатора текста на основе гибридной нейросетевой модели / Е.В. Мешкова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 4 (81). – С. 212-215.
12. Козоброд, А.В. Анализ архитектур гибридных нейросетевых моделей в задачах автоматической классификации текстовой информации / А.В. Козоброд, В.Е. Мешков, Е.В. Мешкова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 12 (113). – С. 185-190.
13. Ким, Дж.-О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка, М.С. Олдендерфер, Р.К. Блэшфилд. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
14. Хачумов, М.В. Расстояния, метрики и кластерный анализ / М.В. Хачумов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – №1. – С. 81-89.
15. Толмачев, И.Л. Бинарная классификация на основе варьирования размерности пространства признаков и выбора эффективной метрики / И.Л. Толмачев, М.В. Хачумов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – №2. – С. 3-10.
16. Хачумов, М.В. Применение нейрона и расстояния Евклида-Махаланобиса в задаче бинарной классификации / М.В. Хачумов // Наука и современность. – 2010. – №2-3. – С. 82-86.
17. Шумская, А.О. Оценка эффективности метрик расстояния Евклида и расстояния Махаланобиса в задачах идентификации происхождения текста / А.О. Шумская // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – №3 (29). – С. 141-145.
18. «База данных метатекстовой разметки Национального корпуса русского языка» (коллекция детской литературы)». 2014.
19. Национальный корпус русского языка [Электронный ресурс]. 2015. URL: <http://ruscorpora.ru/> (дата обращения: 26.07.2016).
20. Глазкова, А.В. Проверка информативности классификационных признаков в задаче автоматической классификации текстов на естественном языке / А.В. Глазкова // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015): материалы конференции. – 2015. – С. 541-544.
21. Буреева, Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП “STATISTICA” / Н.Н. Буреева. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2007. – 112 с.

References:

1. Kadiev P.A., Kadiev I.P., Mirzabekov T.M. Paket programm dlya skremblirovaniya informatsionnogo potoka. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016; 2:83-92. [Kadiev P.A., Kadiev I.P., Mirzabekov T.M. Software package for scrambling the information flow. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 2:83-92. (in Russ.)]
2. Shikhiev F.Sh. Grafovaya model' sintaksisa. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2012; 25:32-37. [Shikhiev F.Sh. Graph model of syntax. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2012; 25:32-37. (in Russ.)]
3. Nguyen D., Smith N., Rose C. Author Age Prediction from Text using Linear Regression. Proc. of ICASSP. New-York; 2011. P. 267-276.
4. Kubarev A.I., Mikhaleva K.A., Poddubnyy V.V. Sravnitel'nyy analiz effektivnosti raspoznavaniya avtorskogo stilya tekstov razlichnymi klassifikatorami. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika. 2015; 58(11-2):252-258. [Kubarev A.I., Mikhaleva K.A., Poddubnyy V.V. Comparative analysis of efficiency of author's style recognition of texts by various classifiers. Russian Physics Journal. 2015; 58(11-2):252-258. (in Russ.)]
5. Mukha A.V., Rozaliev V.L., Orlova Yu.A., Zaboлева-Zotova A.V. Avtomatizirovanny podkhod k opredeleniyu avtorstva teksta. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2013; 17(14-117):51-54. [Mukha A.V., Rozaliev V.L., Orlova Yu.A., Zaboлева-Zotova A.V. Automated approach to determining the authorship of the text. Izvestia VSTU. 2013; 17(14-117):51-54. (in Russ.)]
6. Akker R.A., Traum D. Comparison of addressee detection methods for multiparty conversations. Proc. of methods for multiparty conversations. Amsterdam; 2009. P. 99-106.
7. Choi D., Ko B., Kim H., Kim P. Text Analysis for Detecting Terrorism-Related Articles on the Web. Journal of Network and Computer Applications. 2013; 8(5):37-46.
8. Kolesnikova S.I. Metody analiza informativnosti raznotipnykh priznakov. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2009; 1(6):69-80. [Kolesnikova S.I. Methods for analysing the informativeness of different types of signs. Tomsk State University Journal of Control and Computer Science. 2009; 1(6):69-80. (in Russ.)]
9. Polyakov I.V., Sokolova T.V., Chepovskiy A.A., Chepovskiy A.M. Problema klassifikatsii tekstov i differentsiruyushchie priznaki. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii. 2015; 13(2):55-63. [Polyakov I.V., Sokolova T.V., Chepovskiy A.A., Chepovskiy A.M. The problem of text classification and differentiating features. Novosibirsk State University Journal of Information Technologies. 2015; 13(2):55-63. (in Russ.)]
10. Tolcheev V.O. Modifitsirovanny i obobshchenny metod blizhayshego soseda dlya klassifikatsii bibliograficheskikh tekstovoykh dokumentov. Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2009; 7:63-70. [Tolcheev V.O. B.O. Modified and generalised method of the nearest neighbor for the classification of bibliographic text documents. Industrial Laboratory. Materials Diagnostics. 2009; 7:63-70. (in Russ.)]
11. Meshkova E.V. Metodika postroeniya klassifikatora teksta na osnove gibridnoy neyrosetevoy modeli. Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. 2008; 4(81):212-215. [Meshkova E.V. Method for constructing a text classifier based on a hybrid neural network model. Izvestiya SFedU. Engineering sciences. 2008; 4(81):212-215. (in Russ.)]
12. Kozoborod A.V., Meshkov V.E., Meshkova E.V. Analiz arkhitektur gibridnykh neyrosetevykh modeley v zadachakh avtomaticheskoy klassifikatsii tekstovoy informatsii. Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. 2010; 12 (113):185-190. [Kozoborod A.V., Meshkov V.E., Meshkova E.V. Architecture analysis of hybrid neural network models in problems of automatic classification of textual information. Izvestiya SFedU. Engineering sciences. 2010; 12(113):185-190. (in Russ.)]

13. Kim Dhz.-O., Myuller Ch.U., Klekka U.R., Oldenderfer M.S., Bleshfild R.K. Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz: Per. s angl. Moscow: Finansy i statistika; 1989. 215 p. [Kim Dhz.-O., Myuller Ch.U., Klekka U.R., Oldenderfer M.S., Bleshfild R.K. Factor, discriminant and cluster analysis: translated from English. Moscow: Finansy i statistika; 1989. 215 p. (in Russ.)]
14. Khachumov M.V. Rasstoyaniya, metriki i klasternyy analiz. Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy. 2012; 1:81-89. [Khachumov M.V. Distances, metrics and cluster analysis. Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy. 2012; 1:81-89. (in Russ.)]
15. Tolmachev I.L., Khachumov M.V. Binarnaya klassifikatsiya na osnove var'irovaniya razmernosti prostranstva priznakov i vybora effektivnoy metriki. Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy. 2010; 2:3-10. [Tolmachev I.L., Khachumov M.V. Binary classification based on variation of the feature space dimension and the choice of an effective metric. Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy. 2010; 2:3-10. (in Russ.)]
16. Khachumov M.V. Primenenie neyrona i rasstoyaniya Evklida-Makhalanobisa v zadache binarnoy klassifikatsii. Nauka i sovremennost'. 2010; 2-3:82-86. [Khachumov M.V. The application of the neuron and the Euclidean-Mahalanobis distance in the binary classification problem. Science and Modernity. 2010; 2-3:82-86. (in Russ.)]
17. Shumskaya A.O. Otsenka effektivnosti metrik rasstoyaniya Evklida i rasstoyaniya Makhalanobisa v zadachakh identifikatsii proiskhozhdeniya teksta. Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki. 2013; 3(29):141-145. [Shumskaya A.O. Estimation of the effectiveness of Euclidean distance metrics and the Mahalanobis distance in the problems of text origin identification. Proceedings of TUSUR University. 2013; 3(29):141-145. (in Russ.)]
18. "Baza dannykh metatekstovoy razmetki Natsional'nogo korpusa russkogo yazyka» (kolleksiya detskoy literatury)". 2014. ["Database of metatext marking of the National Corpus of the Russian language "(collection of children's literature))". 2014. (in Russ.)]
19. Natsional'nyy korpus russkogo yazyka [Elektronnyy resurs]. 2015. URL: [http:// ruscorpora.ru/](http://ruscorpora.ru/) (data obrascheniya: 26.07.2016). [The National Corpus of the Russian language [Electronic resource]. 2015. URL: [http:// ruscorpora.ru/](http://ruscorpora.ru/) (access date: 26.07.2016).]
20. Glazkova A.V. Proverka informativnosti klassifikatsionnykh priznakov v zadache avtomaticheskoy klassifikatsii tekstov na estestvennom yazyke. Materialy konferentsii "Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nykh sistem (OSTIS-2015)". Minsk; 2015. S. 541-544. [Glazkova A.V. Checking the informativeness of classification characteristics in the task of text automatic classification in natural language. Proceedings of conference "Open Semantic Technology for Intelligent Systems (OSTIS-2015)". Minsk; 2015. P. 541-544. (in Russ.)]
21. Bureeva N.N. Mnogomernyy statisticheskiy analiz s ispol'zovaniem PPP "STATISTICA". Nizhny Novgorod: Nizhegorodskiy gosudarstvennyy universitet im. N.I. Lobachevskogo; 2007. 112 s. [Bureeva N.N. Multidimensional statistical analysis using "STATISTICA". Nizhniy Novgorod: Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod; 2007. 112 p. (in Russ.)]

Сведения об авторе.

Глазкова Анна Валерьевна – ассистент кафедры программного обеспечения.

Information about the author.

Anna V. Glazkova – Assistant, department of software.

Конфликт интересов

Conflict of interest

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 23.01.2017.

Received 23.01.2017.

Принята в печать 20.02.2017.

Accepted for publication 20.02.2017.

Для цитирования: Кадиев И.П. Индексные методы формирования комбинаторных конфигураций класса систем различных представительств. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):94-102. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-94-102.

For citation: Kadiev I.P. Indexing methods for forming combinatorial configurations of the class of systems of distinct representatives. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (1):94-102. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-94-102

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.1

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-94-102

ИНДЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНАТОРНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ КЛАССА СИСТЕМ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВ

Кадиев И.П.

Национальный банк Республики Дагестан ЦБ РФ
367000, г. Махачкала, ул. Даниялова, 29
e-mail: islam-kadi@mail.ru

Резюме: *Цель.* В статье рассмотрены способы решения класса комбинаторных задач, известных как системы различных представительств (с.р.п.). Поставлена задача разработки методов и алгоритмов формирования комбинаторной конфигурации, включающей в себя в качестве строк, столбцов или строк и столбцов подмножества, являющиеся с.р.п., составленных из элементов исходного семейства $n \times n$ – множеств, занимающих в исходных множествах различные позиции, а также определить возможное количество предлагаемых конфигураций.

Метод. Используются методы индексного упорядочения расположения элементов в формируемых системах различных представительств, сущность которых состоит в формулировке требований к процессу формирования конфигураций, обладающих заданными свойствами, через закономерность индексации в них элементов.

Результат. Рассмотрена общая формулировка задачи построения с.р.п., как задача формирования из элементов совокупности множеств, подмножеств, которые включают в себя по одному элементу из каждого исходного множества, при этом каждый из этих элементов в исходных множествах расположены на различных позициях. Задача в работе переформулирована через особенности требований к индексации элементов этих подмножеств. Каждый элемент в системах множеств имеет двухиндексное обозначение, первый элемент в индексе указывает на его принадлежность определенному исходному множеству, второй – на местоположение. Для выполнения требований, сформулированных в поставленной задаче, необходимо, чтобы индексы элементов, образующих с.р.п., принимали значения от 1 до n . **Вывод.** Предложены два метода решения поставленной задачи: циклическими сдвигами строк и столбцов матричной конфигурации, сформированной исходными множествами и по заданному закону индексации элементов окружения. Определено число возможных вариантов формирования систем различных представительств. Установлены причины распространения предлагаемых методов решения задачи только для исходных множеств нечетной размерности.

Ключевые слова: система различных представительств, циклические сдвиги, закон, индексация окружения, комбинаторная конфигурация

TECHICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

INDEXING METHODS FOR FORMING COMBINATORIAL CONFIGURATIONS OF THE
CLASS OF SYSTEMS OF DISTINCT REPRESENTATIVES

Islamudin P. Kadiev

National Bank of the Republic of Dagestan,
Russian Federation Central Bank
29. Daniyalov Str., Makhachkala 367000, Russia
e-mail: islam-kadi@mail.ru

Abstract. Objectives In this paper, methods for solving of a class of combinatorial tasks, known as systems of distinct representatives (SDR), are considered. The objective is to develop methods and algorithms for the formation of a combinatorial SDR configuration that includes as rows, columns or row- and column subsets, which are composed of elements of the original family of $n \times n$ – sets occupying different positions in the initial sets, as well to determine the possible number of proposed configurations. **Method** Index ordering methods are used for the arrangement of elements in the formed systems of distinct representatives, the essence of which is to formulate requirements for the process of configuration having specified properties through the regularity of indexing elements within these configurations. **Results** The general formulation of the issue of constructing an SDR is considered in terms of a problem of formation from the elements of sets and subsets, which include one element from each initial set, with each of these elements being located at different positions in the original sets. The task was reformulated in reference to the requirements for indexing the elements of these subsets. Each element in set systems has a two-index designation, with the first element in the index indicating membership of a specific initial set and the second – to its location. In order to fulfil the requirements formulated in the task, it is necessary for indices of the SDR elements to have values from 1 to n . **Conclusion** Two methods for solving the problem are proposed: cyclic shifts of rows and columns of the matrix configuration formed by the original sets, and by a given law for indexing the elements of the environment. The number of possible options for the formation of representative systems is determined. The reasons for the propagation of the proposed methods for solving the problem are established only for initial sets of odd dimensions.

Keywords: system of distinct representatives, cyclic shifts, law of indexing the environment, combinatorial configuration

Введение. Одним из известных классов комбинаторных задач являются задачи формирования систем различных представительств (с.р.п.). Задачи этого класса разнообразны. Они часто формулируются под определенные свойства, которые должны быть присущи формируемым системам, в некоторых случаях в терминах используемого для их решения математического аппарата [1,2,10].

Общую постановку задач этого класса можно описать на пример задачи Л.Эйлера о 36 офицерах: имеются 36 офицеров 6-ти различных званий, образующих 6 групп, необходимо построить их в каре таким образом, чтобы в каждом ряду и в каждой шеренге были бы по одному офицеру каждого звания. Решение задачи об офицерах Л.Эйлером не было найдено. Позже математики доказали, что она, в той постановке, которая была сформулирована Л.Эйлером, не имеет решения, но может быть решена для системы, состоящих из нечетного числа множеств с нечетным числом элементов.

На наш взгляд, эту задачу можно сформулировать следующим образом: имеется n конечных множеств по n элементов в каждой, из элементов множеств требуется сформировать подмножества, которые включали бы по одному элементу (представителю) из каждого исходного множества, расположенных на различных в них позициях. Решение задача состоит в

ответах на вопросы: как сформировать такие подмножества; сколько таких подмножеств можно сформировать?

Близкая по содержанию задача, связанная с формированием подмножеств из элементов конечного множества, Л.Эйлером была решена для отдельного множества. Им была предложена комбинаторная конфигурация, образованная из подмножеств исходного конечного множества, известная как «латинский квадрат». Название было связано с использованием Л.Эйлером в качестве исходного множества элементов латинского алфавита. В основе построения латинского квадрата было формирование конфигурации, строками которой были символы латинского алфавита, сдвинутые циклически относительно друг друга на одну позицию в одну и ту же сторону. Каждая строка и каждый столбец этой конфигурации содержит все элементы латинского алфавита.

Постановка задачи. Имеются n множеств (независимых групп), состоящая каждая из n элементов (различных специалистов, экспертов в определенной предметной области), на одноименных позициях находятся элементы, обладающие одинаковыми свойствами (одной специальности или из одной предметной области), предложить методы формирования комбинаторных конфигураций, строки, столбцы или строки и столбцы которых образуют подмножества, включающими в себя по одному представителю из каждого исходного множества и обладающие всеми свойствами, присущими этим множествам, т. е. являющиеся системами различных представительств, элементы которых являются взаимно независимыми, представляющими различные группы, т.е. с.р.п., составленные из элементов, занимающих в исходных множествах различные позиции.

Определить возможное количество предлагаемых конфигураций. В доказательство существования с.р.п. в приведенной постановке задачи предложить алгоритмы их формирования.

Методы исследования. Для решения задачи выбраны методы индексного упорядочения расположения элементов в формируемых с.р.п.. Суть этих методов состоит в формулировке требований к процессу формирования конфигураций, обладающих заданными свойствами, через закономерность индексации в них элементов [11-19]. Для решения поставленной в работе задачи требования могут быть сформулированы на основе следующей аргументации:

1. Если в подмножествах формируемой конфигурации должны быть элементы всех n исходных множеств, то первые индексы элементов входящих в любую формируемую систему, должны принимать все значения от 1 до n ;

2. Если элементы, входящие в подмножества должны занимать в своих подмножествах различные позиции, то значения вторых индексов элементов, при условии, что они занимают в своих подмножествах различные позиции, должны принимать в них все значения от 1 до n .

Таким образом, индексным признаком подмножества, образующего систему представительств, является принятие индексами ее элементов всех значений от 1 до n независимо от их местоположения.

Поставленная задача может быть решена методами циклических сдвигов элементов столбцов и строк исходной $n \times n$ – конфигурацию или по заданному закону индексации элементов окружения, предложенными в [3-9].

Можно утверждать, что идея формирования комбинаторной конфигурации циклическими сдвигами элементов конечных множеств впервые была использована Л.Эйлером и отражена в «латинском квадрате». Отличие данной работы, состоит в том, что циклические сдвиги элементов строк и столбцов использованы для сдвигов строк и столбцов совокупности конечных множеств, образующих исходную $n \times n$ – конфигурацию, образованную из совокупности множеств.

Исходное семейство n - множеств, может быть представлено как $n \times n$ - матричная конфигурация, строками или столбцами которой являются отдельные n -множества.

При таком представлении каждый элемент матричной конфигурации имеет двухэлементные индексы. Первый элемент индекса указывает его принадлежность к определенному исходному множеству (группе). Второй элемент индекса указывает на

местоположение элемента в этом множестве, кроме того он обеспечивает различимость элементов в этом множестве. Второй индекс определяет индивидуальные свойства элемента, отличающие его от всех других элементов в этом множестве (специальность, эксперт в определенной предметной области), но характерное (общее) для всех элементов, расположенных на этой же позиции, во всех остальных множествах.

Обсуждение результатов. Класс с.р.п., обладающий указанной системой индексных признаков, может быть сформирован путем циклических сдвигов строк и столбцов в исходной матричной конфигурации, по следующим алгоритмам:

- каждая i -ая строка матричной конфигурации, образованной исходными конечными множествами, сдвигается на $(i-1)$ шагов в одну и ту же сторону;
- каждый j -ый столбец матричной конфигурации, образованной исходными конечными множествами, сдвигается на $(j-1)$ шагов в одну и ту же сторону;
- каждый j -ый столбец матричной конфигурации, образованной исходными конечными множествами, сдвигается $(j-1)$ шагов в одну и ту же сторону, в образованной конфигурации каждая i -ая строка сдвигается на $(i-1)$ шагов в одну и ту же сторону.

$A_{11} A_{12} A_{13} A_{14} A_{15} A_{16} A_{17}$
 $A_{21} A_{22} A_{23} A_{24} A_{25} A_{26} A_{27}$
 $A_{31} A_{32} A_{33} A_{34} A_{35} A_{36} A_{37}$
 $A_{41} A_{42} A_{43} A_{44} A_{45} A_{46} A_{47}$
 $A_{51} A_{52} A_{53} A_{54} A_{55} A_{56} A_{57}$
 $A_{61} A_{62} A_{63} A_{64} A_{65} A_{66} A_{67}$
 $A_{71} A_{72} A_{73} A_{74} A_{75} A_{76} A_{77}$

Рис.1 Исходные множества в 7x7- матричной форме
Fig. 1. The initial sets in the 7x7 matrix form

$A_{11} A_{12} A_{13} A_{14} A_{15} A_{16} A_{17}$
 $A_{22} A_{23} A_{24} A_{25} A_{26} A_{27} A_{21}$
 $A_{33} A_{34} A_{35} A_{36} A_{37} A_{31} A_{32}$
 $A_{44} A_{45} A_{46} A_{47} A_{41} A_{42} A_{43}$
 $A_{55} A_{56} A_{57} A_{51} A_{52} A_{53} A_{54}$
 $A_{66} A_{67} A_{61} A_{62} A_{63} A_{64} A_{65}$
 $A_{77} A_{71} A_{72} A_{73} A_{74} A_{75} A_{76}$

Рис.2. Конфигурации, полученные циклическими сдвигами строк по первому алгоритму
Fig.2. Configurations obtained by cyclic shifts of rows according to the first algorithm

$A_{11} A_{22} A_{33} A_{44} A_{55} A_{66} A_{77}$
 $A_{23} A_{34} A_{45} A_{56} A_{67} A_{71} A_{12}$
 $A_{35} A_{46} A_{57} A_{61} A_{72} A_{13} A_{24}$
 $A_{47} A_{51} A_{62} A_{73} A_{14} A_{23} A_{36}$
 $A_{52} A_{63} A_{74} A_{15} A_{26} A_{35} A_{41}$
 $A_{64} A_{75} A_{16} A_{27} A_{31} A_{47} A_{53}$
 $A_{76} A_{17} A_{21} A_{32} A_{43} A_{52} A_{65}$

Рис.3. Конфигурации, полученные циклическими сдвигами строк по второму алгоритму
Fig.3. Configurations obtained by cyclic shifts of rows in the second algorithm

$A_{11} A_{23} A_{35} A_{47} A_{52} A_{64} A_{76}$
 $A_{22} A_{34} A_{46} A_{51} A_{63} A_{75} A_{17}$
 $A_{33} A_{45} A_{57} A_{62} A_{74} A_{16} A_{21}$
 $A_{44} A_{56} A_{61} A_{73} A_{15} A_{27} A_{32}$
 $A_{55} A_{67} A_{72} A_{14} A_{26} A_{31} A_{43}$
 $A_{66} A_{71} A_{13} A_{25} A_{37} A_{42} A_{54}$
 $A_{77} A_{12} A_{24} A_{36} A_{41} A_{53} A_{65}$

Рис.4. Конфигурация, образованная последовательными циклическими сдвигами строк и столбцов
Fig.4. The configuration formed by successive cyclic shifts of rows and columns

На рис. 1 приведены, в качестве примера, исходные множества, представленные в 7×7 -матричной форме, из элементов которых формируются с.р.п.

На рис. 2 и рис. 3 приведены конфигурации, полученные циклическими сдвигами ее строк по приведенным выше первому (рис.3) и второму (рис.2) алгоритмам, в которых столбцы и строки соответственно удовлетворяют сформулированному выше требованию к индексации элементов в подмножествах, образующих варианты построения с.р.п. – систем.

На рис.4 приведена конфигурация, образованная последовательными циклическими сдвигами строк и столбцов исходной конфигурации. В ней строки и столбцы, по индексации элементов, соответствуют вариантам построения с.р.п., что подтверждает их существование при сформулированной постановке задач по их построению.

Следует отметить, что третий алгоритм может быть реализован циклическими сдвигами в различной последовательности, как в последовательности «строки – столбцы» (рис.4), так и в последовательности «столбцы – строки». При этом образуются две транспонированные конфигурации.

Требованиями к предлагаемым конфигурациям в комбинаторике являются не только описание алгоритмов формирования, но и определение числа конфигураций предлагаемого типа. При формировании с.р.п. по предлагаемым алгоритмам 1 и 2, это число определяется как возможное число перестановок в строках и столбцах соответственно, так как такие перестановки не меняют свойств конфигураций. Следовательно, их число определяется и в том и в другом случае как $n!$.

При формировании с.р.п. по третьему алгоритму, число вариантов составления с.р.п. определяется общим числом перестановок строк и столбцов в полученной конфигурации, так как эти перестановки не меняют основных свойств конфигурации. Оно равно $n!(n-1)!$.

Необходимо отметить следующие свойства предлагаемых алгоритмов.

Первый и второй алгоритмы формирования с.р.п., основанные на циклических сдвигах только строк или только столбцов, могут быть использованы для формирования вариантов систем при любых значениях размерности исходных множеств n . Третий алгоритм позволяет составлять с.р.п. только при нечетных значениях n . Это подтверждает невозможность построения каре в задаче Л.Эйлера о 36 офицерах, так как в ней число элементов в исходных n -множествах равно четному числу $n=6$.

Класс с.р.п., в которых оба индекса элементов, входящих в систему, принимают значения от 1 до n , может быть построен и алгоритмами, в которых использованы определенные правила индексации окружения элементов в конфигурациях, которые рассмотрены в [4].

Анализ индексации элементов в приведенной выше на рис. 4 конфигурации, строки и столбцы которой представляют собой варианты построения с.р.п., позволил выявить в ней закономерность [4]. Она заключается в том, что, зная индексы любого из элементов конфигурации, независимо от его местоположения в ней, можно определить индексы элементов, а по ним элементы его окружения. Это позволяет выбрать любой элемент из любого исходного множества, расположить его на любой из $n \times n$ позиций, и, зная правила индексации элементов его окружения, сформировать конфигурацию, состоящую из с.р.п.- систем, т.е. формировать системы по заданному закону индексации, с расположением выбранного элемента на выбранной позиции.

На рис.5 приведена схема, отражающая зависимость индексов элементов окружения элемента A_{ij} , где индексы принимают значения от 1 до n , в зависимости от индексов i и j этого элемента. Суммирование индексов элементов окружения в строках и столбцах выполняется по модулю n только при выполнении условия, что полученные суммы больше, чем n .

Это обстоятельство позволяет сам метод индексации определить как «метод модульной индексации $n \times n$ – комбинаторных конфигураций». Для алгоритмов, в которых первой операцией циклического сдвига являются сдвиги элементов по столбцам (рис.5),

закономерность определения индексов элементов окружения, для строк и столбцов меняются местами.

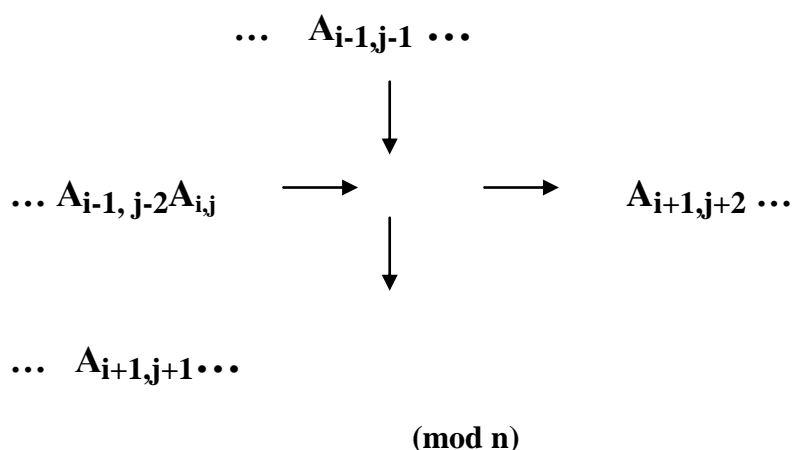


Рис.5. Зависимость индексов элементов окружения элемента A_{ij} от индексов i и j этого элемента

Fig.5. Dependence of the indices of the elements of the environment of the element A_{ij} on the indices i and j of this element

Отличительная особенность конфигураций, построенных с заданным правилом индексации элементов окружения, заключается в том, что в них имеется возможность формировать варианты с.р.п. - систем, в которых выбранный элемент из любого исходного множества может быть расположен на любой из $n \times n$ позиции в формируемых конфигурациях, в любом из формируемых систем.

В работе [4] предложен общий вид функциональной зависимости индексов элемента окружения от индексов каждого элемента, который позволяет формировать комбинаторные конфигурации типа систем с.р.п., отличающиеся от приведенных выше.

Для этого, в предлагаемую функциональную зависимость введена постоянная - коэффициент $k = 1, 2, \dots, n-1$ (рис. 6) индексной удаленности элементов окружения, выбор которого позволяет формировать различные системы представительства.

Функциональная зависимость индексов окружения от индексов элемента A_{ij} имеет вид:

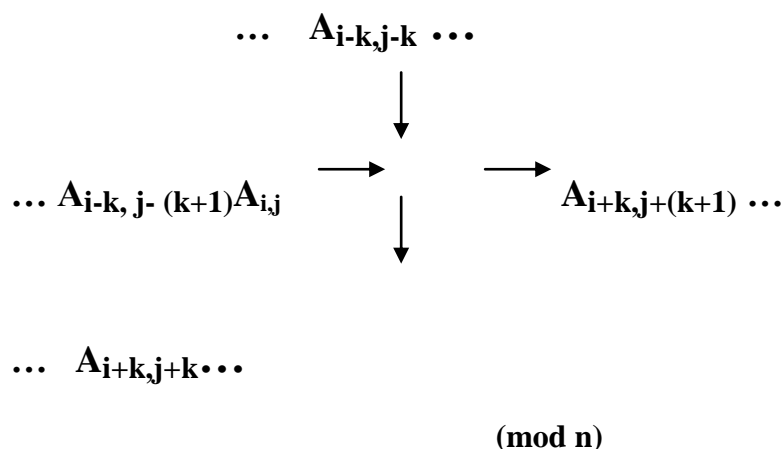


Рис.6. Функциональная зависимость индексов окружения от индексов элемента A_{ij}

Fig.6. The functional dependence of the environment indices on the indices of the element A_{ij}

Анализ процесса формирования с.р.п. по заданному правилу индексации элементов окружения, позволяет выявить одну из причин ограниченности применения предлагаемых

алгоритмов третьего типа. Причина эта заключается в том, что с.р.п. может быть сформировано по этому алгоритму только при n - нечетном числе.

Причина представляется, в частности при использовании предлагаемого в работе алгоритма, в нарушении правил формирования индексов элементов окружения. Ниже эта причина иллюстрируется примером формирования строк и столбцов конфигураций с четными и нечетными значениями мощности n исходных множеств.

Примеры формирования первой строки конфигурации для нечетных и четных размерностей исходных множеств (суммирование индексов при значениях больших n , выполняется по модулю n):

$$n = 5 \quad A_{11}A_{23}A_{35}A_{42}A_{54}$$

$$n = 6 \quad A_{11}A_{23}A_{35} \quad A_{41}A_{53}A_{65}$$

$$n = 7 \quad A_{11}A_{23}A_{35}A_{47}A_{52}A_{64}A_{76}$$

$$n = 8 \quad A_{11}A_{23}A_{35}A_{47} \quad A_{51} \quad A_{63}A_{75}A_{87}$$

$$n = 9 \quad A_{11}A_{23}A_{35}A_{47}A_{59}A_{62}A_{74}A_{86}A_{98}$$

$$n = 10 \quad A_{11}A_{23}A_{35}A_{47}A_{59} \quad A_{61}A_{73}A_{85}A_{97}A_{10,9}$$

Сравнение индексации первых строк конфигураций, построенных по приведенным правилам индексации окружения для значений размерности исходных массивов четных и нечетных, показывает, что требование к принятию индексами значений от 1 до n по вторым индексам при n четном числене выполняются.

При определении значений вторых индексов по модулю n образуются модульные остатки, которые указывают на то, что образуются несколько вторых индексов, принадлежащих одному и тому же смежному классу. При нечетных значениях размерности n все модульные остатки указывают на их принадлежность к различным $(n-1)$ смежным классам. Известно, что требования нечетности модульного числа является базовым требование при его выборе в теории смежных классов.

Этим обстоятельством, в частности, может объясняться отсутствие решения у задачи Л.Эйлера об 36 офицерах.

Вывод. Предлагаемые индексные методы формирования вариантов построения с.р.п., в основе которых индексный принцип упорядочения расположение элементов циклические сдвиги строки и столбцов исходных конфигураций по предложенным алгоритмам и их формирование по заданной закономерности зависимости индексации окружения, могут использоваться при решении задач из различных областей исследований, связанных с формированием и выбором решений из числа альтернативных вариантов. Предлагаемые решения сформулированы без учета особенностей объектов, образующих исходные множества, что обеспечивают их универсальность. Они могут быть использованы при решении таких задач, как составления расписаний, формирования независимых экспертных групп, размещения и распределения ресурсов, криптографии и целом ряде других сфер исследований.

Библиографический список:

1. Виленкин Н.Я. Комбинаторика. - М.: Наука, 1969
2. Лазарев А. Комбинаторика. Электронный ресурс. [www. hse.ru](http://www.hse.ru). Institute of Control Seines of Russian Academy of sienses, 2010
3. Кадиев И.П., Кадиев П.А. Циклические методы индексной сортировки элементов массивов данных. Вестник ДГТУ, Технические науки, 2015, Т.. с.79-83
4. Кадиев И.П., Кадиев П.А. Способ задания правил индексации элементов матричных комбинаторных конфигураций. Вестник ДГТУ, Технические науки, 2016, Т.42. с.93-101
5. Кофман А.Н. Введение в прикладную комбинаторику. - М.: Наука, 1975
6. Носов В.А., Скачков В.Н., Тараканов В.Е. Комбинаторный анализ. (Матричные проблемы теории выбора). – Итоги науки. ВИНТИ. Серия Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика. 1981. №18.с.53-83
7. Райзер Г.Дж. Комбинаторная математика. – М.: Мир, 1966
8. Рыбников К.А. Введение в комбинаторный анализ. – М.: Изд. МГУ, 1985

9. Рыбников К.А. Комбинаторный анализ. Очерки истории. – М.: Изд. МГУ, 1998.
10. Сачков В.Н. Введение в комбинаторные методы дискретной математики. М.: Наука, 1982
11. Тараканов В.Е. Комбинаторные задачи и $\{0,1\}$ -матрицы. – М.: Наука, 1985.
12. М. Холл. Глава №5 «Системы различных представителей» // Комбинаторика *Combinatorial Theory* / пер. с англ. С. А. Широковой; под ред. А. О. Гельфанда и В. Е. Тараканова. – М.: Мир, 1970. – С. 65–78. – 424 с.
13. Alexander Schrijver. Chapter 22 «Transversals», chapter 23 «Common transversals» // *Combinatorial optimization*. – Springer, 2003.
14. Свами К. Тхуласираман. Графы, сети и алгоритмы / *Graphs, Networks, and Algorithms* пер. с англ. М. В. Горбатовой, В. Л. Торхова, С. А. Фролова, В. Н. Четверикова; под ред. В. А. Горбатова. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
15. Denes J., Keedwell A. D. *Latin Squares and their Applications*, Budapest, 1974
16. Алекберли Д.М. Критерий существования непрерывного размещения двусимвольных слов в матрице раз- мера $L \times (2k+1)$. – Информационные технологии и вычислительные системы. 2010, №2, с. 50-58.
17. Коршунов Ю.М. Гл.11 Задачи теории расписаний и массового обслуживания. /В кн. Математические основы кибернетики. – М.: Энергоиздат, 1987, с.437-465
18. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981, с.486
19. Айгнер М. Комбинаторная теория. - М.: Мир. 1982.

References:

1. Vilenkin N.Ya. *Kombinatorika*. Moscow: Nauka; 1969. [Vilenkin N.Ya. *Combinatorics*. Moscow: Nauka; 1969. (in Russ.)]
2. Lazarev A. *Kombinatorika*. Elektronnyy resurs. www. hse.ru. Institute of Control Seines of Russian Academy of sciences, 2010. [Lazarev A. *Combinatorics*. Electronic resource. www. hse.ru. Institute of Control Seines of Russian Academy of sciences, 2010. (in Russ.)]
3. Kadiev I.P., Kadiev P.A. Tsiklicheskie metody indeksnoy sortirovki elementov massivov dannykh. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2015; 36:79-83. [Kadiev I.P., Kadiev P.A. Cyclic methods of index sorting of data array elements. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2015; 36:79-83. (in Russ.)]
4. Kadiev I.P., Kadiev P.A. Sposob zadaniya pravil indeksatsii elementov matrichnykh kombinatornykh konfiguratsiy. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2016; 42:93-101. [Kadiev I.P., Kadiev P.A. The method of specifying indexing rules for elements of matrix combinatorial configurations. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2016; 42:93-101. (in Russ.)]
5. Kofman A.N. *Vvedenie v prikladnuyu kombinatoriku*. Moscow: Nauka; 1975. [Kofman A.N. *Introduction to applied combinatorics*. Moscow: Nauka; 1975. (in Russ.)]
6. Nosov V.A., Skachkov V.N. Tarakanov V.E. *Kombinatornyy analiz (Matrichnye problemy teorii vybora)*. Itogi nauki. VINITI. Seriya Teoriya veroyatnostey. *Matematicheskaya statistika. Teoreticheskaya kibernetika*. 1981; 18:53-83. [Nosov V.A., Skachkov V.N. Tarakanov V.E. *Combinatorial analysis (Matrix problems of the decision theory)*. *Journal of Mathematical Sciences*. 1981; 18:53-83. (in Russ.)]
7. Rayzer G.Dzh. *Kombinatornaya matematika*. Moscow: Mir; 1966. [Rayzer G.Dzh. *Combinatorial mathematics*. Moscow: Mir; 1966. (in Russ.)]
8. Rybnikov K.A. *Vvedenie v kombinatornyy analiz*. Moscow: Izd. MGU; 1985. [Rybnikov K.A. *Introduction to combinatorial analysis*. Moscow: MSU; 1985. (in Russ.)]
9. Rybnikov K.A. *Kombinatornyy analiz. Ocherki istorii*. Moscow: Izd. MGU; 1998. [Rybnikov K.A. *Combinatorial analysis. Historical essays*. Moscow: MSU; 1998. (in Russ.)]
10. Skachkov V.N. *Vvedenie v kombinatornye metody diskretnoy matematiki*. Moscow: Nauka; 1982. [Skachkov V.N. *Introduction to combinatorial methods of discrete mathematics*. Moscow: Nauka; 1982. (in Russ.)]

11. Tarakanov V.E. *Kombinatornye zadachi i {0,1}-matritsy*. Moscow: Nauka; 1985. [Tarakanov V.E. *Combinatorial tasks and {0,1} -matrices*. Moscow: Nauka; 1985. (in Russ.)]
12. Holl M. Glava №5 “Sistemy razlichnykh predstaviteley” v “Kombinatorika = Combinatorial Theory” pod red. Gel’fanda A.O. i Tarakanova V.E. Moscow: Mir; 1970. S. 65-78. [Holl M. Chapter №5 “Systems of distinct representatives” in “Combinatorics = Combinatorial Theory” Gel’fand A.O. and Tarakanov V.E. (Eds). Moscow: Mir; 1970. P. 65-78. (in Russ.)]
13. Alexander Schrijver. Chapter 22 «Transversals», chapter 23 «Common transversals» in *Combinatorial optimization*. Springer; 2003.
14. Svami K.T. *Grafy, seti i algoritmy*. Pod red. Gorbatova V.A. Moscow: Mir; 1984. 455 s. [Svami K.T. *Graphs, Networks, and Algorithms*. Gorbatov V.A. (Ed). Moscow: Mir; 1984. 455 p. (in Russ.)]
15. Denes J., Keedwell A. D. *Latin Squares and their Applications*. Budapest; 1974.
16. Alekberli D.M. Kriteriy sushchestvovaniya nepreryvnogo razmeshcheniya dvusimvol'nykh slov v matritse razmera $L \times (2k+1)$. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*. 2010; 2:50-58. [Alekberli D.M. A criterion for the existence of a continuous allocation of two-character words in $L \times (2k+1)$ -sized matrix. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*. 2010; 2:50-58.]
17. Korshunov Yu.M. *Matematicheskie osnovy kibernetiki*. Gl. 11. *Zadachi teorii raspisaniy i massovogo obsluzhivaniya*. Moscow: Energoizdat; 1987. S.437-465. [Korshunov Yu.M. *Mathematical Foundations of Cybernetics*. Chapter 11. *The problems of scheduling and queueing theory*. Moscow: Energoizdat; 1987. S.437-465. (in Russ.)]
18. Moiseev N.N. *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza*. Moscow: Nauka; 1981. 486 s. [Moiseev N.N. *Mathematical problems of system analysis*. Moscow: Nauka; 1981. 486 p. (in Russ.)]
19. Aygner M. *Kombinatornaya teoriya*. Moscow: Mir; 1982. [Aygner M. *Combinatorial theory*. Moscow: Mir; 1982. (in Russ.)]

Сведения об авторе.

Кадиев Исламудин Пашаевич – ведущий специалист в области защиты информации информационно-аналитического отдела Управления инспектирования коммерческих организаций.

Information about the author.

Islamudin P. Kadiev – the leading specialist in the field of information protection of the information-analytical department of the Office of Inspecting Commercial Organizations.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 09.01.2017.

Received 09.01.2017.

Принята в печать 30.01.2017.

Accepted for publication 30.01.2017.

Для цитирования: Тумбинская М.В. Системный подход к организации защиты от таргетированной информации в социальных сетях. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):103-115. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-103-115

For citation: Tumbinskaya M.V. A system approach to organising protection from targeted information in social networks. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences 2017; 44 (1):103-115. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-103-115

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.056

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-103-115

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ ОТ ТАРГЕТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Тумбинская М.В.

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.

Туполева-КАИ,

420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.10 ООО «Подземпроект»,

e-mail: tumbinskaya@inbox.ru

Резюме: *Цель.* Целью исследования является формализация обобщенного алгоритма распространения таргетированной информации в социальных сетях, составляющий основу методики повышения безопасности использования личной информации. **Метод.** За основу исследования взята методика защиты от нежелательной информации, распространяемой в системах SOCIAL NETWORK. **Результат.** В статье представлена формализация алгоритма распространения таргетированной информации в социальных сетях: определены входные, выходные параметры, описаны внутренние состояния алгоритма – параметры реализации сценариев атак, вариация которых позволит их детализировать. Предложена методика защиты от таргетированной информации, распространяемой в социальных сетях, которая позволит повысить уровень защищенности персональных данных и личной информации пользователей социальных сетей, достоверность информации. **Вывод.** Результаты исследования позволят предотвратить угрозы информационной безопасности, противодействовать атакам злоумышленников, которые зачастую используют методы конкурентной разведки и социальной инженерии за счет применения мер противодействия, разработать модель защиты от таргетированной информации и реализовать специальное программное обеспечение для его интегрирования в социальные информационные системы Online Social Network. Системный подход позволит проводить внешний мониторинг событий в социальных сетях, а также осуществлять поиск уязвимостей в механизмах обмена мгновенными сообщениями для возможности реализации атак злоумышленниками. Результаты исследования позволяют на новом уровне применять активно развивающийся сегодня сетевой подход к исследованию неформальных сообществ.

Ключевые слова: *информационная безопасность, социальная информационная система Online Social Network, таргетированная информация, злоумышленник, сценарий атаки*

TECHICAL SCIENCE COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

A SYSTEM APPROACH TO ORGANISING PROTECTION FROM TARGETED INFORMATION IN SOCIAL NETWORKS

Marina V. Tumbinskaya

Tupolev Kazan National Research Technical University – KAI,

10 Karl Marx Str., Kazan 420111, Russia,
e-mail: tumbinskaya@inbox.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to formalise a generalised algorithm for the distribution of targeted information in social networks, serving as the basis for a methodology for increasing personal information security. **Method** The research is based on the methodology of protection from unwanted information distributed across social network systems. **Results** The article presents the formalisation of an algorithm for the distribution of targeted information across social networks: input and output parameters are defined and the algorithm's internal conditions are described, consisting of parameters for implementing attack scenarios, which variation would allow them to be detailed. A technique for protection from targeted information distributed across social networks is proposed, allowing the level of protection of personal data and information of social networks users to be enhanced, as well as the reliability of information increased. **Conclusion** The results of the research will help to prevent threats to information security, counteract attacks by intruders who often use methods of competitive intelligence and social engineering through the use of countermeasures. A model for protection against targeted information and implement special software for its integration into online social network social information systems is developed. The system approach will allow external monitoring of events in social networks to be carried out and vulnerabilities identified in the mechanisms of instant messaging, which provide opportunities for attacks by intruders. The results of the research make it possible to apply a network approach to the study of informal communities, which are actively developing today, at a new level.

Keywords: information security, online social networks, social information systems, targeted information, intruders, attack scenario

Введение. В настоящее время каждый человек является пользователем интернет-пространства, активно развиваются социальные информационные системы Online Social Network – социальные сети. Социальные сети характеризуются простотой реализации продвижения бизнеса, распространения рекламы товаров и услуг, досуга, хобби, личного общения и обмена информацией, тем самым являясь открытым источником информации для злоумышленников. Злоумышленники в качестве одного из способов получения конфиденциальной информации используют распространение таргетированной информации [1] в социальных сетях.

Под таргетированной информацией понимается нежелательная информация, содержащаяся в информационных сообщениях пользователя или группы пользователей (сообщества) социальной сети [1]. Для своих целей злоумышленники могут использовать лидеров социальной сети. Чаще всего лидеры имеют высокий уровень доверия среди большого числа пользователей социальной сети или сообщества, либо являются создателями (администраторами) сети или сообщества [2 – 5].

В работах [6, 7] рассмотрены алгоритм распространения нежелательной информации в системах Social Network, который представлен в виде реализации одной из возможных диаграмм прецедентов с использованием языка UML, что недостаточно для понимания его работы, методика защиты от таргетированной информации, которая представлена тремя этапами вербального описания и не отражает процесса взаимодействия с алгоритмом.

Постановка задачи. В отличие от работ [6, 7], в статье автором сделана попытка формализации обобщенного алгоритма распространения таргетированной информации в социальных сетях путем определения входных, выходных и внутренних состояний алгоритма, которые заложены в основу методики защиты от таргетированной информации.

Методы исследования. Достоинством предложенной автором статьи методики в отличие от методики, представленной в работах [6, 7] является ее дополнение, модификация функциональных блоков и их детализация. Кроме того, автором предложена структурная схема методики защиты от распространения таргетированной информации в социальных сетях,

которая отражает параметрические взаимосвязи. Достоинством методики является практическая значимость, а в статье представлены результаты ее успешной апробации. Отличительной особенностью от работы автора Д.Х. Мирзанурова [7] является предложенный анализ методов выявления влиятельных пользователей сети в системах Social Network, на основе зарубежных публикаций ученых.

Научная новизна работы заключается в формализации обобщенного алгоритма распространения таргетированной информации в социальных сетях, заложенный в основу методики защиты от таргетированной информации, которая позволит повысить безопасность использования личной информации в социальных сетях.

Обсуждение результатов. Обобщенный алгоритм распространения таргетированной информации в социальных сетях

В работе предложен обобщенный алгоритм распространения таргетированной информации в социальных сетях, который можно представить в виде:

1. Начало.
2. Шаг 1: Выявить пользователя (группу пользователей), для которого предназначена таргетированная информация - объект атаки.
3. Шаг 2: Определить влиятельного пользователя – лидера распространения таргетированной информации.
4. Шаг 3. Принудить лидера распространить таргетированную информацию или распространить информацию от лица лидера, используя методы социальной инженерии.
5. Конец.

Алгоритм распространения таргетированной информации в системах Online Social Network можно представить в виде системы входных, выходных и внутренних параметров, вариация которых позволит формализовать различные сценарии атак на социальные сети [8 – 9].

Формализация обобщенного алгоритма распространения таргетированной информации в социальных сетях

Входные параметры: $X = \{x_1, \dots, x_j\}$ – пользователи социальной системы Social Network, $x_1 = \{x_1^i \mid i = \overline{1, n}\}$ – идентификатор пользователя, где x_1^1 – графическое изображение пользователя, x_1^2 – ФИО, x_1^3 – логин пользователя, x_1^4 – возраст, x_1^5 – характеристика пользователя (интересы, принадлежность к сообществам социальных сетей, образование, место проживания и т.п.); $x_2 = \{x_2^j \mid j = \overline{1, m}\}$ – посты пользователя социальной сети, где x_2^1 – количество постов, x_2^2 – количество комментариев к постам, x_2^3 – геолокация постов; $x_3 = \{x_3^\gamma \mid \gamma = \overline{1, s}\}$ – оценки постов и сообщений, где x_3^1 – количество оценок других пользователей «мне нравится», x_3^2 – количество репостов сообщений других пользователей сообществ, x_3^3 – количество сообщений в других социальных сетях, x_3^4 – количество сообщений личного диалога пользователя; $x_4 = \{x_4^\lambda \mid \lambda = \overline{1, \beta}\}$ – друзья и подписчики, где x_4^1 – количество подписчиков пользователя, x_4^2 – количество друзей пользователя; $x_5 = \{x_5^\sigma \mid \sigma = \overline{1, p}\}$ – профиль страницы пользователя, где x_5^1 – закрытый профиль, x_5^2 – открытый профиль; $x_6 \in \{0; 1\}$ – криминальное прошлое, $x_6 = 0$ – отсутствие признака, $x_6 = 1$ – присутствие признака; $x_7 = \{x_7^k \mid k = \overline{1, \tau}\}$ – посты, где x_7^1 – количество постов пользователя, x_7^2 – ссылки на собственные сайты, другие социальные сети, x_7^3 – количество репостов; $x_8 = \{x_8^d \mid d = \overline{1, w}\}$ – цель злоумышленника, где x_8^1 – финансовая выгода, x_8^2 – самоутверждение перед самим собой, x_8^3 – самоутверждение перед лицом какого-либо сообщества/общества социальные сети, x_8^4 –

возмездие знакомым пользователям, сообществу, мировой системе, x_8^5 – возмездие предприятию-работодателю, x_8^6 – преимущество в конкурентной борьбе, x_8^7 – удовлетворение хулиганских мотивов, x_8^8 – удовлетворение интереса, исследовательских целей.

Параметры внутренних состояний алгоритма: $Z = \{z_1, \dots, z_\gamma\}$ – использование методов социальной инженерии пользователем социальной сети: $z_1 = \{z_1^i \mid i = \overline{1, k}\}$ – использование методов получения доступа к данным авторизации, где z_1^1 – использование новых уязвимостей социальной сети и различных протоколов передачи данных, z_1^2 – использование известных уязвимостей и протоколов передачи данных, z_1^3 – распространение ссылок на сайты, содержащие известные вредоносные программы, z_1^4 – распространение копий известных вредоносных программ, z_1^5 – распространение ссылок на сайты, содержащие новые самописные вредоносные программы, z_1^6 – распространение копий новых самописных вредоносных программ, z_1^7 – распространение ссылок на фишинговые сайты, z_1^8 – использование атаки прямого перебора, z_1^9 – использование атаки по словарю, z_1^{10} – использование радужных таблиц, z_1^{11} – взлом аккаунта пользователя, z_1^{12} – взлом почтового ящика пользователя, z_1^{13} – кража/ознакомление с файлами конфиденциальной информации путем использования доступа к сети организации, z_1^{14} – кража/ознакомление с файлами конфиденциальной информации путем использования физического доступа к компьютеру пользователя; $z_2 = \{z_2^\chi \mid \chi = \overline{1, s}\}$ – использование методов социальной инженерии для получения доступа к данным авторизации, где z_2^1 – использование различных предлогов для получения пароля личных знакомых, z_2^2 – использование легенды для получения пароля пользователя, z_2^3 – распространение вредоносного программного обеспечения, маскирующегося в системе защиты, z_2^4 – использование инфицированных физических носителей информации для получения паролей - «Дорожное яблоко», z_2^5 – использование подхода установления доверительных отношений, z_2^6 – использование шантажа, z_2^7 – установление договоренностей с лидером социальной сети под предлогом распространения благотворительной информации социальной направленности, z_2^8 – установление договоренностей с лидером социальной сети под предлогом распространения рекламной информации с последующим вознаграждением, z_2^9 – установление договоренностей с лидером системы Social Network для распространения информации, апеллируя к иным скрытым мотивам - самоутверждение, обладание информацией; $z_3 = \{z_3^\tau \mid \tau = \overline{1, \omega}\}$ – использование методов социальной инженерии, направленных на друзей лидера социальной сети, где z_3^1 – использование методов получения доступа к данным авторизации ($z_1 = \{z_1^i \mid i = \overline{1, k}\}$) для взлома друга лидера, z_3^2 – установление договоренностей с другом лидера Social Network под предлогом распространения благотворительной информации социальной направленности, z_3^3 – установление договоренностей с другом лидера социальной сети под предлогом распространения рекламной информации с обещаниями вознаграждения, как лидеру, так и другу, z_3^4 – установление договоренностей с другом лидера социальной сети для распространения информации, апеллируя к иным скрытым мотивам (нематериальная выгода, самоутверждение, осведомленность) [10 – 12].

Выходные параметры: $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$ – реализованные цели злоумышленника, y_1^1 – материальный интерес, y_1^2 – самоутверждение перед самим собой, y_1^3 – самоутверждение перед лицом сообщества/общества, y_1^4 – месть знакомым, y_1^5 – месть сообществу, y_1^6 – месть мировой системе, y_1^7 – месть предприятию-работодателю, y_1^8 – преимущество в конкурентной борьбе, y_1^9 – хулиганство, y_1^{10} – интерес.

В работе детализация внутренних состояний обобщенного алгоритма распространения таргетированной информации в социальных сетях заложена в основу методики защиты от таргетированной информации.

Рассмотрим алгоритм распространения таргетированной информации в социальных сетях с использованием лидера сообщества (основные параметры: $z_2^7, z_2^8, z_3 = \{z_3^i \mid i = \overline{1, \omega}\}$). Формализация обобщенного алгоритма представлена с использованием методологии структурного анализа DFD, который включает 3 основных шага (рис. 1), а также хранилища данных, потоки данных, указаны внешние сущности – злоумышленник (источник) и объект атаки (адресат).

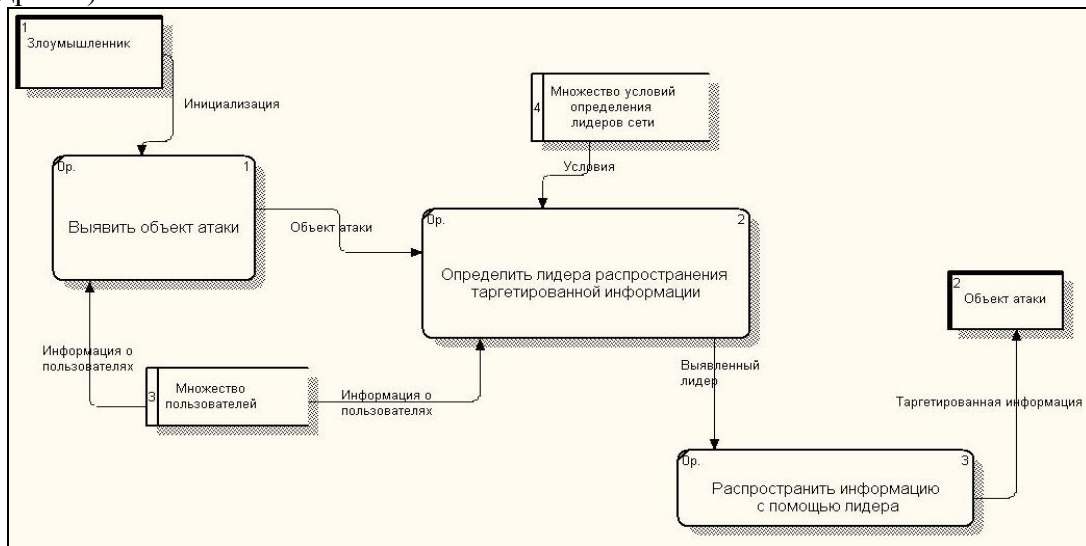


Рис.1.DFD диаграмма формализации обобщенного алгоритма распространения таргетированной информации в социальных сетях
Fig.1.DFD diagram of formalization of the generalized algorithm of distribution of the targeted information in social networks

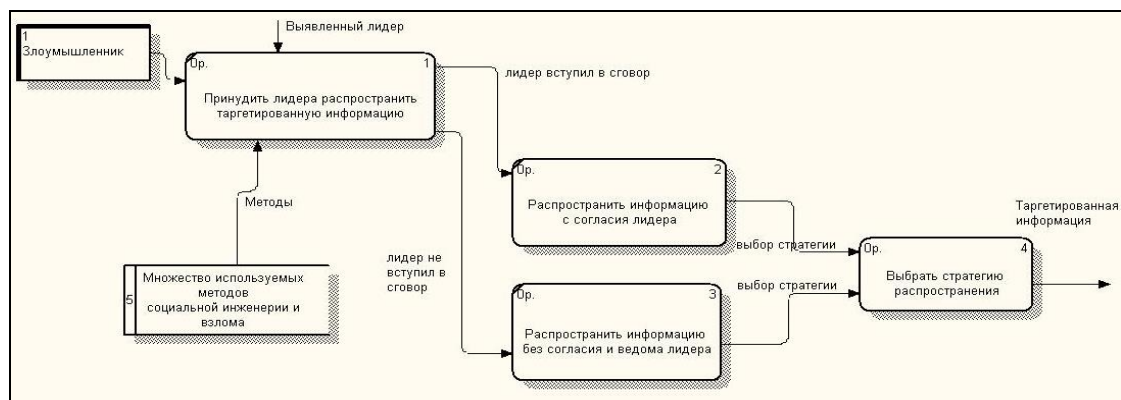


Рис.2.DFD диаграмма декомпозиции сценария распространения информации с помощью лидера социальной сети
Fig.2.DFD diagram of the decomposition of the information dissemination scenario with the help of the leader of the social network

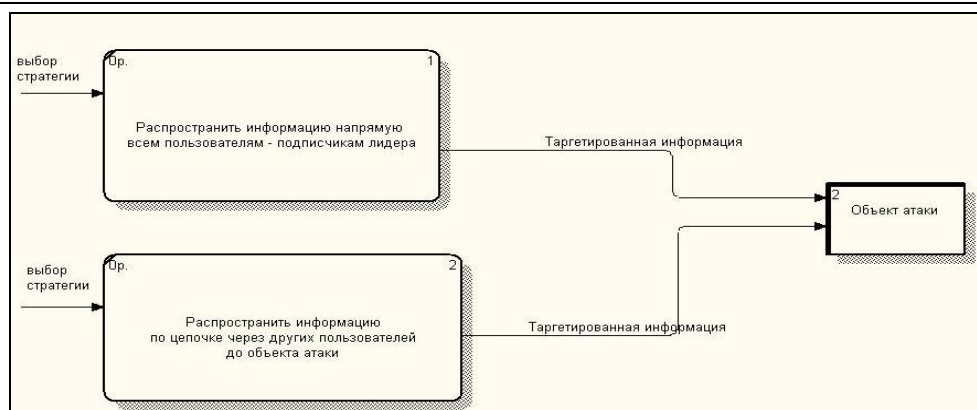


Рис.3.DFD диаграмма декомпозиции сценария выбора стратегии распространения информации в социальных сетях

Fig.3.DFD diagram of decomposition of the scenario of the choice of the strategy of distribution of information in social networks

На рисунках 2, 3 представлены следующие уровни декомпозиции «Распространить информацию с помощью лидера» (блок 3 рисунка 1), «Выбрать стратегию распространения» (блок 4 рисунка 2) соответственно.

В работе предложена методика защиты от распространения таргетированной информации в социальных сетях (рис. 4) представляет собой последовательность шагов:

1. Классификация пользователей социальной сети.
2. Защита лидеров социальной сети.
3. Совершенствование правил фильтрации сообщений пользователей.
4. Выработка рекомендаций по защите от распространения таргетированной информации [12 – 15].

Формально данную методику можно представить:

$K = \{k_1, k_2, k_3, k_4\}$ - множество функциональных блоков методики, где k_1 - классификация пользователей социальной сети, k_2 - защита лидеров социальной сети, k_3 - совершенствование правил фильтрации сообщений пользователей, k_4 - выработка рекомендаций по защите от распространения таргетированной информации;

$X = \{x_i \mid i = \overline{1, n}\}$ - множество входных параметров, где x_1 - образы злоумышленников, x_2 - критерии классификации потенциальных злоумышленников, x_3 - антивирусное программное обеспечение, x_4 - параметры пользователя-лидера социальной сети, x_5 - параметры, характеризующие поведение пользователя-лидера социальной сети, x_6 - множество сообщений пользователей, x_7 - критерии оценивания информации сообщений пользователей, x_8 - правила классификации информационных сообщений пользователей, x_9 - правила формирования рекомендаций по защите от таргетированной информации, x_{10} - множество пользователей социальной сети;

$Z = \{z_\varphi \mid \varphi = \overline{1, s}\}$ - множество внутренних параметров методики, где z_1 - перечень лидеров социальной сети, z_2 - информационные сообщения о необходимости соблюдения мер безопасности, z_3 - аутентификация с использованием технических средств связи, z_4 - профиль пользователя-лидера социальной сети, z_5 - база данных действий пользователя-лидера социальной сети, z_6 - принятие решений о блокировке аккаунта, z_7 - база данных сообщений таргетированной информации, z_8 - ожидаемые сообщения пользователя социальной сети, z_9 - нежелательные сообщения пользователя социальной сети;

$Y = \{y_j | j = \overline{1, m}\}$ - множество выходных параметров методики, где y_1 - перечень заблокированных пользователей, y_2 - информационное сообщение пользователю социальной сети о возможной реализации атаки, y_3 - рекомендации о принятии необходимых мер обеспечения информационной безопасности в социальной сети.

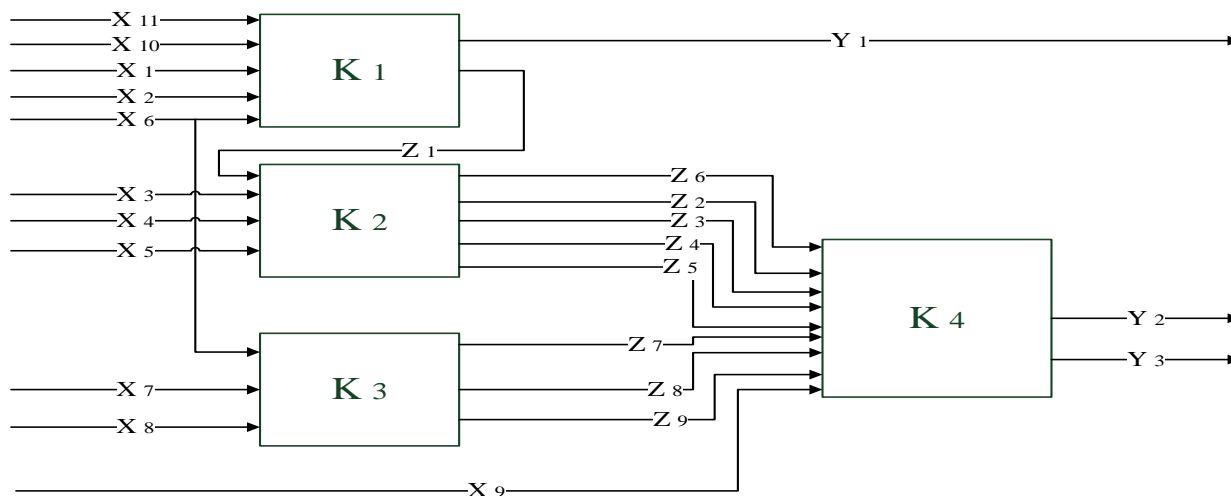


Рис.4. Структурная схема методики защиты от таргетированной информации
Fig.4. Structural scheme of the method of protection from the targeted information

Функциональный блок «Классификация пользователей социальной сети» включает:

- 1) классификацию пользователей на основе образов злоумышленников и выявление подозрительных пользователей – потенциальных злоумышленников;
- 2) классификацию потенциальных злоумышленников на основе критерия – уровень активности (действий) в отношении пользователей социальных сетей за определенное время t_1 ;
- 3) принятие решения о блокировании пользователей на основе п. 1 и п. 2 данного функционального блока;
- 4) классификация пользователей социальной сети на основе образов «пользователь-лидер социальной сети».

Функциональный блок «Защита лидеров социальной сети» включает:

- 1) обучение и предостережение лидеров сети – введение мер по обучению лидеров социальных сетей основам информационной безопасности (аккаунты лидеров являются критическими ресурсами, при получении доступа, к которым злоумышленник сможет распространить таргетированную информацию большому числу пользователей) путем рассылки информационных сообщений, содержащих напоминания о необходимости соблюдения мер информационной безопасности.
- 2) осуществление технических мер защиты: аутентификация с помощью смартфона (телефона), использование антивирусного программного обеспечения, аутентификация с помощью аппаратных средств, автоматическая проверка пароля на соответствие рекомендациям информационной безопасности.
- 3) анализ поведения лидера в социальной сети: разработка профиля пользователя (определение параметров пользователей и их граничных значений), создание базы данных действий пользователей, обновление базы данных действий пользователей, классификация поведения пользователя в социальной сети, разработка модели динамического изменения профиля пользователя, алгоритм определения аномального поведения пользователя.

В случае если поведение пользователя в сети является аномальным, то осуществляется информационное уведомление о том, что он является подозрительным с последующей блокировкой аккаунта.

На рисунке 5 представлена ER-диаграмма логической модели базы данных пользователей социальной сети.

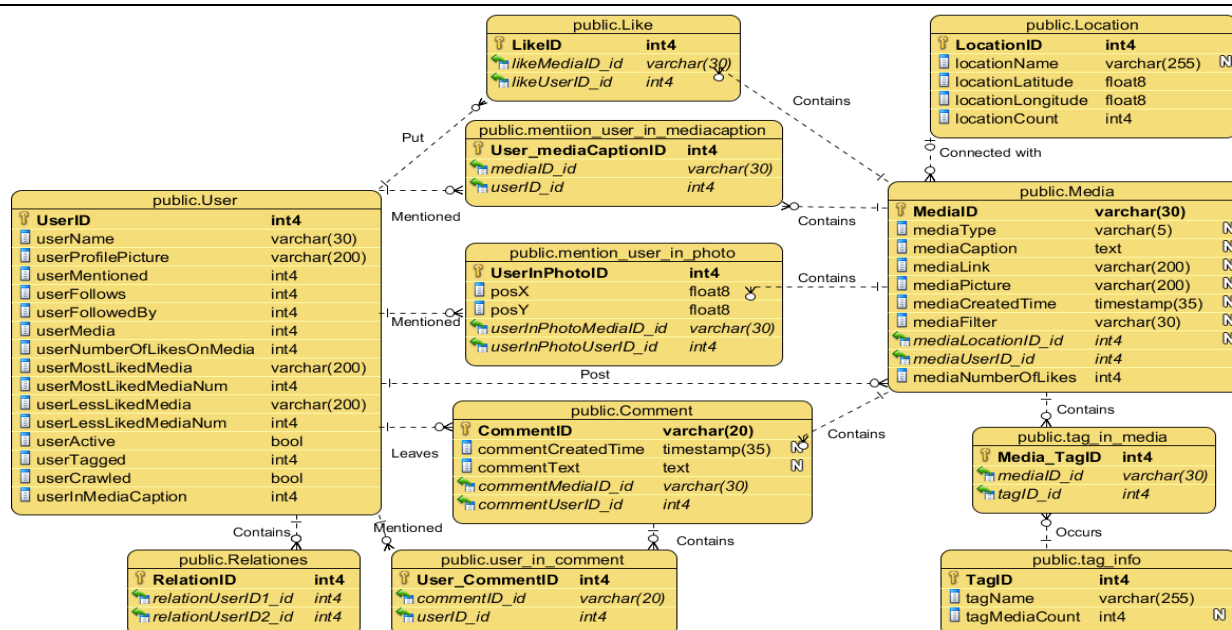


Рис.5. ER-диаграмма модели базы данных пользователей социальной сети

Fig.5. ER-diagram of the database model of social network users

Функциональный блок «Совершенствование правил фильтрации сообщений пользователей» декомпозируется на этапы:

- формирование базы данных сообщений пользователей, содержащих таргетированную информацию, распространяемую в социальных сетях на основе анализа данных заблокированных пользователей;
- разработка критериев оценивания информации сообщений пользователей;
- формирование базы правил классификации информации сообщений пользователей;
- детализация базы данных сообщений пользователей, содержащих таргетированную информацию, и их классификация на ожидаемые и нежелательные на основе критериев оценивания;
- совершенствование базы правил классификации;
- разработка модели фильтрации сообщений пользователей социальных сетей.

Функциональный блок «Выработка рекомендаций по защите от таргетированной информации» декомпозируется на этапы:

- формирование базы правил выработки рекомендаций по защите от таргетированной информации;
- информирование пользователя социальной сети о возможной реализации атаки;
- выработка рекомендаций о принятии необходимых мер обеспечения информационной безопасности.

Апробация предложенной методики осуществлялась на базе виртуальных социальных сетей: Twitter, Facebook, Instagram, ежемесячная аудитория пользователей которых составляет 310 млн., 900 млн., 100 млн. [16 – 21] соответственно. В эксперименте участвовало более 2000 пользователей данных социальных сетей. На рисунке 6 представлены статистические данные, полученные автором в результате исследования. До применения методики пользователи были заблокированы администраторами либо модераторами социальных сетей по причинам некорректных или нецензурных высказываний, подозрительного поведения в сообществах и т.п.

Стоит отметить, что доля заблокированных пользователей «безвозвратно» в общей массе заблокированных невелика (график 1, рис. 6). Статистические данные, полученные после применения методики показывают, что принятие решения о блокировании пользователей становится более взвешенной и количество заблокированных пользователей снижается, что подтверждается графиком 2 (рис. 6). Среднее значение заблокированных пользователей сократилось в 2,26 раза.

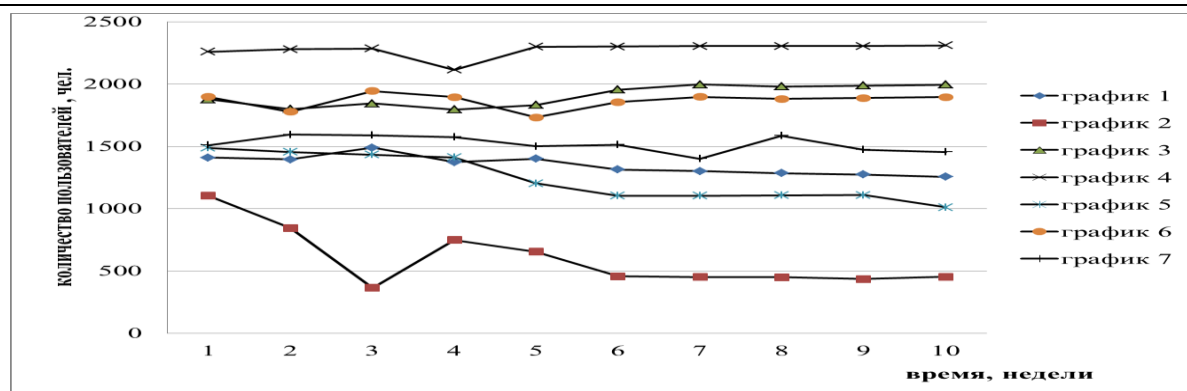


Рис.6. Статистические данные по апробации методики защиты от таргетированной информации

Fig.6. Statistical data on approbation of the method of protection against targeted information

Распространение злоумышленниками таргетированной информации пользователям социальных сетей осуществляется по причине реализации сценариев или части сценариев кибератак (график 3, рис. 6). Проще всего, как показывает статистика, злоумышленнику найти контакт с лидером сообщества и через него, используя методы социальной инженерии, распространить таргетированную информацию (график 4, рис. 6). Эффективность распространения таргетированной информации через лидера сообщества систем микроблоггинга составляет 1,19 раз. После применения методики защиты от таргетированной информации, путем реализации функционального блока «Защита лидеров социальной сети», выявлена динамика статистических данных. Пользователи социальных сетей отмечают (график 5, рис. 6), что стали реже (меньше на 35%) получать нежелательную информацию от друзей лидеров сообществ средствами микроблоггинга.

Зачастую злоумышленники используют стандартные типовые приемы для создания нежелательной информации в виде сообщений, дополняя их таргетированной информацией, например, ссылкой на вредоносное программное обеспечение. От качества и полноты базы данных правил классификации информации сообщений пользователей, содержащих таргетированную информацию зависит качество фильтрации сообщений и количество попыток блокирования нежелательных сообщений, содержащих таргетированную информацию (график 6, рис. 6). После применения методики количество пользователей, получивших нежелательные сообщения, содержащие таргетированную информацию сократилось на 19% (график 7, рис. 6).

Перспективы дальнейшего исследования проблемы защиты от таргетированной информации мы видим в детальной проработке методики и разработке на ее основе модели защиты от таргетированной информации. Модель защиты от таргетированной информации в социальных сетях позволит реализовать специальное программное обеспечение для его интегрирования в наиболее распространённые социальные сети, а пользователям повысить безопасность использования личной информации в социальных сетях и не попадаться на уловки злоумышленников. Предполагается, что специальное программное обеспечение будет представлять собой программный модуль – приложение, позволяющее: фильтровать личные сообщения пользователей, сообщений-записей (постов) пользователей сообществ социальных сетей на основе модели фильтрации сообщений; в автоматизированном режиме блокировать пользователей, рассылающих нежелательную информацию на основе образов злоумышленников, базы правил о блокировании пользователей; предоставлять рекомендации администраторам (модераторам) социальных сетей о возможных угрозах реализации атак злоумышленниками и принятии контрмер по предотвращению кибератак в социальных сетях. Исследования в этом направлении будут продолжены.

Вывод. Предложенная в работе методика защиты от таргетированной информации в социальных сетях, позволит предотвратить угрозы информационной безопасности, предотвратить попытки злоумышленников реализации социоинженерных атак, разработать

модель защиты от таргетированной информации, и в дальнейшем реализовать специальное программное обеспечение для его интегрирования в системы Online Social Network.

Все это позволит проводить внешний мониторинг событий в социальных сетях, а также осуществлять поиск уязвимостей в механизмах обмена мгновенными сообщениями для возможности реализации атак злоумышленниками, защите личной информации пользователей социальных сетей. Результаты исследования позволяют на новом уровне применять активно развивающийся сегодня сетевой подход к исследованию неформальных сообществ, получая интересные и наглядные результаты.

Библиографический список:

1. В. Левцов, Н. Демидов. Анатомия таргетированной атаки // Системный администратор. [Электронный ресурс] – <http://samag.ru/archive/article/3170> [Дата обращения: 06.03.2017].
2. Маркелова А.В., Козырева В.А., Сметанина О.Н. Модели управления процессом реализации академической мобильности в вузе // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2011. Т. 9. № 2. С. 55 – 65.
3. Юсупова Н.И., Ризванов Д.А., Сметанина О.Н., Еникеева К.Р. Модели представления знаний для поддержки принятия решений при управлении сложными системами в условиях неопределенности и ресурсных ограничений. В сборнике: Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016) Proceedings of the 4th International Conference. 2016. С. 24 – 27.
4. Юсупова Н.И., Сметанина О.Н., Еникеева К.Р. Иерархические ситуационные модели для СППР в сложных системах // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 63 – 68.
5. Яшников А.Ю., Болодурина И.П. Выявление лидеров мнений социальной сети // Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2016. № 5 (34). С. 59 – 65.
6. Мирзануров Д.Х. Методика защиты от нежелательной информации, распространяемой в системах SOCIAL NETWORK // Символ науки. 2015. № 5. С. 48 – 51.
7. Мирзануров Д.Х. Методика защиты от таргетированной информации, распространяемой в системах SOCIAL NETWORK // Приволжский научный вестник. 2015. № 6-1 (46). С. 40 – 43.
8. Е. Царев. Анатомия атаки в социальных сетях от Майка Рагго [Электронный ресурс] – <http://www.tsarev.biz/informacionnaya-bezopasnost/anatomiya-ataki-v-socialnyx-setyah-ot-majka-raggo/> [Дата обращения: 06.03.2017].
9. Служба внешней разведки штурмует соцсети [Электронный ресурс] – <http://www.rbc.ru/society/27/08/2012/5703fbef9a7947ac81a6b1cd> [Дата обращения: 06.03.2017].
10. Федоров П. ВКонтакте опережает Instagram по числу зарегистрированных пользователей [Электронный ресурс] – <http://siliconrus.com/2014/01/vkontakte-operezhaet-instagram-po-chislu-zaregistrovannyih-polzovateley/> [Дата обращения: 21.09.2016].
11. Юсупова Н.И., Шахмаметова Г.Р. Интеграция инновационных информационных технологий: теория и практика // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2010. Т. 14. № 4 (39). С. 112 – 118.
12. Назаров А.Н., Галушкин А.И., Сычев А.К. Риск-модели и критерии информационного противоборства в социальных сетях // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 7. С. 81 – 86.
13. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс] – http://www.rg.ru/oficial/doc/min_and_vedom/mim_bezop/doctr.shtm [Дата обращения: 20.09.2016].

14. Тультаева И.В., Каптюхин Р.В., Тультаев Т.А. Воздействие социальных сетей на коммуникационные процессы в современном обществе // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2014. № 4. С. 84 – 88.
15. Мурзин Ф.А., Батура Т.В., Проскуряков А.В. Программный комплекс для анализа данных из социальных сетей//Программные продукты и системы. 2015. № 4. С. 188 – 197.
16. Майдыков А.А., Исаров О.Б. Национальные интересы - актуальные проблемы противодействия использованию интернета террористическими и экстремистскими организациями // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. № 38 (323). С. 44 – 51.
17. Eset: аккаунты соцсетей 60% пользователей рунета взламывались хакерами [Электронный ресурс] – <http://www.securitylab.ru/news/442581.php> [Дата обращения: 21.09.2016].
18. А. Коршунов. Анализ данных пользователей социальных сетей [Электронный ресурс] – <http://synthesis.ipi.ac.ru/sigmod/seminar/korshunov20130530.pdf> [Дата обращения: 06.03.2017].
19. Д. Кремнёв. Продвижение в социальных сетях. [Электронный ресурс] – <http://owlweb.ru/wp-content/uploads/2015/10/21681337d0ac6c287594c8fc8b5bb733.pdf> [Дата обращения: 06.03.2017].
20. А. Коршунов, И. Белобородов, Н. Бузун, В. Аванесов, Р. Пастухов, К. Чихрадзе, И. Козлов, А. Гомзин, И. Андрианов, А. Сысоев, С. Ипатов, И. Филоненко, К. Чуприна, Д. Турдаков, С. Кузнецов. Анализ социальных сетей: методы и приложения. [Электр. ресурс] – http://www.ispras.ru/proceedings/docs/2014/26/1/isp_26_2014_1_439.pdf [Дата обращения 06.03.2017].
21. 15 самых популярных социальных сетей мира [Электронный ресурс] – <https://ain.ua/2014/06/09/15-samyh-populyarnyx-socialnyx-setej-mira> [Дата обращения: 06.03.2017].

References:

1. Levtsov V., Demidov N. Anatomiya targetirovannoy ataki . Sistemnyy administrator. [Elektronnyy resurs] – <http://samag.ru/archive/article/3170> [Data obrashcheniya: 06.03.2017]. [Levtsov V., Demidov N. Anatomy of the targeted attack. System Administrator. [Electronic resource] – <http://samag.ru/archive/article/3170> [Acces date: 06.03.2017]. (in Russ.)]
2. Markelova A.V., Kozyreva V.A., Smetanina O.N. Modeli upravleniya protsessom realizatsii akademicheskoy mobil'nosti v vuze. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii. 2011; 9(2):55-65. [Markelova A.V., Kozyreva V.A., Smetanina O.N. Models of management of the process of academic mobility in the university. Novosibirsk State University Journal of Information Technologies. 2011; 9(2):55-65. (in Russ.)]
3. Yusupova N.I., Rizvanov D.A., Smetanina O.N., Enikeeva K.R. Modeli predstavleniya znaniy dlya podderzhki prinyatiya resheniy pri upravlenii slozhnyimi sistemami v usloviyakh neopredelennosti i resursnykh ogranicheniy. Proceedings of the 4th International Conference “Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016)”. Ufa; 2016. P. 24 – 27. [Yusupova N.I., Rizvanov D.A., Smetanina O.N., Enikeeva K.R. Knowledge representation models for decision support in managing complex systems under uncertainty and resource constraints. Proceedings of the 4th International Conference “Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016)”. Ufa; 2016. P. 24 – 27. (in Russ.)]
4. Yusupova N.I., Smetanina O.N., Enikeeva K.R. Ierarkhicheskie situatsionnye modeli dlya SPPR v slozhnykh sistemakh. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013; 4:63-68. [Yusupova N.I., Smetanina O.N., Enikeeva K.R. Hierarchical situational models for DSS in complex systems. Modern problems of science and education. 2013; 4:63-68. (in Russ.)]
5. Yashnikov A.Yu., Bolodurina I.P. Vyyavlenie liderov mneniy sotsial'noy seti. Materialy XXXIV Studencheskoy mezhdunarodnoy zaочноy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Мо-

- lodezhnyy nauchnyy forum: tekhnicheskie i matematicheskie nauki". 2016; 5(34):59-65. [Yashnikov A.Yu., Bolodurina I.P. Identifying the opinion leaders of the social network. Proceedings of XXXIV Student international correspondence scientific-practical conference "Molodezhnyy nauchnyy forum: tekhnicheskie i matematicheskie nauki". 2016; 5(34):59-65. (in Russ.)]
6. Mirzanurov D.H. Metodika zashchity ot nezhelatel'noy informatsii, rasprostranyaemoy v sistemakh SOCIAL NETWORK. Simvol nauki. 2015; 5:48-51. [Mirzanurov D.H. The method of protection against unwanted information distributed in SOCIAL NETWORK systems. Simvol nauki. 2015; 5:48-51. (in Russ.)]
 7. Mirzanurov D.H. Metodika zashchity ot targetirovannoy informatsii, rasprostranyaemoy v sistemakh SOCIAL NETWORK. Privolzhskiy nauchnyy vestnik. 2015; 6-1(46): 40-43. [Mirzanurov D.H. The method of protection against the targeted information distributed in SOCIAL NETWORK systems. Privolzhskiy nauchnyy vestnik. 2015; 6-1(46): 40-43. (in Russ.)]
 8. Tsarev E. Anatomiya ataki v sotsial'nykh setyakh ot Mayka Raggio [Elektronnyy resurs] – <http://www.tsarev.biz/informacionnaya-bezopasnost/anatomiya-ataki-v-socialnyx-setyax-ot-majka-raggio/> [Data obrashcheniya: 06.03.2017]. [Tsarev E. Anatomy of the attack in social networks from Mike Ruggo [Electronic resource] – <http://www.tsarev.biz/informacionnaya-bezopasnost/anatomiya-ataki-v-socialnyx-setyax-ot-majka-raggio/> [access date: 06.03.2017]. (in Russ.)]
 9. Sluzhba vneshney razvedki shturmuet sotsseti [Elektronnyy resurs] – <http://www.rbc.ru/society/27/08/2012/5703fbef9a7947ac81a6b1cd> [Data obrashcheniya: 06.03.2017]. [The Foreign Intelligence Service is storming the social network [Electronic resource] – <http://www.rbc.ru/society/27/08/2012/5703fbef9a7947ac81a6b1cd> [access date: 06.03.2017]. (in Russ.)]
 10. Fedorov P. VKontakte operezhaet Instagram po chislu zaregistrirovannykh pol'zovateley [Elektronnyy resurs] – <http://siliconrus.com/2014/01/vkontakte-operezhaet-instagram-po-chislu-zaregistrirovannyih-polzovateley/> [Data obrashcheniya: 21.09.2016]. [Fedorov P. VKontakte ahead of Instagram by the number of registered users [Electronic resource] – <http://siliconrus.com/2014/01/vkontakte-operezhaet-instagram-po-chislu-zaregistrirovannyih-polzovateley/> [access date: 21.09.2016]. (in Russ.)]
 11. Yusupova N.I., Shakhmametova G.R. Integratsiya innovatsionnykh informatsionnykh tekhnologiy: teoriya i praktika. Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. 14-4(39):112-118. [Yusupova N.I., Shakhmametova G.R. Integration of innovative information technologies: theory and practice. Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. 14-4(39):112-118. (in Russ.)]
 12. Nazarov A.N., Galushkin A.I., Sychev A.K. Risk-modeli i kriterii informatsionnogo protivoborstva v sotsial'nykh setyakh. T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2016; 10(7):81-86. [Nazarov A.N., Galushkin A.I., Sychev A.K. Risk-models and criteria of information confrontation in social networks. T-Comm. 2016; 10(7):81-86. (in Russ.)]
 13. Doktrina informatsionnoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs] – http://www.rg.ru/oficial/doc/min_and_vedom/mim_bezop/doctr.shtm [Data obrashcheniya: 20.09.2016]. [The Doctrine of Information Security of the Russian Federation [Electronic resource] – http://www.rg.ru/oficial/doc/min_and_vedom/mim_bezop/doctr.shtm [access date: 20.09.2016]. (in Russ.)]
 14. Tul'taeva I.V., Kaptyukhin R.V., Tul'taev T.A. Vozdeystvie sotsial'nykh setey na kommunikatsionnye protsessy v sovremennom obshchestve. Biznes. Obrazovanie. Pravo. Vestnik Volgogradskogo instituta biznesa. 2014; 4:84-88. [Tul'taeva I.V., Kaptyukhin R.V., Tul'taev T.A. The Impact of Social Networks on Communication Processes in Modern Society. Business. Education. Law. Bulletin of the Volgograd Business Institute. 2014; 4:84-88. (in Russ.)]
 15. Murzin F.A., Batura T.V., Proskuryakov A.V. Programmnyy kompleks dlya analiza dannykh iz sotsial'nykh setey. Programmnye produkty i sistemy. 2015; 4:188-197. [Murzin F.A., Batura

- T.V., Proskuryakov A.V. A software package for analysing data from social networks. *Programmnye produkty i sistemy*. 2015; 4:188-197. (in Russ.)]
16. Maydykov A.A., Isarov O.B. Natsional'nye interesy - aktual'nye problemy protivodeystviya ispol'zovaniyu interneta terroristicheskimi i ekstremistskimi organizatsiyami. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. 2015; (323):44-51. [Maydykov A.A., Isarov O.B. National interests - topical issues of countering the use of the Internet by terrorist and extremist organizations. *National interests: priorities and security*. 2015; (323):44-51. (in Russ.)]
 17. Eset: akkaunty sotssetey 60% pol'zovateley runeta vzlamyvalis' khakerami [Elektronnyy resurs] – <http://www.securitylab.ru/news/442581.php> [Data obrashcheniya: 21.09.2016]. [Eset: accounts of social networks 60% of users of runet hacked by hackers [Electronic resource] – <http://www.securitylab.ru/news/442581.php> [access date: 21.09.2016]. (in Russ.)]
 18. Korshunov A. Analiz dannykh pol'zovateley sotsial'nykh setey [Elektronnyy resurs] – <http://synthesis.ipi.ac.ru/sigmod/seminar/korshunov20130530.pdf> [Data obrashcheniya: 06.03.2017]. [Korshunov A. Analysis of data from users of social networks [Electronic resource] – <http://synthesis.ipi.ac.ru/sigmod/seminar/korshunov20130530.pdf> [access date: 06.03.2017]. (in Russ.)]
 19. Kremnev D. Prodvizhenie v sotsial'nykh setyakh. [Elektronnyy resurs] – <http://owlweb.ru/wp-content/uploads/2015/10/21681337d0ac6c287594c8fc8b5bb733.pdf> [Data obrashcheniya: 06.03.2017]. [Kremnev D. Promotion in social networks. [Electronic resource] – <http://owlweb.ru/wp-content/uploads/2015/10/21681337d0ac6c287594c8fc8b5bb733.pdf> [access date: 06.03.2017]. (in Russ.)]
 20. Korshunov A., Beloborodov I., Buzun N., Avanesov V., Pastukhov R., Chikhradze K., Kozlov I., Gomzin A., Andrianov I., Sysoev A., Ipatov S., Filonenko I., Chuprina K., Turdakov D., Kuznetsov S. Analiz sotsial'nykh setey: metody i prilozheniya. [Korshunov A., Beloborodov I., Buzun N., Avanesov V., Pastukhov R., Chikhradze K., Kozlov I., Gomzin A., Andrianov I., Sysoev A., Ipatov S., Filonenko I., Chuprina K., Turdakov D., Kuznetsov S. Analysis of social networks: methods and applications. [Electronic resource] – http://www.ispras.ru/proceedings/docs/2014/26/1/isp_26_2014_1_439.pdf [access date 06.03.2017]. (in Russ.)]
 21. 15 samykh populyarnykh sotsial'nykh setey mira [Elektronnyy resurs] – <https://ain.ua/2014/06/09/15-samyx-populyarnyx-socialnyx-setej-mira> [Data obrashcheniya: 06.03.2017]. [15 most popular social networks in the world [Electronic resource] – <https://ain.ua/2014/06/09/15-samyx-populyarnyx-socialnyx-setej-mira> [access date: 06.03.2017]. (in Russ.)]

Сведения об авторе.

Тумбинская Марина Владимировна - кандидат технических наук, доцент кафедры систем информационной безопасности

Information about the author.

Marina V. Tumbinskaya – Cand. Sc.(Technical), Associate Prof. of Information Security Systems

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 19.01.2017.

Received 19.01.2017.

Принята в печать 09.02.2017.

Accepted for publication 09.02.2017.

Для цитирования: Абакаров А.Д., Омаров Х.М. Сейсмическая реакция каркасных зданий с комбинированной системой сейсмозащиты. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):116-126. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-116-126

For citation: Abakarov A.D., Omarov Kh.M. Seismic response of frame buildings with combined earthquake protection system. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):116-126. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-116-126

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 699.841

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-116-126

СЕЙСМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ

Абакаров А.Д.¹, Омаров Х.М.²

¹⁻²Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
e-mail: ¹a.abacarov@bk.ru, ²omarov.1987@inbox.ru

Резюме: *Цель.* Целью исследования является поиск методов повышения эффективности системы сейсмозащиты с резинометаллическими сейсмоизолирующими опорами путем комбинирования с элементами сухого трения и хрупкого выключения. **Метод.** Исследование основано на методах динамического моделирования. **Результат.** Составлены расчетная динамическая модель комбинированной системы сейсмозащиты и система дифференциальных уравнений сейсмического движения пятиэтажного каркасного здания, а также разработан алгоритм оценки эффективности и выбора оптимальных параметров системы сейсмозащиты. Определены горизонтальные сдвигающие сейсмические силы, максимальные перемещения масс и максимальные перемещения резинометаллических сейсмоизолирующих опор при разных интенсивностях и преобладающих периодах сейсмических колебаний грунтов. Доказано, что при использовании комбинированной системы сейсмозащиты сейсмические нагрузки на каркасные здания снижаются в 1,5-2 раза, а максимальные перемещения масс - 4-5 раз. Кроме того существенно расширяется область рационального применения систем сейсмоизоляции с резинометаллическими опорами по отношению к преобладающим периодам сейсмических колебаний грунтов. **Вывод.** Комбинированная система сейсмозащиты позволяет расширить область эффективного применения резинометаллических опор за счет увеличения диапазона возможных преобладающих периодов сейсмических колебаний грунтов, при которых максимальное перемещение верха резинометаллических опор не превышает предельно допустимого значения, и снижения максимальных остаточных перемещений резинометаллических опор со свинцовым сердечником.

Ключевые слова: сейсмические воздействия, каркасные здания, резинометаллические сейсмоизолирующие опоры, элементы сухого трения, выключающиеся элементы, горизонтальные сдвигающие сейсмические силы, максимальные перемещения масс, максимальные перемещения резинометаллических сейсмоизолирующих опор

TECHICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

SEISMIC RESPONSE OF FRAME BUILDINGS WITH COMBINED EARTHQUAKE
PROTECTION SYSTEM

*Abakar J. Abakarov*¹, *Khadzhimurad M. Omarov*²

¹⁻²Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367015, Russia

e-mail: ¹a.abacarov@bk.ru, ²omarov.1987@inbox.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to search for methods to improve the efficiency of the earthquake protection systems with rubber-metallic seismic insulating supports by combining them with dry friction and brittle uncoupling elements. **Method** The research is based on dynamic modeling methods. **Results** The computational dynamic model of the combined earthquake protection system and the system of differential equations of the seismic motion of a five-story frame building were compiled and an algorithm for estimating the efficiency and selection of the optimum parameters of the earthquake protection system was developed. Horizontal shifting seismic forces, maximum mass movements and maximum movements of rubber-metallic seismic insulating supports at different intensities and prevailing periods of seismic soil oscillations were determined. It is shown that, by using a combined earthquake protection system, seismic loads on frame buildings can be reduced by a factor of 1.5-2 and maximum mass movements – by 4-5 times. In addition, the area of rational application of seismic isolation systems with rubber-metallic supports in relation to the prevailing periods of seismic ground oscillations is expanding substantially. **Conclusion** The combined earthquake protection system allows the area of effective use of rubber-metallic supports to be expanded by increasing the range of possible prevailing periods of seismic soil vibrations at which the maximum movement of the top of the rubber-metallic supports does not exceed the maximum allowable value. The maximum residual movements of rubber-metallic supports can be reduced by using a lead core.

Keywords: seismic actions, frame buildings, rubber-metallic seismic insulating supports, elements of dry friction, shutdown elements, horizontal shearing seismic forces, maximum mass movements, maximum movements of rubber-metallic seismic insulating supports

Введение. Современное обеспечение сейсмостойкости является довольно-таки дорогостоящей задачей, особенно для объектов повышенной ответственности. Поэтому поиск путей эффективного повышения сейсмостойкости зданий и сооружений в последние десятилетия был направлен на разработку системы активной сейсмозащиты. Подробный перечень авторских свидетельств в этом направлении дан в работе. [1].

В отличие от традиционных способов обеспечения сейсмостойкости, связанных с повышением несущей способности конструкций, системы активной сейсмозащиты позволяют снизить уровни инерционных сил, возникающих в зданиях при землетрясении, т.е. сейсмических нагрузок. Впервые предложение об использовании систем сейсмозащиты в виде катковых опор и колонн со сферическими верхними и нижними опорами было опубликовано М. Вискордини в 1925 году.

С этого момента в строительстве был исследован и реализован целый ряд систем активной сейсмозащиты [2 -27].

Постановка задачи. Более широкое применение для обеспечения сейсмостойкости и надежности зданий и сооружений находят сейсмоизолирующие резинометаллические опоры [6], имеющие достаточную жесткость в вертикальном направлении и хорошую податливость в горизонтальной плоскости. Если в зданиях жесткого конструктивного решения они обладают достаточно высокой эффективностью, то в гибких зданиях возникают проблемы связанные с их недопустимо большими перемещениями при сейсмических воздействиях с преобладающими низкими частотами колебаний грунтов. Как один из путей решения этой проблемы в данной

статье исследуется система сейсмоизоляции с резинометаллическими опорами, дополненную элементами сухого трения и выключающимися элементами.

Одним из крупнейших в Европе изготовителем сейсмоизолирующих опор является итальянская фирма «FIP INDUSTRIAL». Данная фирма выпускает широкий ассортимент резинометаллических опор, которые классифицируются в зависимости от типов резины на мягкие, нормальные и жесткие. Кроме того они изготавливаются со свинцовым сердечником и без него. В данной работе, как более эффективные для гибких зданий, рассматриваются жесткие резинометаллические опоры со свинцовым сердечником. На рисунке 1 показана конструктивная схема исследуемой комбинированной системы сейсмозащиты.

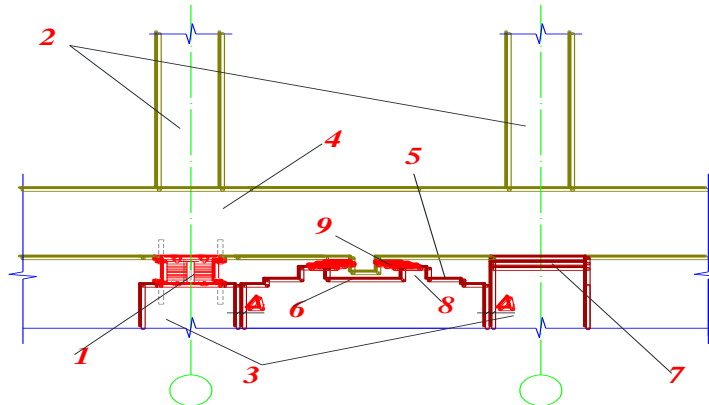


Рис.1. Комбинированная система сейсмозащиты:

1 – сейсмоизолирующая резинометаллическая опора; 2 – колонны надфундаментной части здания; 3 – стойки цокольного этажа здания; 4 – железобетонный опорный пояс в уровне низа колонн; 5 – диафрагма жесткости между колоннами; 6 – зазор между выступом из пояса и упорами ограничителями; 7 – элементы сухого трения; 8 – упор ограничитель; 9 – выключающиеся элементы; Δ_1 – зазор между стойками цокольного этажа и диафрагмой жесткости в цокольном этаже

Fig.1. Combined seismic protection system:

1 - seismic insulating rubber mount; 2 - columns of the above-foundation part of the building; 3 - racks of the basement of the building; 4 - reinforced concrete support belt at the bottom of the column; 5 - stiffening diaphragm between the columns, 6 - gap between the shoulder of the belt and the stops of the stops; 7 - elements of dry friction; 8 - stop limiter; 9 - switching elements; Δ_1 - gap between the pillars of the basement and the diaphragm of rigidity in the basement

Методы исследования.

Расчетную динамическую модель исследуемой комбинированной системы сейсмозащиты представим в виде консольного стержня $n+1$ числом сосредоточенных масс, как это показано на рис. 2.

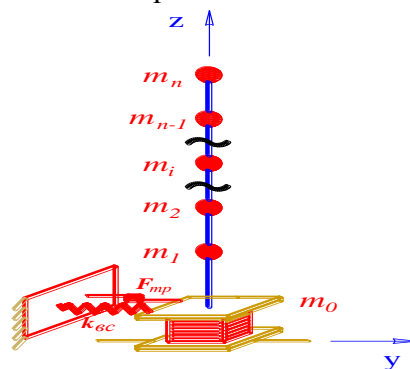


Рис.2. Динамическая модель здания с комбинированной системой сейсмозащиты, включающая резинометаллические опоры, элементы сухого трения и выключающиеся элементы

Fig.2. Dynamic model of the building with a combined seismic protection system, including resinometallic bearings, dry friction elements and switching elements

Систему дифференциальных уравнений движения указанной выше нелинейной динамической модели, подвергнутой сейсмическому воздействию, представляем в виде:

$$m_0 \ddot{y}_0 + c_0 \dot{y}_0 + c_1 (\dot{y}_0 - \dot{y}_1) + R(y_0) + F_{гp} \text{sign} \dot{y}_0 + \epsilon y_0 + k_1 (y_0 - y_1) = -m_0 \ddot{y}_{гp}$$

$$m_1 \ddot{y}_1 + c_1(\dot{y}_1 - \dot{y}_0) + c_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + k_1(y_1 - y_0) + k_2(y_1 - y_2) = -m_1(\ddot{y}_{\text{Гр}} + \ddot{y}_0) \quad (1)$$

$$m_i \ddot{y}_i + c_i(\dot{y}_i - \dot{y}_{i-1}) + c_{i+1}(\dot{y}_i - \dot{y}_{i+1}) + k_i(y_i - y_{i-1}) + k_{i+1}(y_i - y_{i+1}) = -m_i(\ddot{y}_{\text{Гр}} + \ddot{y}_0)$$

$$m_n \ddot{y}_n + c_n(\dot{y}_n - \dot{y}_{n-1}) + k_n(y_n - y_{n-1}) = -m_n(\ddot{y}_{\text{Гр}} + \ddot{y}_0),$$

где $i=2 \div n-1$.

Здесь m_0 – масса, сосредоточенная на уровне верха резинометаллических опор; $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_{n-1}, m_n$ – сосредоточенные массы на уровнях перекрытий; $k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_{n-1}, k_n$ – поэтажные жесткости здания; $c_0, c_1, c_2, \dots, c_{n-1}, c_n$ – поэтажные коэффициенты затухания; $\ddot{y}_{\text{Гр}}$ – сейсмическое воздействие, представляемое в виде реальной акселерограммы или нестационарного случайного процесса; $R(y_0)$ – нелинейная восстанавливающая сила в резинометаллических опорах; y_0 – перемещение в уровне верха резинометаллических опор; y_1, y_2, \dots, y_n – перемещения соответствующих масс, а $\dot{y}_0, \dot{y}_1, \dots, \dot{y}_n, \ddot{y}_0, \ddot{y}_1, \dots, \ddot{y}_n$ – скорости и ускорения этих масс.

Восстанавливающую силу $R(y_0)$ представим в виде [24]

$$R(y_0) = Ay_0(1 - \text{sign}\omega) + (By_0 + \zeta(F_1 - Bd_1)) \frac{1}{2} (\text{sign}\omega + (1 - \text{sign}\psi))(1 - \text{sign}\eta) + (Ay_0 + \zeta(AC + F_1 - D)) \text{sign}\eta. \quad (2)$$

В системе (1) $F_{\text{тр}}$ – сила трения в скользящих опорах.

При одинаковом их количестве с резинометаллическими опорами

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} 0,5 \sum_{i=1}^n m_i g, \quad (3)$$

где, $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения скольжения в опорах.

$$\text{Единичная функция } \text{sign}\dot{y}_0 = \begin{cases} -1, & \text{когда } \dot{y}_0 > 0 \\ 1, & \text{когда } \dot{y}_0 < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Через ϵy_0 обозначена восстанавливающая сила в выключающихся элементах.

Здесь, согласно зависимости «Сила-перемещение», показанной на рис.3

$$\epsilon = \begin{cases} k_{\text{вс1}}, & \text{когда } |y_0| < b_1 \\ k_{\text{вс2}}, & \text{когда } b_1 \leq |y_0| < b_2 \\ k_{\text{вс3}}, & \text{когда } b_2 \leq |y_0| < b_3 \\ 0, & \text{когда } b_3 \leq |y_0| \end{cases} \quad (5)$$

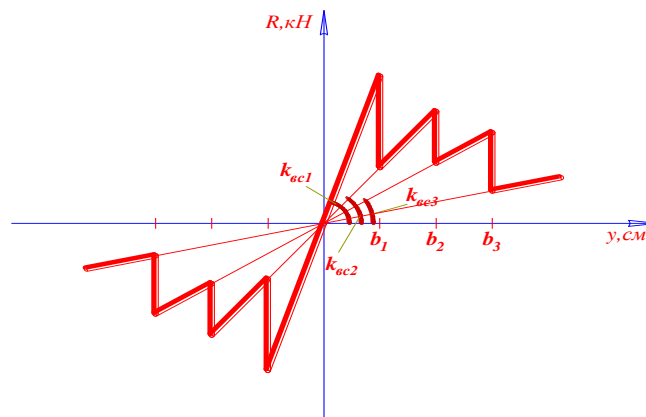


Рис.3. График зависимости «Восстанавливающая сила - перемещение» для системы из трех последовательно выключающихся элементов

Fig.3. The plot of the «Restoring force-displacement» relationship for a system of three consecutively-off elements

$k_{\text{вс1}}$ – жесткость в состоянии работы всех выключающихся элементов;

k_{bc2} – жесткость в состоянии выключения элементов I-го уровня;
 k_{bc3} – жесткость в состоянии выключения элементов II-го уровня;
 b_1 – перемещение, при котором происходит выключение элементов первого уровня;
 b_2 – перемещение, при котором происходит выключение элементов второго уровня;
 b_3 – перемещение, при котором происходит выключение элементов третьего уровня.

Далее приведены результаты исследования влияния выключающихся элементов и элементов сухого трения на перемещения резинометаллических сейсмоизолирующих опор и верха колонн в 5-ти этажных каркасных зданиях.

В рассматриваемой комбинированной системе сейсмозащиты, состоящей из резинометаллических опор со свинцовым сердечником, элементов сухого трения с коэффициентом трения 0,2 и выключающихся элементов, были приняты следующие значения жесткостей выключающихся элементов и предельных перемещений, при которых происходит выключение указанных элементов:

$$\begin{aligned} k_{bc1} &= 9616,6 \text{ кН/см}; & b_1 &= 6 \text{ см}; \\ k_{bc2} &= 6400 \text{ кН/см}; & b_2 &= 8 \text{ см}; \\ k_{bc3} &= 3205 \text{ кН/см}; & b_3 &= 10 \text{ см}. \end{aligned}$$

Обсуждение результатов. Максимальные значения горизонтальных сдвигающих сейсмических сил в момент времени, соответствующий максимальному перемещению нижней сосредоточенной массы показаны на рис. 4.

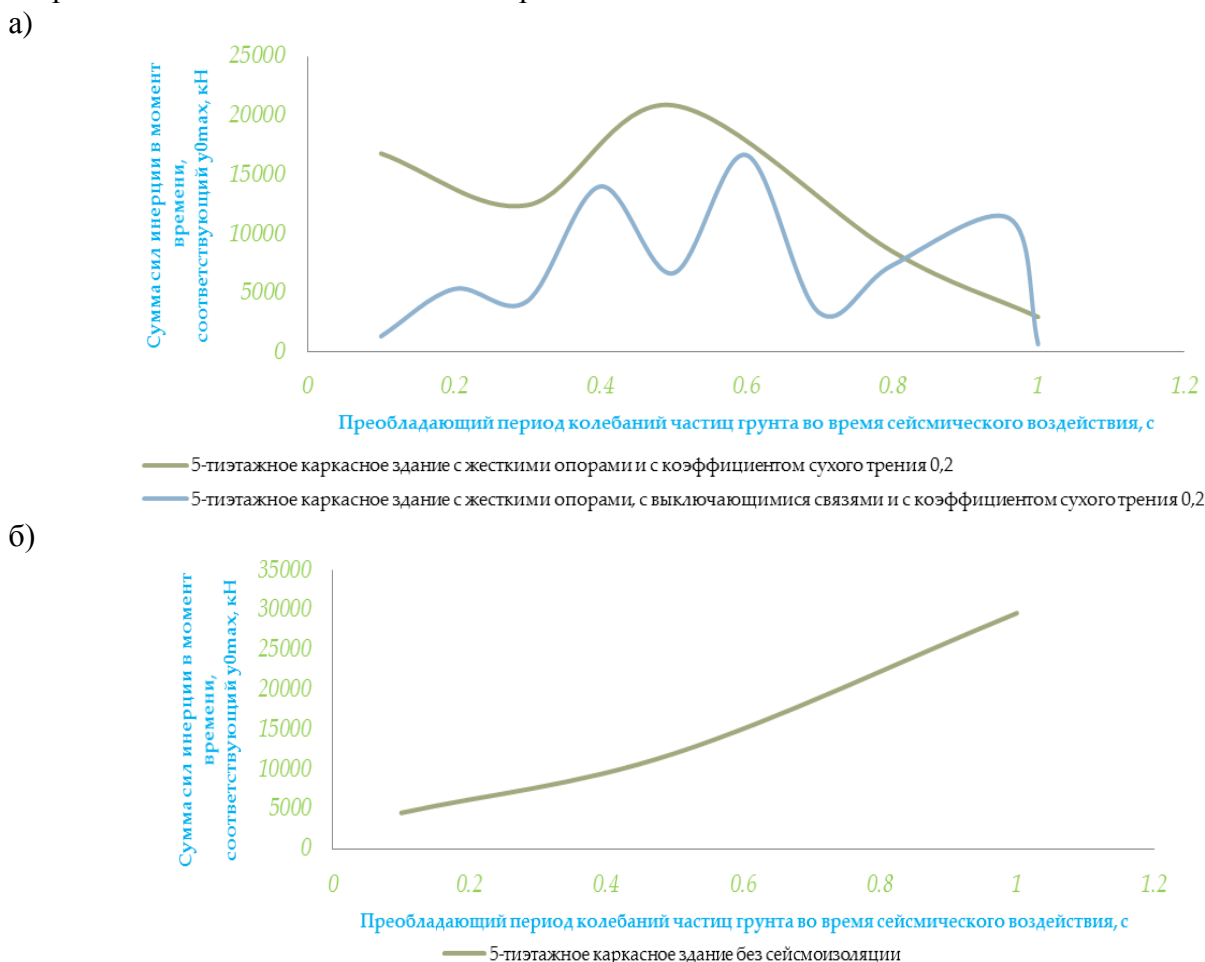


Рис.4. Графики горизонтальных поэтажных сдвигающих сейсмических сил для 5-ти этажного каркасного здания:

а – с комбинированной системой сейсмозащиты; б – без сейсмоизоляции

Fig.4. Graphs of horizontal seismic shifting seismic forces for a 5-story frame building:

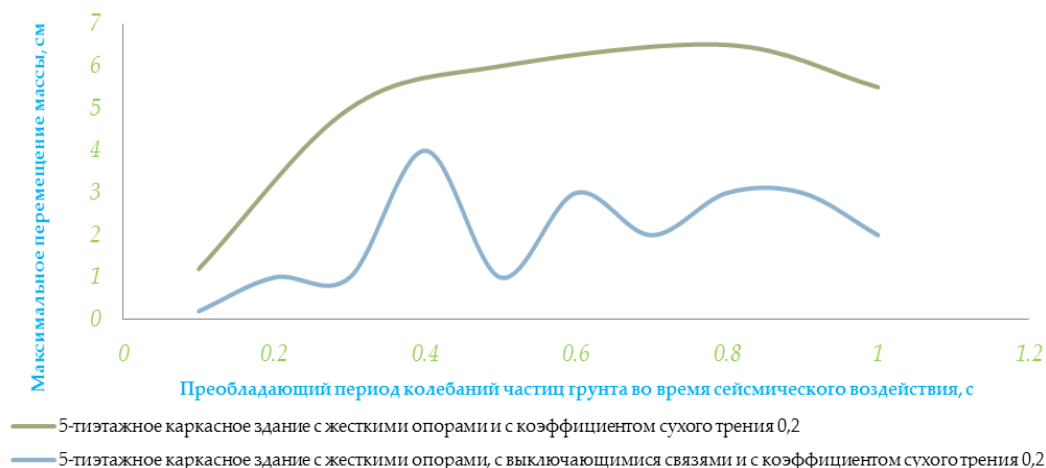
A - with a combined seismic protection system; Б - without seismic isolation

Графики показывают, что применение комбинированной системы сейсмозащиты, состоящей из РМСО, элементов сухого трения и выключающихся элементов в каркасных зданиях снижает максимальные поэтажные сдвигающие силы почти в 1,5 раза в момент времени, когда перемещение резинометаллической опоры максимально.

По сравнению со зданием без систем сейсмоизоляции наблюдается почти двукратное снижение этих сил при низкочастотных сейсмических воздействиях.

Максимальные значения горизонтальных перемещений масс рассматриваемой системы показаны на рис. 5.

а)



б)

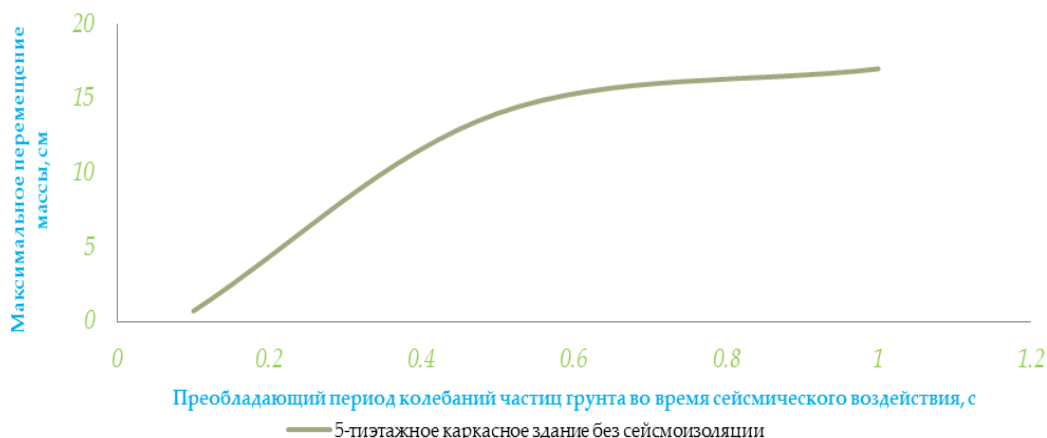


Рис.5. Графики перемещений сосредоточенных масс для 5-тиэтажного каркасного здания:

а – с комбинированной системой сейсмозащиты; б – без сейсмоизоляции

Fig.5. The graphs of the movements of concentrated masses for a 5-story frame building: а - with a combined seismic protection system; б - without seismic isolation

Из рисунков 5а и 5б следует, что комбинирование резинометаллических опор только с элементами сухого трения приводит к снижению максимальных перемещений масс в 2-3 раза, а с сухим трением и выключающимися элементами – 4-5 раз.

Графики максимальных перемещений и остаточных деформаций РМСО показаны на рисунках 6 и 7. Из рис. 6 следует, что предельный уровень перемещения верха рассматриваемых резинометаллических опор, равный 40 см, в системе сейсмозащиты без выключающихся элементов достигает при преобладающих периодах сейсмических колебаний грунтов превышающих 0,8 с, а с выключающимися элементами – при периодах превышающих 1,0 с.

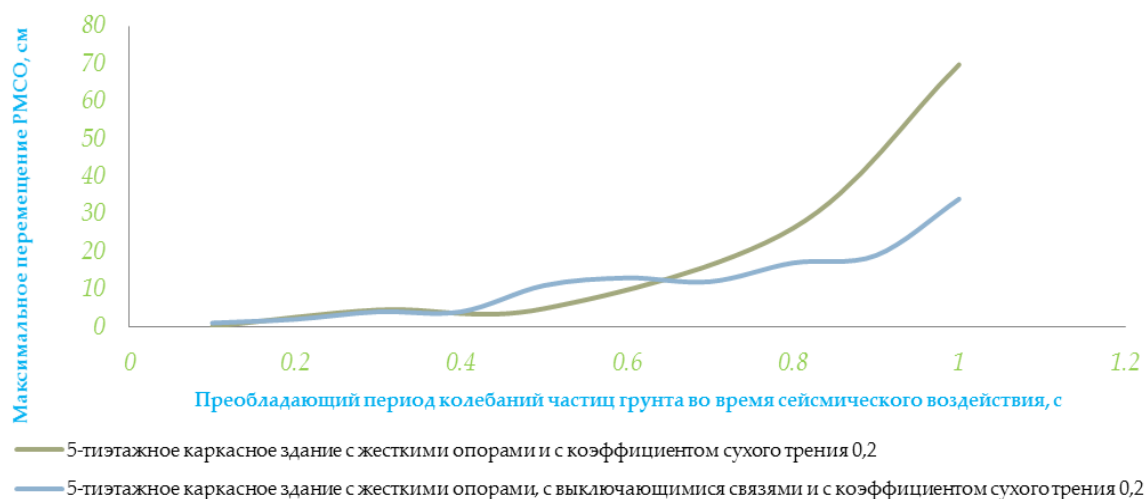


Рис.6. Графики зависимости максимального перемещения верха резинометаллических опор $|y_0|_{\max}$ от преобладающего периода колебаний грунтов для 5-ти этажных каркасных зданий с комбинированной системой сейсмозащиты

Fig. 6. Graphs of the dependence of the maximum displacement of the top of the rubber-metal supports $[|y_0|]_{\max}$ from the prevailing soil oscillation period for 5-story frame buildings with a combined seismic protection system

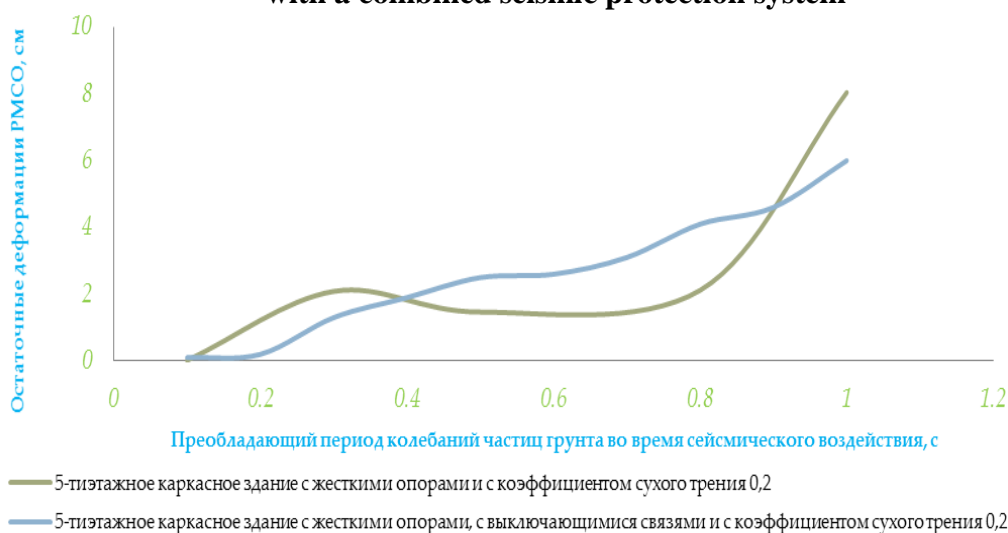


Рис.7. Графики зависимости максимальных остаточных перемещений $|y_0|_{\text{ост}}$ от преобладающего периода колебаний грунтов для 5-ти этажных каркасных зданий с комбинированной системой сейсмозащиты

Fig. 7. Graphs of the dependence of the maximum residual displacements $[|y_0|]_{\text{ост}}$ of the prevailing period of soil oscillation for 5-story frame buildings with a combined seismic protection system

На рис. 7 показана эффективность введения в систему сейсмозащиты выключающихся элементов.

Вывод. Введение в систему сейсмоизоляции с резинометаллическими опорами и с сухим трением выключающихся элементов, позволяющие адаптироваться системе по отношению к резонансным частотам колебаний грунтов основания, существенно повышает эффективность сейсмозащиты гибких сооружений при низкочастотных воздействиях.

Например, тогда как в 5-ти этажных рамных системах без сейсмоизоляции максимальная горизонтальная сдвигающая сила превышает 25000 кН при преобладающих периодах сейсмических колебаний грунтов превышающих 0,8 с, то при комбинированной

системе сейсмозащиты сдвигающая сила не превышает 10000 кН. Здесь в 4-5 раз снижаются и максимальные перемещения здания в уровнях сосредоточения масс.

Введение в систему сейсмозащиты выключающихся элементов позволяет расширить область эффективного применения резинометаллических опор за счет увеличения диапазона возможных преобладающих периодов сейсмических колебаний грунтов, при которых максимальное перемещение верха резинометаллических опор не превышает предельно допустимого значения, и снижения максимальных остаточных перемещений резинометаллических опор со свинцовым сердечником.

Библиографический список:

1. Плевков, В.С. Железобетонные и каменные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений / В.С. Плевков, А.И. Мальганов, И.В. Балдин//М.: Издательство АСВ, 2010. -290 с.
2. Айзенберг, Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов / Я.М.Айзенберг // М.: Стройиздат, 1976. - 228 с.
3. Айзенберг, Я.М. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений / Я.М. Айзенберг, А.И. Нейман, А.Д. Абакаров, М.М. Деглина, Т.Л. Чачуа // М.: Наука, 1978. - 248 с.
4. Айзенберг, Я.М. Сейсмоизоляция и адаптивные системы сейсмозащиты / Я.М. Айзенберг, М.М. Деглина, Х.Н. Мажиев // - Москва: Наука, 1983. - 141 с.
5. Айзенберг, Я.М. Особенности резервирования для повышения надежности строительных сооружений при возможных сейсмических и других катастрофических воздействиях / Я.М. Айзенберг, А.Д. Абакаров // Строительная механика и расчет сооружений. Москва: - 1987. - №4—С.47-50.
6. Айзенберг, Я.М. Методические рекомендации по проектированию сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор/ Я.М. Айзенберг, В.И. Смирнов, Р.Т. Акбиев// Москва: Российская академия спортивных сооружений, 2008, – 46 с.
7. Елисеев, С.В. Динамические гасители колебаний / С.В. Елисеев // Новосибирск: - Наука. -1982. -144 с.
8. Казина, Г.А. Современные методы сейсмозащиты зданий и сооружений / Г.А.Казина, Л.Ш. Килимник // Обзор.М.: ВНИИС, 1987. -65 с.
9. Катен-Ярцев, А.С. Динамические испытания зданий с гравитационными системами сейсмоизоляции в Севастополе / А.С. Катен-Ярцев, В.В. Назин, Г.А. Зеленский, Ю.М. Шуляк // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник /ЦНИИС. Серия 14. - 1977. – Выпуск 7. С. 19-22.
10. Мартынов, Н.В. Активная сейсмозащита: варианты развития и критический анализ практических возможностей / Н.В. Мартынов // Симферополь: -2013. -216 с.
11. Михайлов, Г.М. Использование упругофрикционных систем в сейсмостойком строительстве / Г.М. Михайлов // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник / ЦНИИС. Серия 14. - 1974. – Выпуск 3. – С.36-38.
12. Мнакацян, В.Л. Исследование сейсмостойкости фрикционных фундаментов сооружений / В.Л. Мнакацян, О.В. Пешмалджян, А.А. Диланян // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник / ЦНИИС. Серия 14. - 1982. - Выпуск 3. - С.23-27.
13. Павлык, В.Г. Принцип проектирования сейсмостойких зданий с повышенными диссипативными свойствами / В.Г. Павлык // Материалы Всесоюзного совещания по проектированию и строительству сейсмостойких зданий и сооружений. Фрунзе: 1971. – С.210-218.
14. Поляков В.С. Современные методы сейсмозащиты зданий / В.С. Поляков, Л.Ш. Килимник, А.В. Черкашина // Москва: Строительное издательство, 1989 - 320 с.
15. Применение систем сейсмоизоляции в зданиях и сооружениях (США): Экспресс информация / ВНИИС.Серия 14. - 1985. - Выпуск12. - С.2-6.
16. Саакян, А.О. Повышение сейсмостойкости каркасных зданий со стволами жесткости с

- помощью демпферных устройств / А.О. Саакян, Р.О. Саакян, С.Х. Шахназарян // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник / ЦНИИС. Серия 14. – 1975. – Выпуск 11. – С.2-6.
17. Савинов, О.А. Сейсмоизоляция сооружений (концепция, принципы устройства, особенности расчета) / О.А. Савинов // Избранные статьи и доклады «Динамические проблемы строительной техники». - Санкт-Петербург, 1993. - С. 155-178.
 18. Смирнов, В.И. Сейсмоизоляция зданий сооружений/ В.И. Смирнов // Промышленное и гражданское строительство. – М.: - 1997. - №12–С.37-39.
 19. Уздин, А.М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства / А.М. Уздин, Т.А. Сандович, Аль-Насер-Мохаммад Салих Амин // Санкт-Петербург: Издательство ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева. -1993. -176 с.
 20. Черепинский, Ю.Д. К сейсмостойкости зданий на кинематических опорах / Ю.Д. Черепинский // Основания, фундаменты и механика грунтов – 1972. - № 3. С.13-15.
 21. Черепинский, Ю.Д. Сейсмоизоляция зданий (Сборник статей) / Ю.Д. Черепинский // Москва, 2009. – 358 с.
 22. Чуденцов, В.П. Здания с сейсмоизоляционным скользящим поясом и упругими ограничителями перемещений/ В.П. Чуденцов, Л.Л. Солдатова // Сейсмостойкое строительство: Реферативный сборник / ЦНИИС. Серия 14. – 1979. – Выпуск 5. – С.1-3.
 23. Юсупов, А.К. Проектирование сейсмостойких зданий на кинематических опорах / А.К. Юсупов // Махачкала: Лотос, 2006. - С.423.
 24. Абакаров, А.Д. Аппроксимация зависимости «Сила-перемещение» для сейсмоизолирующих резинометаллических опор со свинцовым сердечником / А.Д. Абакаров, Х.М. Омаров // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки, - Вып. 4 – Т. 27. – 2012. – С. 61 – 70.
 25. Catalogue on lead rubber bearings series LRB. «FIP Industriale S.P.A»
 26. Conde, F.F. Seismic structures / F.F. Conde // International Simposium FIP, Tbilisi, 1972, p. 655-663.
 27. Hwang, J.S. (1996). An equivalent linear model of lead-rubber seismic isolation bearings / J.S. Hwang, L.M. Chiou // Journal of Engineering Structures. 1996, 18(7), 528-536.

References:

1. Plevkov V.S., Mal'ganov A.I., Baldin I.V. Zhelezobetonnye i kamennye konstruktсии seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2010. 290 s. [Plevkov V.S., Mal'ganov A.I., Baldin I.V. Reinforced concrete and stone constructions of earthquake-proof buildings and structures. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2010. 290 p. (in Russ.)]
2. Ayzenberg Ya.M. Sooruzheniya s vyklyuchayushchimisya svyazyami dlya seysmicheskikh rayonov. Moscow: Stroyizdat; 1976. 228 s. [Ayzenberg Ya.M. Buildings with shutdown connections for seismic areas. Moscow: Stroyizdat; 1976. 228 p. (in Russ.)]
3. Ayzenberg Ya.M., Neyman A.I., Abakarov A.D., Deglina M.M., Chachua T.L. Adaptivnye sistemy seysmicheskoy zashchity sooruzheniy. Moscow: Nauka; 1978. 248 s. [Ayzenberg Ya.M., Neyman A.I., Abakarov A.D., Deglina M.M., Chachua T.L. Adaptive systems of seismic protection of constructions. Moscow: Nauka; 1978. 248 p. (in Russ.)]
4. Ayzenberg Ya.M., Deglina M.M., Mazhiev H.N. Seysmoizolyatsiya i adaptivnye sistemy seysmozashchity. Moscow: Nauka; 1983. 141 s. [Ayzenberg Ya.M., Deglina M.M., Mazhiev H.N. Seismic isolation and adaptive seismic protection systems. Moscow: Nauka; 1983. 141 p. (in Russ.)]
5. Ayzenberg Ya.M., Abakarov A.D. Osobennosti rezervirovaniya dlya povysheniya nadezhnosti stroitel'nykh sooruzheniy pri vozmozhnykh seysmicheskikh i drugikh katastroficheskikh vozdeystviyakh. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 1987; 4:47-50. [Ayzenberg Ya.M., Abakarov A.D. Reservation features for improving the reliability of building constructions with possible seismic and other catastrophic impacts. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 1987; 4:47-50. (in Russ.)]
6. Ayzenberg Ya.M., Smirnov V.I., Akbiev R.T. Metodicheskie rekomendatsii po

- proektirovaniyu seysmoizolyatsii s primeneniem rezinometallicheskich opor. Moscow: Rossiyskaya akademiya sportivnykh sooruzheniy; 2008. 46 s. [Ayzenberg Ya.M., Smirnov V.I., Akbiev R.T. Methodical recommendations for the design of seismic isolation using rubber-metallic supports. Moscow: Rossiyskaya akademiya sportivnykh sooruzheniy; 2008. 46 p. (in Russ.)]
7. Eliseev S.V. Dinamicheskie gasiteli kolebaniy. Novosibirsk: Nauka; 1982. 144 s. [Eliseev S.V. Dynamic vibration absorbers. Novosibirsk: Nauka; 1982. 144 p. (in Russ.)]
 8. Kazina G.A., Kilimnik L.Sh. Sovremennye metody seysmozashchity zdaniy i sooruzheniy. Obzor. Moscow: VNIIS; 1987. 65 s. [Kazina G.A., Kilimnik L.Sh. Modern methods of seismic protection of buildings and constructions. Review. Moscow: VNIIS; 1987. 65 p. (in Russ.)]
 9. Katen-Yartsev A.S., Nazin V.V., Zelenskiy G.A., Shulyak Yu.M. Dinamicheskie ispytaniya zdaniy s gravitatsionnymi sistemami seysmoizolyatsii v Sevastopole. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1977; 14(7):19-22. [Katen-Yartsev A.S., Nazin V.V., Zelenskiy G.A., Shulyak Yu.M. Dynamic tests of buildings with gravity seismic isolation systems in Sevastopol. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1977; 14(7):19-22. (in Russ.)]
 10. Martynov N.V. Aktivnaya seysmozashchita: varianty razvitiya i kriticheskiy analiz prakticheskikh vozmozhnostey. Simferopol': 2013; 216 s. [Martynov N.V. Active seismic protection: development options and critical analysis of practical possibilities. Simferopol': 2013; 216 s. (in Russ.)]
 11. Mikhaylov G.M. Ispol'zovanie uprugofriktsionnykh sistem v seysmostoykom stroitel'stve. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1974; 14(3):36-38. [Mikhaylov G.M. The use of elastic-friction systems in earthquake-resistant construction. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1974; 14(3):36-38. (in Russ.)]
 12. Mnakatsanyan V.L., Peshmaldzhyan O.V., Dilanyan A.A. Issledovanie seysmostoykosti friktsionnykh fundamentov sooruzheniy. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1982; 14(3):23-27. [Mnakatsanyan V.L., Peshmaldzhyan O.V., Dilanyan A.A. Investigation of earthquake resistance of the friction foundations of constructions. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1982; 14(3):23-27. (in Russ.)]
 13. Pavlyk V.G. Printsip proektirovaniya seysmostoykikh zdaniy s povyshennymi dissipativnymi svoystvami. Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po proektirovaniyu i stroitel'stvu seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy. Frunze: 1971.S.210-218. [Pavlyk V.G. The principle of design of earthquake resistant buildings with increased dissipative properties. Materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po proektirovaniyu i stroitel'stvu seysmostoykikh zdaniy i sooruzheniy. Frunze: 1971.S.210-218. (in Russ.)]
 14. Polyakov V.S., Kilimnik L.Sh., Cherkashina A.V. Sovremennye metody seysmozashchity zdaniy. Moskva: Stroitel'noe izdatel'stvo; 1989. 320 s. [Polyakov V.S., Kilimnik L.Sh., Cherkashina A.V. Modern methods of seismic protection of buildings. Moscow: Stroitel'noe izdatel'stvo; 1989. 320 p. (in Russ.)]
 15. Primenenie sistem seysmoizolyatsii v zdaniyakh i sooruzheniyakh (SShA): Ekspress informatsiya / VNIIS. 1985; 14(12):2-6. [Application of seismic isolation systems in buildings and structures (USA): Express information. VNIIS. 1985; 14(12):2-6. (in Russ.)]
 16. Saakyan A.O., Saakyan R.O., Shakhnazaryan S.Kh. Povyshenie seysmostoykosti karkasnykh zdaniy so stvolami zhestkosti s pomoshch'yu dempfnykh ustroystv. Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1975; 14(11):2-6. [Saakyan A.O., Saakyan R.O., Shakhnazaryan S.Kh. in Seismic resistance increase of frame buildings with stiffeners by means of damper devices. Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1975; 14(11):2-6. (in Russ.)]
 17. Savinov O.A. Seysmoizolyatsiya sooruzheniy (kontseptsiya, printsipy ustroystva, osobennosti rascheta). Izbrannye stat'i i doklady «Dinamicheskie problemy stroitel'noy tekhniki». Sankt-Peterburg: 1993. S. 155-178. [Savinov O.A. Seismic insulation of constructions (concept, device principles, calculation features). Izbrannye stat'i i doklady «Dinamicheskie problemy stroitel'noy tekhniki». Saint-Petersburg: 1993. P. 155-178. (in Russ.)]

18. Smirnov V.I. Seismoizolyatsiya zdaniy sooruzheniy. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. Moscow: 1997; 12:37-39. [Smirnov V.I. Seismic insulation of buildings. Industrial and civil construction. Moscow: 1997; 12:37-39. (in Russ.)]
19. Uzdin A.M., Sandovich T.A., Salikh Amin Al'-Naser-Mokhamad. Osnovy teorii seysmostoykosti i seysmostoykogo stroitel'stva. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo VNIIG imeni B.E. Vedeneeva. 1993; 176 s. [Uzdin A.M., Sandovich T.A., Salikh Amin Al'-Naser-Mokhamad. Fundamentals of the theory of seismic stability and earthquake-proof construction. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo VNIIG imeni B.E. Vedeneeva. 1993; 176 p. (in Russ.)]
20. Cherepinskiy Yu.D. K seysmostoykosti zdaniy na kinematicallykh oporakh. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1972; 3:13-15. [Cherepinskiy Yu.D. On seismic resistance of buildings with kinematic supports. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1972; 3:13-15. (in Russ.)]
21. Cherepinskiy Yu.D. Seismoizolyatsiya zdaniy (Sbornik statey). Moscow; 2009. 358 s. [Cherepinskiy Yu.D. Seismic insulation of buildings (Collected papers). Moscow; 2009. 358 p. (in Russ.)]
22. Chudentsov V.P., Soldatova L.L. Zdaniya s seysmozolyatsionnym skol'zyashchim poiyasom i uprugimi ogranichatelyami peremeshcheniy. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1979; 14(5):1-3. [Chudentsov V.P., Soldatova L.L. Buildings with seismoisolating sliding belt and elastic stoppers of movement. Seysmostoykoe stroitel'stvo: Referativnyy sbornik. TsNIIS. 1979; 14(5):1-3. (in Russ.)]
23. Yusupov A.K. Proektirovanie seysmostoykikh zdaniy na kinematicallykh oporakh. Makhachkala: Lotos; 2006. 423 s. [Yusupov A.K. Design of seismic resistant buildings on kinematic supports. Makhachkala: Lotos; 2006. 423 p. (in Russ.)]
24. Abakarov A.D., Omarov Kh.M. Approksimatsiya zavisimosti «Sila-peremeshchenie» dlya seysmoizoliruyushchikh rezinometallicheskh opor so svintsovym serdechnikom. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2012; 4(27):61-70. [Abakarov A.D., Omarov Kh.M. Approximation of the "Force-Displacement" dependence for seismically insulating rubber-metal supports with a lead core. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2012; 4(27):61-70. (in Russ.)]
25. Catalogue on lead rubber bearings series LRB. «FIP Industriale S.P.A»
26. Conde F.F. Seismic structures. International Simposium FIP. Tbilisi; 1972. P. 655-663.
27. Hwang, J.S., Chiou L.M. An equivalent linear model of lead-rubber seismic isolation bearings. Journal of Engineering Structures. 1996; 18(7):528-536.

Сведения об авторах.

Абакаров Абакар Джансулаевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура».

Омаров Хаджимурад Магомедкамильевич – ассистент кафедры «Архитектура»

Information about the authors.

Abakar J. Abakarov - Dr. Sc. (Technical), Prof., Department of «Architecture».

Khadzhimurad M. Omarov – Assistant of the Department «Architecture».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 22.01.2017.

Received 22.01.2017.

Принята в печать 20.02.2017.

Accepted for publication 20.02.2017.

Для цитирования: Агапов В.П., Айдемиров К.Р. Применение метода конечных элементов с учетом физической и геометрической нелинейности для расчета предварительно напряженных железобетонных ферм. Технические науки. 2017;44 (1):127-137. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-127-137

For citation: Agapov V.P., Aidemirov K.R. Application of finite element method taking into account physical and geometric nonlinearity for the calculation of prestressed reinforced concrete beams. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):127-137. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-127-137

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.74:624.075

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-127-137

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФЕРМ

Агапов В.П.¹, Айдемиров К.Р.²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

129337, Ярославское шоссе, 26, Москва, Россия,

²ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный технический университет»,

367015 Махачкала, просп. Имама Шамиля, 70,

e-mail: ¹agapovpb@mail.ru, ²kyrayd@mail.ru.

Резюме: Цель. Современные строительные нормы предписывают проводить расчет строительных конструкций с учетом нелинейности деформирования. Для достижения этой цели поставлена задача разработать методику расчета предварительно напряженных железобетонных ферм с учетом физической и геометрической нелинейности. **Методы.** В основу методики положены алгоритмы нелинейного расчета, реализованные и апробированные в вычислительном комплексе ПРИНС (программа для расчета инженерных сооружений) для других типов конструкций. В качестве инструмента для решения этой задачи выбран метод конечных элементов. Нелинейный расчет конструкций ведется в вычислительном комплексе ПРИНС шагово-итерационным методом. При этом на шаге нагружения составляется и решается уравнение, с использованием модифицированных лагранжевых координат. **Результат.** Приведены основные формулы, необходимые как для формирования, так и для решения системы нелинейных алгебраических уравнений шагово-итерационным методом с учетом нагружения, разгрузки и возможного догружения. Описан способ моделирования предварительного напряжения заданием температурного воздействия на напрягаемую арматуру стержней. Рассмотрены способы учета физической и геометрической нелинейности для стержней железобетонных ферм. Приведен пример расчета плоской фермы и проанализировано поведение фермы на различных этапах ее нагружения вплоть до разрушения. **Вывод.** Составлена программа для расчета плоских и пространственных железобетонных ферм с учетом нелинейности деформирования. Программа адаптирована к вычислительному комплексу ПРИНС и в составе этого комплекса доступна широкому кругу инженерных и научно-технических работников.

Ключевые слова: строительные конструкции, фермы, метод конечных элементов, физическая и геометрическая нелинейность, программные комплексы

TECHICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD TAKING INTO ACCOUNT PHYSICAL
AND GEOMETRIC NONLINEARITY FOR THE CALCULATION OF PRESTRESSED RE-
INFORCED CONCRETE BEAMS

Vladimir P. Agapov¹, Kurban R. Aidemirov²

¹Moscow State University of Civil Engineering (MGSU),
26, Yaroslavskoye highway, Moscow 129337, Russia,

²Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala 367015, Russia,
e-mail: ¹agapovpb@mail.ru, ²kyrayd@mail.ru.

Abstract. Objectives Modern building codes prescribe the calculation of building structures taking into account the nonlinearity of deformation. To achieve this goal, the task is to develop a methodology for calculating prestressed reinforced concrete beams, taking into account physical and geometric nonlinearity. **Methods** The methodology is based on nonlinear calculation algorithms implemented and tested in the computation complex PRINS (a program for calculating engineering constructions) for other types of construction. As a tool for solving this problem, the finite element method is used. Non-linear calculation of constructions is carried out by the PRINS computational complex using the stepwise iterative method. In this case, an equation is constructed and solved at the loading step, using modified Lagrangian coordinates. **Results** The basic formulas necessary for both the formation and the solution of a system of nonlinear algebraic equations by the stepwise iteration method are given, taking into account the loading, unloading and possible additional loading. A method for simulating prestressing is described by setting the temperature action on the reinforcement and stressing steel rod. Different approaches to accounting for physical and geometric nonlinearity of reinforced concrete beam rods are considered. A calculation example of a flat beam is given, in which the behaviour of the beam is analysed at various stages of its loading up to destruction. **Conclusion** A program is developed for the calculation of flat and spatially reinforced concrete beams taking into account the nonlinearity of deformation. The program is adapted to the computational complex PRINS and as part of this complex is available to a wide range of engineering, scientific and technical specialists.

Keywords: building constructions, beams, finite element method, physical and geometric nonlinearity, program complexes

Введение. Проектирование предварительно напряженных железобетонных конструкций, в том числе и железобетонных ферм, в настоящее время ведется с использованием эмпирических и полуэмпирических формул [1]. Эти формулы не учитывают всех особенностей работы предварительно напряженных систем, связанных с нелинейностью деформирования, с нагружением, разгрузкой и возможным догружением (изменением направления деформирования) вследствие резкого перераспределения усилий при выходе из строя того или иного элемента. Рекомендации по учету нелинейности деформирования бетона и арматуры [2], которые приводятся в строительных нормах и правилах и приложениях к ним, носят условный характер. К тому же нормативные документы практически не содержат рекомендаций по учету геометрической нелинейности. Поэтому разработка методик расчета предварительно напряженных железобетонных конструкций с учетом физической и геометрической нелинейности является актуальной задачей. Предпосылкой для успешного решения этой задачи является общая теория расчета ферм, основы которой были заложены еще в XIX веке [3] и развиты затем в трудах отечественных и зарубежных ученых [4-11].

Постановка задачи. Данная работа посвящена расчету предварительно напряженных железобетонных ферм с учетом нелинейности деформирования методом конечных элементов. В основу методики положены алгоритмы нелинейного расчета, реализованные и апробированные в вычислительном комплексе ПРИНС для других типов конструкций [12]. При этом использованы результаты, полученные авторами данной статьи ранее [13-15] и учтен отечественный [16-18] и зарубежный [19-23] опыт разработки нелинейных методик расчета шарнирно-стержневых систем.

Методы исследования. Нелинейный расчет конструкций ведется в вычислительном комплексе ПРИНС шагово-итерационным методом. При этом на шаге нагружения составляется и решается уравнение, полученное в работе [12] с использованием модифицированных лагранжевых координат:

$$[K + K_{\sigma} + K_{NL_1} + K_{NL_2}]\{\Delta u\} = \{\Delta P\}, \quad (1)$$

где, $[K]$, $[K_{NL_1}]$, $[K_{NL_2}]$ – матрицы жесткости нулевого, первого и второго порядков, соответственно; $[K_{\sigma}]$ – матрица начальных напряжений; $[\Delta u]$ и $[\Delta P]$ – векторы приращений узловых перемещений и нагрузок, соответственно.

Матрицы $[K_{NL_1}]$ и $[K_{NL_2}]$ зависят от шаговых перемещений в первой и второй степени соответственно. Эта зависимость получена в работе [12] в явном виде.

Матрица K , элементы которой определяются свойствами материала, также зависит от шаговых значений перемещений, но получить эту зависимость в явном виде не удастся.

Эту матрицу можно вычислить в начале шага с учетом физических свойств материала в рассматриваемый момент времени, и при тех же предпосылках в конце шага.

Обозначим эти матрицы K_0 и K_1 , соответственно. Так как свойства материала на шаге нагружения изменяются, матрицу K приближенно можно найти как полусумму матриц K_0 и K_1 .

Таким образом, $K = \frac{1}{2}(K_0 + K_1)$. Представим матрицу K в виде:

$$K = K_0 + \Delta K. \quad (2)$$

Из приведенного выше вытекает, что $\Delta K = K - K_0 = \frac{1}{2}(K_0 + K_1) - K_0 = \frac{1}{2}(K_1 - K_0)$.

С учетом формулы (2) уравнение (1) принимает вид:

$$[K_0 + \Delta K + K_{\sigma} + K_{NL_1} + K_{NL_2}]\{\Delta u\} = \{\Delta P\}, \quad (3)$$

Уравнение (3) решается в ВК ПРИНС итерационным способом дополнительной нагрузки, что равносильно применению модифицированного метода Ньютона-Рафсона. При этом уравнение (3) записывается в виде:

$$[K_0 + K_{\sigma}]_j \{\Delta u\}_j^{(i)} = \{\Delta P\}_j - [\Delta K + K_{NL_1} + K_{NL_2}]_j^{(i-1)} \{\Delta u\}_j^{(i-1)}, \quad (4)$$

где j - номер шага нагружения, i - номер итерации на данном шаге.

Напряжения в элементах на каждом шаге нагружения вычисляются по формуле:

$$\Delta \sigma_x = E_x (\varepsilon'_x + \varepsilon''_x), \quad (5)$$

где E_x – касательный модуль материала стержня, ε'_x и ε''_x - линейный и нелинейный компоненты относительного удлинения стержня, соответственно, определяемые по формулам:

$$\varepsilon'_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon''_x = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

В формулах (6) u , v , w – перемещения точек стержня в направлении местных осей элемента $X_m Y_m Z_m$ (см. рис.1).

Окончательные значения усилий и перемещений находятся суммированием результатов, получаемых на каждом шаге нагружения.

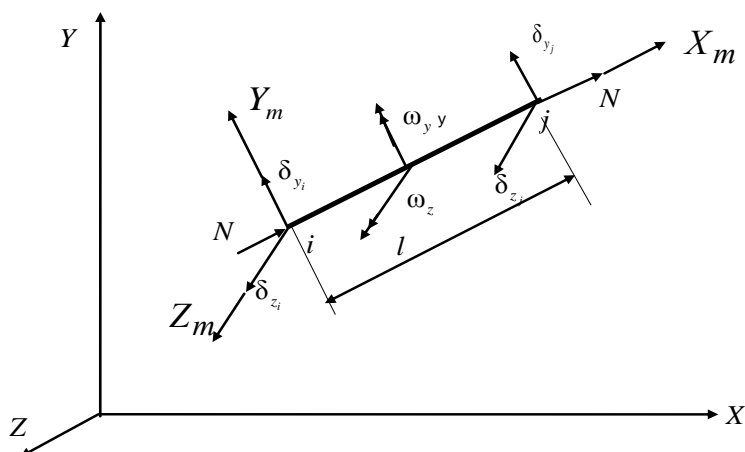


Рис.1. Местная ($X_m Y_m Z_m$) и глобальная (XYZ) системы координат
Fig.1. Local ($X_m Y_m Z_m$) and global (XYZ) coordinate systems

Диаграммы $\sigma - \varepsilon$ в программе ПРИНС могут задаваться либо в аналитическом, либо в табличном виде.

В настоящее время в программе ПРИНС при расчете железобетонных ферм реализованы два вида диаграмм для бетона, и одна - для арматуры. Для бетона используется либо трехлинейная диаграмма, рекомендованная отечественными строительными нормами [2] и задаваемая в табличном виде, либо криволинейная, рекомендованная Европейским комитетом по бетону (ЕКБ) [24], и задаваемая в аналитическом виде.

Криволинейные диаграммы для сжатого бетона рекомендуются и отечественными нормами [2]. Предварительное исследование, проведенное авторами, показало, что европейские и отечественные нормы дают хорошо совпадающие результаты.

Однако нормы, рекомендованные ЕКБ, более удобны при использовании метода конечных элементов, так как они выражают напряжения в зависимости от деформаций, т.е. даются в виде функции $\sigma(\varepsilon)$, а не наоборот, как это рекомендуется отечественными нормами [2]. Для арматуры используется диаграмма Прандтля.

Обсуждение результатов. Предложенная методика реализована в вычислительном комплексе ПРИНС. Для проверки разработанной методики рассчитана ферма, изображенная на рис.2.

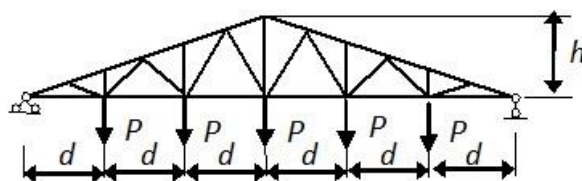


Рис.2. Расчетная схема фермы
Fig.2. The calculation scheme of the farm

Расчет проводился при следующих исходных данных.

Длина панели $d = 3$ м, высота $h = 3$ м; размеры поперечного сечения для всех стержней 20×20 см, схемы армирования стержней показаны на рис.3; бетон тяжелый класса В20, ненапрягаемая арматура класса А400, напрягаемая арматура класса К1400; ферма нагружалась сосредоточенными силами $P = 25$ кН в узлах нижнего пояса.

Нагрузка прикладывалась по шагам. На первом шаге осуществлялось предварительное напряжение заданием температурного воздействия на напрягаемую арматуру нижнего пояса.

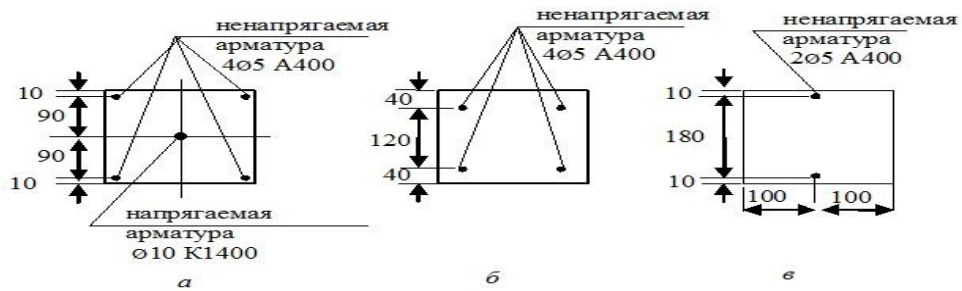


Рис.3. Схемы армирования: а – нижний пояс, б – верхний пояс, в - решетка

Fig.3. Reinforcement diagrams: a - lower belt, b - upper belt, в - grating

Эпюра напряжений в бетоне на первом шаге нагружения приведена на рис.4. На последующих шагах прикладывалась внешняя узловая нагрузка с множителем, значение которого принималось равным 0,05 для шагов со 2-го по 15-й, и равным 0,025 для остальных шагов. Цель расчета заключалась в определении предельной нагрузки для фермы и исследовании ее поведения в процессе нагружения.

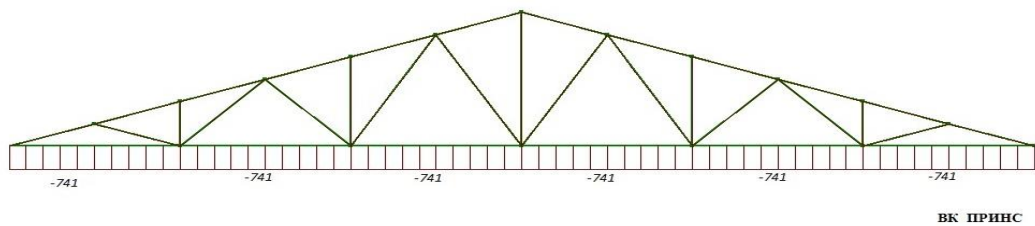


Рис.4. Предварительные напряжения в бетоне, Кпа

Fig.4. Preliminary stresses in concrete, КРА

Разрушение фермы произошло на 18-м шаге при узловой нагрузке 0,775P. Приводим некоторые результаты расчета, позволяющие понять причины разрушения.

На рис.5 приведена эпюра напряжений в бетоне на 17-м шаге нагружения, а на рис.6 – эпюра напряжений в ненапрягаемой арматуре на том же шаге. Из приведенных рисунков видно, что на 17-м шаге нагружения напряжения в бетоне стержней нижнего пояса и в центральной стойке становятся равными нулю вследствие растрескивания бетона, и при этом напряжения в арматуре центральной стойки достигают предела текучести. Следовательно, на 17-м шаге ферма превращается в механизм, и ее дальнейшее нагружение становится невозможным.

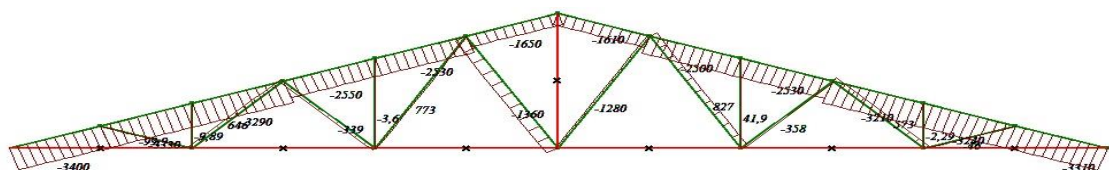


Рис.5. Напряжения в бетоне на 17-м шаге нагружения

Fig.5. Stresses in concrete at the 17th step of loading

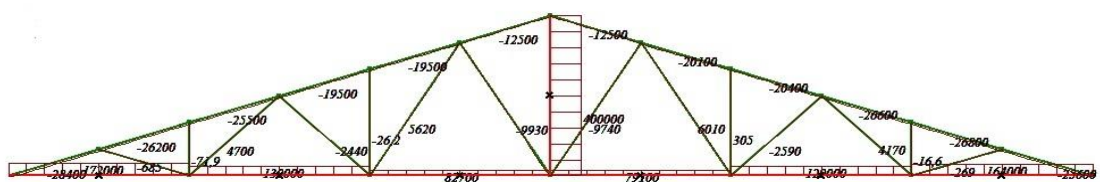
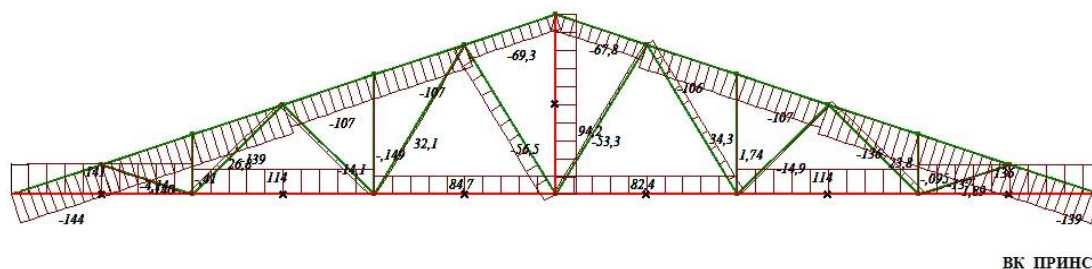


Рис.6. Напряжения в ненапрягаемой арматуре на 17-м шаге нагружения

Fig.6. Stresses in non-tensioning reinforcement at the 17th step of loading

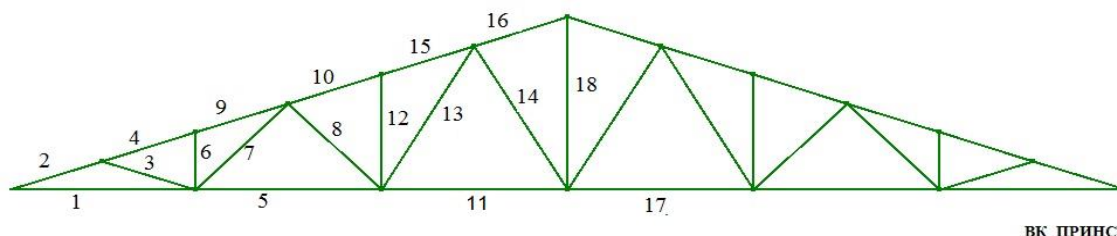
На рис.7 приведена эпюра суммарных значений усилий в стержнях на 17-м шаге нагружения.



ВК ПРИНС

Рис.7. Эпюра суммарных значений усилий в стержнях на 17-м шаге нагружения
Fig.7. The diagram of the total values of the forces in the rods at the 17th step of loading

Учитывая, что при автоматическом построении эпюр избежать наложения цифровых данных на графическом изображении не удастся, результаты расчета выводятся также в виде таблиц. Для этого предварительно введя нумерацию элементов фермы, как показано на рис.8, представлен фрагмент таблицы с цифровыми значениями суммарных усилий на 17-м шаге нагружения на рис.9.



ВК ПРИНС

Рис.8. Нумерация элементов фермы
Fig.8. Numbering of farm elements

Усилия и напряжения в элементах
 Задача: 614 25.08.2016 21:58:00
 Случай нагружения: 17

Элемент	Напряжение в бетоне, МПа	Усилие в бетоне, кН	Напряжение в арматуре, МПа	Усилие в арматуре, кН	Напряжение в напрягаемой арматуре, МПа	Усилие в напрягаемой арматуре, кН	Деформация	Суммарное усилие, кН
1	0	0	172000	54,1	276000	86,8	0,000962	141
2	-3400	-135	-28400	-8,91	0	0	-0,000142	-144
3	-99,5	-3,97	-685	-0,161	0	0	-3,43E-06	-4,34
4	-3330	-132	-26200	-8,22	0	0	-0,000131	-140
5	0	0	130000	40,8	234000	73,5	0,000649	114
6	-8,89	-0,393	-71,9	-0,0169	0	0	-3,6E-07	-0,41
7	646	25,7	4700	1,11	0	0	2,35E-05	26,8
8	-339	-13,5	-2440	-0,575	0	0	-1,22E-05	-14,1
9	-3290	-131	-25500	-8,02	0	0	-0,000128	-139
10	-2950	-101	-19500	-6,13	0	0	-8,75E-05	-107
11	0	0	82700	26	187000	58,7	0,000414	84,7
12	-3,6	-0,143	-26,2	-0,00617	0	0	-1,31E-07	-0,149
13	773	30,7	5620	1,32	0	0	2,81E-05	32,1
14	-1360	-54,2	-9500	-2,94	0	0	-4,97E-05	-56,5
15	-2530	-101	-19500	-6,11	0	0	-9,73E-05	-107
16	-1650	-65,4	-12500	-3,93	0	0	-6,26E-05	-69,3
17	0	0	79100	24,9	183000	57,5	0,000396	82,4
18	0	0	400000	94,2	0	0	0,235	94,2
19	-1280	-51	-9740	-2,3	0	0	-4,87E-05	-53,3

Рис.9. Таблица числовых значений суммарных усилий в стержнях фермы
Fig.9. Table of numerical values of total forces in the trusses of a truss

Чтобы убедиться в достоверности полученных результатов, проверим равновесие отдельных узлов и фермы в целом с учетом деформаций фермы. Деформированное состояние фермы на 17-м шаге нагружения показано на рис.10, а нумерация узлов – на рис.11.

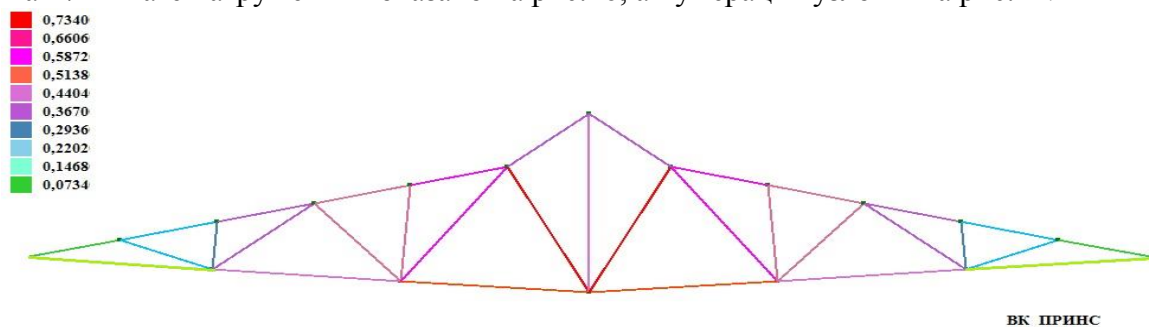


Рис.10. Деформированное состояние на 17-м шаге нагружения (масштаб перемещений 1:1)

Fig.10. Deformed state at the 17th step of loading (Displacement scale 1: 1)

Резкий излом верхнего пояса на рис.11 объясняется тем, что при выходе из строя стойки № 18 (рис.8) центральный фрагмент фермы 8-9-11-10 (рис.11) превращается в шарнирный четырехугольник, в котором становятся возможными перемещения узлов без деформации элементов.

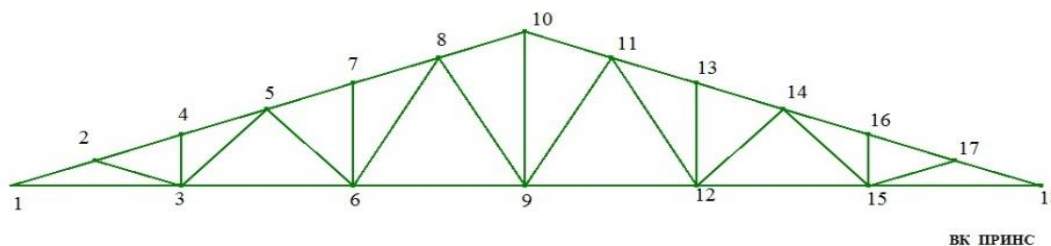


Рис.11. Нумерация узлов фермы Fig.11. Numbering of farm nodes

Схема, приведенная на рис.10, дает общее представление о характере деформаций фермы. Числовые значения перемещений выводятся в табличном виде (рис.12).

Перемещения узлов
 Задача: 614 30.08.2016 15:42:21

Модуль	Узел	Перемещение по X, м	Перемещение по Y, м	Перемещение по Z, м
1	1	0	0	0
1	2	0	0,0421	-0,132
1	3	0	0,000557	-0,254
1	4	0	0,0822	-0,255
1	5	0	0,122	-0,377
1	6	0	0,00176	-0,496
1	7	0	0,161	-0,497
1	8	0	0,201	-0,616
1	9	0	0,00265	-0,734
1	10	0	0,00265	-0,0295
1	11	0	-0,195	-0,616
1	12	0	0,00349	-0,496
1	13	0	-0,156	-0,497
1	14	0	-0,117	-0,377
1	15	0	0,00468	-0,254
1	16	0	-0,0769	-0,255
1	17	0	-0,0368	-0,132
1	18	0	0,0052	0

Рис.12. Перемещения узлов фермы на 17-м шаге нагружения Fig.12. The displacement of the nodes of the truss at the 17th step of loading

Из рисунка 10 деформированного состояния фермы вырежем узел 1 (рис.13) и проверим его равновесие. Используя исходные данные и полученные результаты расчета, находим: $\sin\alpha=0,2383$, $\cos\alpha=0,9712$, $\sin\beta=0,08453$, $\cos\beta=0,9964$.

Проецируем усилия на ось y :

$$\sum y = N_{1-2} \cos\alpha + N_{1-3} \cos\beta = -144 \times 0,9712 + 141 \times 0,9964 = -139,85 + 140,49 = 0,6424.$$

Относительная погрешность составляет $\frac{0,645}{139,85} \times 100\% = 0,461\%$.

Проецируя усилия на ось z , находим реакцию V_1 :

$$V_1 = -N_{1-2} \sin\alpha + N_{1-3} \sin\beta = 144 \times 0,2383 + 141 \times 0,08453 = 46,23 \text{ кН.}$$

Проделав аналогичные вычисления для узла 18, находим, что условие равновесия узла в виде суммы проекций на ось y удовлетворяется с погрешностью 0,385%, а вертикальная реакция в узле $V_{18}=44,62$ кН.

Суммарный параметр узловой нагрузки на 17-м шаге нагружения равняется 0,75. Проецируя узловые нагрузки и опорные реакции на ось z , находим:

$$V_1 + V_{18} - 5 \times 0,75P = 46,23 + 44,62 - 5 \times 0,75 \times 25 = 90,85 - 93,75 = -2,9 \text{ кН.}$$

Погрешность составляет $\frac{2,9}{93,75} \times 100\% = 3,09\%$.

Учитывая приближенный характер решения нелинейных уравнений равновесия, полученную точность следует признать вполне удовлетворительной. Отметим, что при учете геометрической нелинейности первоначально симметричная расчетная схема конструкции несколько искажается, что приводит и к искажению симметрии в напряженно-деформированном состоянии.

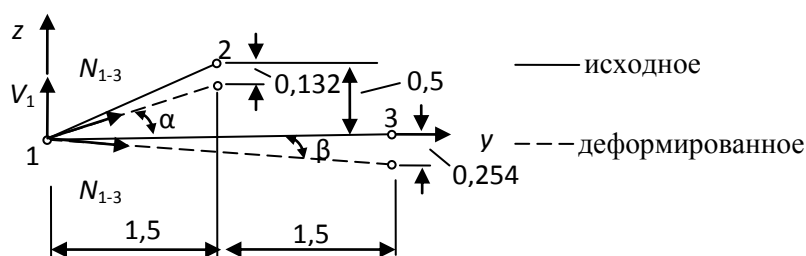


Рис.13. Проверка равновесия узла 1
Fig.13. Checking the balance of node 1

Вывод. Предложенная в настоящей работе методика и составленная на ее основе программа для ЭВМ, реализованная в вычислительном комплексе ПРИНС, дают возможность детально анализировать процессы деформирования предварительно напряженных ферм под нагрузкой вплоть до их разрушения с учетом физической и геометрической нелинейности. Аналогичные подходы к расчету железобетонных ферм в отечественной расчетной практике до сих пор не использовались. Программа ПРИНС доступна широкому кругу специалистов и может быть полезна при расчете и проектировании железобетонных ферм.

Библиографический список:

1. Пособие по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СП 52-102-2004). – Ассоциация «Железобетон» (ЦНИИПРОМЗДАНИЙ, НИИЖБ).
2. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 - М.: Минрегион России, 2012.
3. Журавский Д.И. О мостах раскосной фермы Гау. – СПб, 1855. –161с.
4. Галеркин Б.Г. К расчету безраскосных ферм и жестких рам.- М.:Гостехиздат, 1926. – 24 с.
5. Филин А.П. Матрицы в статике стержневых систем. – М.: Госстройиздат, 1966. – 438 с.

6. Гофман Ш.М., Агапов В.П. Расчет устойчивости пространственных шарнирно-стержневых систем // ИВУЗ. Строительство и архитектура. – 1972. - № 1, с 31-35.
7. Александров А.В., Лашеников Б.Я., Шапошников Н.Н., Смирнов В.А. Методы расчета стержневых систем, пластин и оболочек с использованием ЭВМ. – М.:Стройиздат, 1976. – Ч.1. -248 с.-Ч.2 – 237 с.
8. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М. : Стройиздат, 1991. – 728 с.
9. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования / под ред. Т. М. Пецоьлда, В. В. Тура. – Изд-во БГТУ, 2003. – 379 с.
10. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84). – М. : ЦИТП, 1989. – 189 с.
11. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры. – М., 2005. – 53 с.
12. Агапов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций. - Изд-во АСВ, М., 2005. - 247 с.
13. Агапов В.П., Айдемиров К.Р. Расчет железобетонных ферм методом конечных элементов с учетом физической нелинейности. Часть 1// Научное обозрение, 2016 № 2, с.31-34.
14. Агапов В.П., Айдемиров К.Р. Расчет железобетонных ферм методом конечных элементов с учетом физической нелинейности. Часть 2// Научное обозрение, 2016, № 3, с.22-27.
15. Агапов В.П., Айдемиров К.Р. Расчет ферм методом конечных элементов с учетом геометрической нелинейности // Промышленное и гражданское строительство, 2016, № 11, с.4-8.
16. Галишникова В.В. Постановка задач геометрически нелинейного деформирования пространственных ферм на основе метода конечных элементов // Вестник ВолгГАСУ, серия: Строительство и архитектура. – Волгоград 2009. Вып.14(33). – С. 50-58.
17. Хейдари А., Галишникова В.В.. Факторы, влияющие на критическую нагрузку и распространение местной потери устойчивости сетчатых оболочек // Вестник РУДН, 2013, № 1. – С.118-133.
18. Чернов, Ю.Т. К расчету систем с выключающимися связями // Строительная механика и расчет сооружений. – М., 2010. № 4. – С. 53–57.
19. P. Iwicki, M. Krajewski. 3D Buckling Analysis of a Truss with Horizontal Braces. Mechanics and Mechanical Engineering. Vol. 17, No. 1 (2013) Pp.49–58
20. S. Missoum, Z. Gurdal and W. Gu. Optimization of nonlinear trusses using a displacement-based approach. Struct Multidisc Optim, No.23, Pp. 214–221, 2002
21. Ever Coarita and Leonardo Flores. Nonlinear Analysis of Structures Cable – Truss. IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 7, No. 3, June 2015
22. R. Duriš, J. Murín. A nonlinear truss finite element with varying stiffness. Applied and Computational Mechanics, No 1 (2007) 417 – 426
23. H. Moharrami, M. R. Mazloumi, Analysis of structures including compression-only and tension-only members. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering Ecomas, 2000, Barcelona, 11-14 September 2000.
24. Comitee Euro-International De Beton] .Ceb-Fip_Model Cod, 1990. Thomas Telford House, London, 1993.

References:

1. Posobie po proektirovaniyu predvaritel'no napryazhennykh zhelezobetonnykh konstruktсий iz tyazhelogo betona (k SP 52-102-2004). – Assotsiatsiya «Zhelezobeton» (TsNIIPROMZDANIY, NIIZhB). [Manual on the design of prestressed reinforced concrete structures from heavy concrete (to SP 52-102-2004). - "Zhelezobeton" Association (TsNIIPROMZDANIY, NIIZhB). (in Russ.)]

2. SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 52-01-2003. Moscow: Minregion Rossii; 2012. [SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Updated version of SNIp 52-01-2003. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia; 2012. (in Russ.)]
3. Zhuravskiy D.I. O mostakh raskosnoy fermy Gau. Sankt-Peterburg; 1855. 161 s. [Zhuravskiy D.I. About the Howe bracing truss bridges. Saint-Petersburg; 1855. 161 p. (in Russ.)]
4. Galerkin B.G. K raschetu bezraskosnykh ferm i zhestkikh ram. Moscow: Gostekhizdat. 1926. 24 s. [Galerkin B.G. To the calculation of non-bracing trusses and rigid frames. Moscow: Gostekhizdat. 1926. 24 p. (in Russ.)]
5. Filin A.P. Matritsy v statike sterzhnevnykh sistem. Moscow: Gosstroyizdat. 1966; 438 s. [Filin A.P. Matrices in the static of rod systems. Moscow: Gosstroyizdat. 1966; 438 s. (in Russ.)]
6. Gofman Sh.M., Agapov V.P. Raschet ustoychivosti prostranstvennykh sharnirno-sterzhnevnykh sistem. IVUZ. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1972; 1:31-35. [Gofman Sh.M., Agapov V.P. Calculation of the stability of three-dimensional hinged-rod systems. News of higher educational institutions. Construction and architecture. 1972; 1:31-35. (in Russ.)]
7. Aleksandrov A.V., Lashchenikov B.Ya., Shaposhnikov N.N., Smirnov V.A. Metody rascheta sterzhnevnykh sistem, plastin i obolochek s ispol'zovaniem EVM. Moscow: Stroyizdat; 1976. [Aleksandrov A.V., Lashchenikov B.Ya., Shaposhnikov N.N., Smirnov V.A. Methods for calculating rod systems, plates and shells using a computer. Moscow: Stroyizdat; 1976. (in Russ.)]
8. Baykov V.N., Sigalov E.E. Zhelezobetonnye konstruksii. Obshchiy kurs. Moscow: Stroyizdat; 1991. 728 s. [Baykov V.N., Sigalov E.E. Reinforced Concrete Structures. General course. Moscow: Stroyizdat; 1991. 728 p. (in Russ.)]
9. Zhelezobetonnye konstruksii. Osnovy teorii, rascheta i konstruirovaniya. Pod red. Petsol'da T.M., Tura V.V. Minsk: Izd-vo BGTU; 2003. 379 s. [Reinforced concrete structures. Fundamentals of theory, calculation and design. Petsol'd T.M. and Tur V.V. (Eds). Minsk: Izd-vo BGTU; 2003. 379 p. (in Russ.)]
10. Posobie po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy iz tyazhelykh i legkikh betonov bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury (k SNIp 2.03.01-84). Moscow: TsITP. 1989; 189 s. [Manual for the design of concrete and reinforced concrete structures from heavy and lightweight concrete without prestressing the reinforcement (to SNIp 2.03.01-84). Moscow: TsITP. 1989; 189 p. (in Russ.)]
11. SP 52-101-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii iz tyazhelykh i legkikh betonov bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury. Moscow; 2005. 53 s. [SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures from heavy and lightweight concrete without prestressing reinforcement. Moscow; 2005. 53 p. (in Russ.)]
12. Agapov V.P. Metod konechnykh elementov v statike, dinamike i ustoychivosti konstruksiy. Moscow: 2005. Izd-vo ASV. 247 s. [Agapov V.P. Finite element method in static, dynamics and stability of constructions. Moscow: 2005. Izd-vo ASV. 247 p. (in Russ.)]
13. Agapov V.P., Aydemirov K.R. Raschet zhelezobetonnykh ferm metodom konechnykh elementov s uchetom fizicheskoy nelineynosti. Chast' 1. Nauchnoe obozrenie. 2016; 2:31-34. [Agapov V.P., Aydemirov K.R. Calculation of reinforced concrete trusses by finite element method taking into account physical nonlinearity. Part 1. Science Review. 2016; 2:31-34. (in Russ.)]
14. Agapov V.P., Aydemirov K.R. Raschet zhelezobetonnykh ferm metodom konechnykh elementov s uchetom fizicheskoy nelineynosti. Chast' 2. Nauchnoe obozrenie. 2016; 2:22-27. [Agapov V.P., Aydemirov K.R. Calculation of reinforced concrete trusses by finite element method taking into account physical nonlinearity. Part 2. Science Review. 2016; 2:22-27. (in Russ.)]

15. Agapov V.P., Aydemirov K.R. Raschet zhelezobetonnykh ferm metodom konechnykh elementov s uchetom geometricheskoy nelineynosti. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016; 11:4-8. [Agapov V.P., Aydemirov K.R. Calculation of reinforced concrete trusses by finite element method taking into account geometrical nonlinearity. Industrial and civil engineering. 2016; 11:4-8. (in Russ.)]
16. Galishnikova V.V. Postanovka zadach geometricheski nelineynogo deformirovaniya prostanstvennykh ferm na osnove metoda konechnykh elementov. Vestnik VolgGASU, seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2009; 14(33):50-58. [Galishnikova V.V. Problem posing in geometrically nonlinear deformation of spatial trusses on the basis of the finite element method. Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2009; 14(33):50-58. (in Russ.)]
17. Kheydari A., Galishnikova V.V. Faktory, vliyayushchie na kriticheskuyu nagruzku i rasprostranenie mestnoy poteri ustoychivosti setchatykh obolochek. Vestnik RUDN. 2013; 1:118-133. [Kheydari A., Galishnikova V.V. Factors influencing the critical load and the spread of local loss of stability of reticulated shells. RUDN Journal of Engineering Researches. 2013; 1:118-133. (in Russ.)]
18. Chernov Yu.T. K raschetu sistem s vyklyuchayushchimisya svyazyami. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 2010; 4:53-57. [Chernov Yu.T. To the calculation of systems with switched off connections. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2010; 4:53-57. (in Russ.)]
19. Iwicki P., Krajewski M. 3D Buckling Analysis of a Truss with Horizontal Braces. Mechanics and Mechanical Engineering. 2013; 17(1):49-58.
20. Missoum S., Gurdal Z., Gu W. Optimization of nonlinear trusses using a displacement-based approach. Struct Multidisc Optim. 2002; 23:214-221.
21. Coarita E., Flores L. Nonlinear analysis of structures cable – truss. IACSIT International Journal of Engineering and Technology. 2015; 7(3).
22. Duriš R., Murín J. A nonlinear truss finite element with varying stiffness. Applied and Computational Mechanics. 2007; 1:417-426.
23. Moharrami H., Mazloumi M.R. Analysis of structures including compression-only and tension-only members. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering Eccomas. Barcelona; 2000.
24. Committee Euro-International De Beton. Ceb-Fip_Model Cod, 1990. London: Thomas Telford House; 1993.

Сведения об авторах.

Агапов Владимир Павлович – доктор технических наук, профессор, кафедра прикладной механики и математики.

Айдемиров Курбан Рабаданович - доцент, кандидат технических наук, кафедра сопротивление материалов и строительной механики.

Information about the authors.

Vladimir P. Agapov – Dr. Sc. (Technical), Prof., Department of applied mechanics and mathematics.

Kurban R. Aidemirov - Cand. Sc. (Technical), Associate Professor.

Конфликт интересов

Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 12.12.2016.

Received 12.12.2016.

Принята в печать 28.01.2017.

Accepted for publication 28.01.2017.

Для цитирования: Акаев А.И., Магомедов М.Г., Пайзулаев М.М. Перспективы возведения сейсмостойких зданий из трубобетонных конструкций. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):138-149. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-138-149

For citation: Abdulfajar I. Akaev A.I., Magomedov M.G., Payzulaev M.M. Prospects of establishing earthquake resistant buildings from tube concrete constructions. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1):138-149. (InRuss.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-138-149

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.016:693.98

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-138-149

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗВЕДЕНИЯ СЕЙСМОСТОЙКИХ ЗДАНИЙ ИЗ ТРУБОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Акаев А.И.¹, Магомедов М.Г.², Пайзулаев М.М.³

^{1,2}Дагестанский государственный университет народного хозяйства,
367051, г. Махачкала, ул. Д. Атаева, 5,

³Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70,

e-mail: ^{1,2}aabduldzhafar@mail.ru, ³smdstu@mail.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является поиск оптимальных проектных решений при возведении зданий, которые обеспечат их надежность и долговечность, соблюдение экологических требований, огнестойкость и сейсмостойкость. В связи с этим поставлена задача определения преимуществ и перспектив возведения сейсмостойких зданий из трубобетонных конструкций, поскольку они отличаются конструктивной, технологической и экономической эффективностью при использовании в качестве вертикальных несущих элементов каркасов высотных зданий. **Метод.** Использована методика расчета прочности нормальных сечений внецентренно-сжатых трубобетонных элементов с использованием нелинейной деформационной модели, позволяющая учитывать совместную работу стальной оболочки и бетонного ядра, находящегося в условиях трехосного сжатия. **Результат.** В статье проведен обзор новейшего мирового опыта применения в качестве вертикальных несущих конструкций трубобетона для объектов гражданского назначения с позиций сейсмостойкого строительства. Изучен мировой опыт возведения гражданских зданий высотой от 100 до 600 м с применением трубобетонной технологии, в том числе регионах с опасными природно-техногенными условиями. Проанализированы конструкционные, эксплуатационные и технологические преимущества и недостатки трубобетонной технологии. Рассмотрены методики расчета прочности трубобетонных элементов при центральном сжатии: по состоянию полного разрушения бетона и текучести трубы, достигаемому при максимальной нагрузке, итак называемая деформационная теория – по состоянию начала «текучести трубы в продольном направлении». Показаны достоинства и недостатки обоих методов. Рассмотрены факторы, сдерживающие широкое применение и внедрение трубобетонных конструкций в России. **Вывод.** При всех очевидных преимуществах трубобетонных конструкций для широкого использования их в сейсмостойком строительстве необходимы дальнейшие углубленные исследования поведения трубобетонных элементов, работающих на статические и динамические нагрузки в составе многократно статически неопределимых несущих каркасов зданий.

Ключевые слова: трубобетон, трубобетонный элемент, металлическая труба, бетон, адгезия, объемное сжатие, прочность, бетонное ядро, методы расчета прочности сжатых трубобетонных элементов

TECHICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

PROSPECTS OF ESTABLISHING EARTHQUAKE RESISTANT
BUILDINGS FROM TUBE CONCRETE CONSTRUCTIONS

Abdujafar I. Akaev¹, Magomed G. Magomedov², Magomed M. Payzulaev³

^{1,2}DaghestanStateUniversity of National Economy,

5D.Ataeva street, Makhachkala 367008, Russia

³DaghestanStateTechnicalUniversity,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala 367015, Russia

e-mail: ^{1,2}aabduldzhafar@mail.ru, ³smdstu@mail.ru

Abstract. Objectives The aim of the research is to find optimal design solutions for the erection of buildings that will ensure their reliability and durability, compliance with environmental requirements, fire resistance and earthquake resistance. In this regard, the task is to determine the advantages and prospects of erecting earthquake resistant buildings from tube concrete constructions, since they are distinct in constructive, technological and economic efficiency when are used as vertical load-bearing struts of high-rise buildings. **Method** The technique for calculating the strength of normal sections of eccentrically-compressed tube concrete elements uses a nonlinear deformation model, taking into account the joint operation of the steel shell and the concrete core under the conditions of triaxial compression. **Results** In the article the review of the newest world experience of using tube concrete as vertical load-bearing structures for public facilities from the standpoint of earthquake resistant construction is given. The international practices of public facility construction ranging in height from 100 to 600 m with the use of tube concrete technology, including regions with dangerous natural and man-made conditions, have been studied. The structural, operational and technological advantages and disadvantages of tube concrete technology are analysed. Methods for calculating the strength of concrete tube elements in the case of central compression are considered: according to the so-called deformation theory, the state of total destruction of both concrete and tube fluidity attained at maximum pressure are indicated by the beginning of "tube flow on the longitudinal axis". The advantages and disadvantages of both methods are shown. Factors constraining the introduction and wider application of tube concrete constructions in Russia are considered. **Conclusion** While the advantages of concrete tube constructions in their extensive implementation in earthquake-resistant construction are obvious, further in-depth studies of the behaviour of tube concrete elements operating under both static and dynamic stresses repeatedly, statically indeterminate load-carrying building frames are needed.

Keywords: tube concrete, tube concrete element, metal pipe, concrete, adhesion, volumetric compression, strength, concrete core, methods for calculating the strength of compressed tube concrete elements

Введение. Трубобетон – это комплексная конструкция (ТБК), состоящая из стальной оболочки (металлической трубы), заполненной бетоном. Стальная оболочка может выполнять роль несущей арматуры, тогда внутреннее бетонное ядро не армируется, либо используется в качестве несъемной опалубки, и тогда перед заполнением бетона внутритрубное пространство усиливается металлическим каркасом (рис. 1).

Трубобетонные элементы (ТБЭ) связаны с несущим стволом на уровне этажей монолитными перекрытиями с внутренним стальным профилированным настилом и с внешним жестким профилем из стального прокатного двутавра и швеллера, а в вертикальном направлении – раскосами коробчатого или круглого сечения, заполненными бетоном или без заполнения.



Рис.1. Примеры армирования трубобетонного ядра: а – трубобетонный сердечник неармированный; б – то же, армированный высокопрочной арматурой; в – жесткий рамный узел стыка колонны с перекрытием

Fig.1. Examples of reinforcement of the pipe-concrete core: a - pipe-core core not reinforced; b - the same, reinforced with high-strength reinforcement; v - rigid column joint frame with overlapping

Постановка задачи. Обзор отечественных и мировых тенденций применения различных конструктивных решений в строительстве показал, что одним из способов решения проблемы снижения материалоемкости, веса высотных зданий, уменьшения объема строительных конструкций, обеспечения свободы планировки (с большим шагом колонн и оригинальными фасадами) при повышении технических показателей конструкций, их надежности и сейсмостойкости является применение комбинированной каркасно-стволовой конструктивной системы с использованием трубобетонных технологий.

Значительный вклад в исследование свойств и теорию расчета ТБК внесли работы Передерия Г.П., Гвоздева А.А., Берга О.Я., Росновского В.А., Кикина А.И., Трулля В.А., Лукши Л.К., Гениева Г.А., Маренина В.Ф. и др. Среди зарубежных работ по исследованию и развитию трубобетона следует отметить работы Ф. Бойда, Р.В. Фурлонга, Н. Гарднера, Г. Георгиуса, Д. Лама, М. Юхансона, Р.С. Джонсона, Д.И. Кима, Д.Ф. Хаджара, М. Моллера, Дзяо, Х. Дзу, Т. Ямамото, С. Дзонга, К.Дзю и др.

Методы исследования. Анализ мирового опыта расчёта, проектирования и строительства различных высотных объектов применением трубобетонных конструкций (ТБК), проведенных авторами [1-19] подтверждает обоснованность тезисов об эффективности их использования (вместо железобетонных) как более устойчивых к сжатию. Конструкционные и строительно-технические свойства трубобетона позволяют строителям США, Австралии, Японии, Франции, Германии, Китая, Объединённых Арабских Эмиратов, на основе созданной широкой нормативной базы, эффективно применять его в самых различных областях строительства (рис. 2).

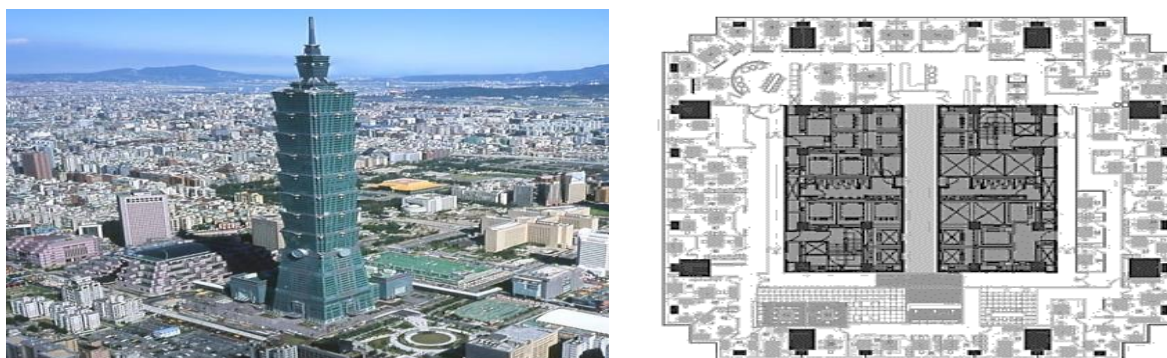


Рис.2. Общий вид и план 509-метрового торгово-офисного здания Taipei 101 в Тайване (Китай), построенного с применением трубобетона
Fig.2. General view and plan of the 509 meter Taipei 101 trade and office building in Taiwan (China), constructed with the use of pipe concrete

Из стран бывшего СССР и СНГ трубобетонные технологии в высотном строительстве наиболее активно используются в Казахстане, на Украине, а в последнее время и в России.

Обсуждение результатов. Технические особенности и практика применения трубобетона при строительстве в сейсмически активных регионах выявили определенные преимущества его использования.

Наиболее значительные достоинства ТБК.

1. Внешняя стальная труба-оболочка выполняет одновременно функции: опалубки; продольного и поперечного армирования; жесткого несущего упора, способного воспринимать высокие усилия во всех направлениях и под любым углом, устойчивого к ударным и сейсмическим воздействиям.

2. Боковое давление трубы препятствует развитию микротрещин разрыва в изолированном бетоне, который при продольном нагружении стремится увеличить свои размеры в радиальном направлении. Эффект обоймы, в колоннах круглого поперечного сечения, создает идеальные условия для работы бетонного ядра под нагрузкой – условия объемного сжатия, тем самым повышая несущую способность всего массива. В предельном состоянии ТБК прочность бетона при сжатии возрастает примерно на 50-80% [1].

В работах Стороженко Л.И. экспериментально доказано, что для бетона, заключенного в трубу, коэффициент повышения его прочности $\eta = \sigma_{by}/R_b$ зависит в основном от толщины стенки трубы: при $\delta d = 0,01$ он составляет 1,74÷1,88; при $\delta d = 0,02$: 2,02÷2,34; при $\delta d = 0,03$: 2,34÷2,72.

3. Исследования [1, 4÷6, 9÷11] подтверждают вывод, что из-за отсутствия влагообмена между бетоном и внешней средой в начальный период вместо усадки происходит набухание бетона в трубе и его расширение, которое сохраняется на протяжении многих лет и создает благоприятные условия для его работы под нагрузкой.

4. В ТБК возможно использование современных высокопрочных бетонов, что увеличивает эффективность работы стальной обоймы, так как здесь практически преодолевается один из основных их недостатков - высокая хрупкость. Исследования Людковского И.Г., Альпериной О. Н., Фонова В.М., Макаричевой Н.В., Нестеровича А.П., Кришана А.Л. показали: образцы с ядром из бетонов классов В60÷В100 всегда имели предел упругой работы на 20÷30 % выше, по сравнению с образцами из бетонов классов В12,5÷В40.

5. Сжатые ТБЭ, имеющие небольшую гибкость и малые эксцентриситеты приложения продольной силы (что характерно для вертикальных несущих элементов каркасов высотных зданий), обладают исключительно высокой несущей способностью при относительно малых поперечных сечениях. В диапазоне исследованных нагрузок, трубобетонные элементы не требуют внутреннего или дополнительного армирования вследствие того, что металлическая труба является коаксиальным армированием. Предельная деформативность у таких элементов резко возрастает, и их разрушение даже при использовании высокопрочных бетонов имеет пластический характер [4, 10], что исключает опасность внезапного разрушения при техногенных и других воздействиях, как отдельной конструкции, так и всего здания в целом.

6. Стальная труба, благодаря благоприятному влиянию внутреннего давления твердой среды, оказывается в значительной степени, предохраненной от потери местной и общей устойчивости. Это увеличивает способность трубобетонных колонн сопротивляться значительным горизонтальным перемещениям, а также действию гравитационных сил от веса сооружения и вертикальной составляющей землетрясения без разрушения, причем не только в упругой области, но и в пластическом состоянии. При землетрясении здание с ТБК, наподобие эластичного хлыста, может совершать значительные поперечные колебания, оставаясь невредимым [1].

7. Использование цилиндрических стержней в сооружениях, подверженных ветровым нагрузкам, позволяет снизить эти воздействия за счет улучшения аэродинамических свойств. Стержень круглого сечения является равноустойчивым при одинаковых расчетных длинах. Жесткость на кручение такого стержня значительно выше, чем у стержней открытого профиля.

8. Мировой опыт свидетельствует, что расход бетона в трубобетонных колоннах сокращается в 1,5÷2 раза, а масса конструкций уменьшается в 2÷2,5 раза [1÷14] по сравнению с традиционными железобетонными. В связи с отсутствием арматурных и сварочных работ, а также работ по монтажу опалубки затраты труда на возведение колонн сокращаются вдвое. По сравнению со стальными конструкциями, применение трубобетонных колонн позволяет в 2÷3 раза сократить расход металла. Изготовление стальных труб, по сравнению с изготовлением стальной арматуры, экономичней как по затратам стали, так и по трудоемкости.

9. ТБК сохраняют все преимущества трубчатых металлических конструкций. Их легче очищать, окрашивать и осматривать, что также повышает их долговечность. Наружная поверхность ТБК примерно в 2 раза меньше, чем конструкций из профильного проката, вследствие этого у них меньше расходы по окраске и эксплуатации. Заполнение стальной трубы бетоном защищает внутреннюю поверхность от коррозии и не требует её дополнительной окраски, металлизации или герметизации [3].

10. Огнестойкость трубобетонных элементов значительно выше, чем металлических, и при величине наружного диаметра 400 мм составляет около 2 часов без какой-либо защиты, а при нанесении защитной оболочки можно обеспечить практически любую требуемую огнестойкость [6÷9].

11. Применение трубобетона позволяет сократить технологические процессы армирования, опалубки, выдерживания конструкций до получения проектной прочности, распалубки. За ненадобностью опалубочного оборудования (стальная труба уже является опалубочной системой), кружал, хомутов, отгибов, петель, закладных деталей значительно упрощается монтаж и улучшаются условия возведения сооружений. Стальные трубы позволяют использовать передовые методы заливки бетона с помощью насосов. Отсутствие распределительной и рабочей арматуры позволяет получить более качественную укладку жестких бетонных смесей. Объем сварных работ со стальными трубами неизмеримо меньше объема работ по сварке обычной арматуры, что дает возможность упростить технологию, уменьшить количество строительных лесов, уменьшить площадь производства работ. Меньшая масса трубобетонных элементов, большая выносливость и меньшая подверженность механическим повреждениям в сравнении с железобетонными облегчает их транспортирование и монтаж. Использование трубобетонных конструкций позволяет вести строительство круглый год: в зимнее время можно выполнять монтаж труб-оболочек, их сварку с закладными деталями, элементами перекрытия [4, 5, 7-9], а их бетонирование производить весной. Таким образом, процесс изготовления трубобетонных элементов облегчается и становится выгоднее как по трудозатратам, так и по стоимости. Полная стоимость сооружений из трубобетона значительно ниже стоимости аналогичных железобетонных и стальных.

Несмотря на приведенные достоинства ТБК, все же они пока не находят широкого практического применения в России, и вопрос о целесообразности их использования при строительстве в сейсмически активных регионах нашей страны пока остается открытым.

Наиболее значительные недостатки ТБК.

1. Существенным недостатком ТБК является сложность обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. В процессе постепенного увеличения сжимающей силы, приложенной к ядру и обойме, они работают совместно только в начальный период времени. Из-за разницы коэффициентов поперечной деформации бетона и стали ($\nu_b=0,18\div0,25$; $\nu_s=0,3$) внешняя оболочка стремится оторваться от поверхности бетона [2, 3, 6÷9, 12, 13]. Это способствует возникновению в нем радиальных растягивающих напряжений и приводит к нарушению сцепления.

В этот момент никакого поперечного обжатия бетона в трубе происходить не может, и бетон начинает работать отдельно от оболочки в условиях одноосного сжатия (коэффициент повышения прочности бетона $\eta = \sigma_{by}/R_b=1$), а труба - как продольная арматура. Конструкторам необходимо понимать, что прочность сложноподвинутого бетона в каждой точке ТБК не есть раз и навсегда заданная величина, а определяется характером и величиной напряженного состояния в последней [12, 13].

Факторами, которые влияют на напряженно-деформированное состояние (НДС) в окрестности точки ТБЭ, являются физическая нелинейность, усадка и ползучесть бетона, реологические факторы, режим его силового нагружения, наследственность, предыстория, в том числе упрочнение, наличие и развитие трещин [4], общий характер нагружения ТБК (передача нагрузки на бетон, на трубу или на бетон и трубу одновременно), геометрические размеры и геометрическая нелинейность самих ТБК, гидрогеологические и сейсмические условия площадки строительства, температурные и климатические параметры внешней среды.

2. Отсутствуют общепризнанные инженерные методики расчета несущей способности ТБК с учетом эффекта обоймы. Из анализа работ авторов [3] следует, что, при выборе критерия прочности центрально-сжатых трубобетонных элементов (ЦС ТБЭ) одни исследователи, основываясь на данных экспериментов, считают предельным состояние полного разрушения ТБЭ в момент достижения максимальной нагрузки.

Другие авторы предлагают рассматривать в качестве предельного состояния ЦС ТБЭ начало текучести трубы в продольном направлении. Последний критерий обосновывается тем, что по мнению д.т.н., профессора Стороженко Л.И., ТБЭ «не имеют явного предела разрушения» и поэтому необходимо «ограничивать продольную относительную деформацию из условий эксплуатации трубобетона». Почти все известные методы расчета ЦС ТБЭ не учитывают должным образом обнаруженное в экспериментах существенное влияние на прочность способа приложения нагрузки на концах ТБЭ (одновременно на бетон и трубу, только на бетон, только на трубу) и соответствующего сцепления бетона с трубой. Так, японские исследователи считают оптимальным нагружение только на бетон при отсутствии сцепления бетона с трубой: поперечные деформации трубы опережают продольные, а поперечные и продольные деформации бетона значительно больше соответствующих деформаций трубы, т.е. в этом случае труба, начиная с упругой стадии, работает преимущественно в поперечном направлении, сдерживая поперечные деформации бетона и испытывая плоское НДС «растяжение-сжатие».

Стадия упругой работы ТБЭ продолжается примерно до уровня 0,5...0,7. Напротив, американские конструкторы стремятся усилить сцепление бетона с трубой посредством коротышей, привариваемых перпендикулярно к внутренней поверхности трубы. Но поскольку большинство экспериментов проведено с нагружением одновременно бетона и трубы, без специальных усилений сцепления бетона с трубой, эти условия работы ТБЭ под нагрузкой приняты в большинстве известных методов расчета. Как отмечено выше, существует два принципиально разных подхода к определению критерия предельного состояния ТБЭ. В первом случае предельным считается состояние полного необратимого разрушения ТБЭ в момент достижения максимальной нагрузки. По мере того, как нагрузка возрастает, в бетоне образуются микротрещины, увеличивается давление между бетоном и косвенной арматурой. При достижении нагрузок, близких к разрушающим, «включается» эффект обоймы, который положительно сказывается на последующей работе сжатых трубобетонных элементов, блокируя дальнейший рост уже образовавшихся в бетонном ядре трещин и отдаляя момент его разрушения [3÷9, 12, 13]. При дальнейшем увеличении нагрузки и приближении ее к максимальной продольные напряжения в трубе достигают предела текучести, в бетонном ядре начинается лавинообразное образование трещин и формирование плоскостей сдвига, по которым происходит разрушение.

Ряд авторов, как было отмечено, предлагает рассматривать в качестве предельного состояния начало текучести трубы в продольном направлении, т.е. предлагается критерий предельной деформации. Сторонниками второго критерия Кикиным А.И., Санжаровским Р.С., Труллем В.А. была предложена удобная в инженерных расчетах формула определения несущей способности ЦС ТБЭ, основанная на суммарном учете составляющих — бетонного ядра и металлической оболочки:

$$N = (k_b \sigma_T^b A_b + k_s R_s^n A_s) \gamma_f \gamma_c \quad (1)$$

где k_b — коэффициент однородности бетонного ядра; $\sigma_T^b = R_{bn} + \mu_p R_{sn,p}$ — нормативное сопротивление бетонного ядра, работающего в условиях равномерного объемного сжатия; $\mu_p = A_b/A_s$ — коэффициент армирования; A_b, R_{bn} — площадь поперечного сечения бетонного ядра и нормативное сопротивление бетона осевому сжатию при однородном напряженном состоянии; $A_s, R_{sn,p}$ — площадь поперечного сечения стальной трубы и нормативное сопротивление стали растяжению; k_s — коэффициент однородности стали; γ_f и γ_c — коэффициенты надежности и условия работы. Однако зависимость (1) справедлива только при совместной работе ядра и оболочки, что на практике может быть достигнуто только с применением специальных средств и технологий [10].

Второй критерий игнорирует упругопластические свойства трубобетона, что снижает его эффективность. Трубобетонные конструкции и элементы не являются пластически упрочняющимися, а относятся к пластически разупрочняющимся, поскольку их диаграмма «нагрузка F - характерная деформация ε » имеет строгий максимум (F_u, ε_u) и последующую нисходящую ветвь [14]. Очевидно, современный расчет прочности ТБЭ должен учитывать связанное друг с другом влияние способа приложения нагрузки и сцепления бетона с трубой. Значительные пластические свойства центрально-сжатых ТБЭ, близкие к идеальным вблизи строгого максимума диаграммы сжатия трубобетона, обусловили, что в большинстве случаев расчет прочности ЦС ТБЭ производится по состоянию полного разрушения и теориям пластичности [3, 6, 12, 13,].

Однако следует иметь в виду, что задолго до наступления полной потери несущей способности продольные деформации труб достигают значений, при которых эксплуатация строительных конструкций нецелесообразна. В таких случаях предельная деформация может стать главенствующей, определяющей предельное состояние, а силовой фактор уже подбирается по ее величине [9].

Следует отметить, что в работе [4] приведена весьма обстоятельно разработанная методика расчета прочности нормальных сечений внецентренно-сжатых трубобетонных элементов с использованием нелинейной деформационной модели, позволяющая учитывать совместную работу стальной оболочки и бетонного ядра, находящегося в условиях трехосного сжатия. Данная модель описана в трудах таких известных ученых, как В.Н. Байков, В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко, А.А. Гвоздев, С.В. Горбатов, М.И. Додонов, Н.И. Карпенко и др. Прочность бетона при объемном напряженном состоянии вычисляют по формуле

$$R_{b,3} = R_b + k\sigma_{br,u}, \quad (2)$$

где k — коэффициент бокового давления, значение которого для ТБК круглого сечения рекомендуется определять по формуле

$$k = 5,3 - 0,8\rho, \quad (3)$$

в которой ρ — конструктивный коэффициент трубобетона, определяемый по формуле

$$\rho = (R_s A_s) / (R_b A_b), \quad (4)$$

здесь A_b, R_b, A_s, R_s — площади поперечного сечения и расчетные сопротивления соответственно бетона и стальной трубы на сжатие.

Боковое давление стальной трубы в предельном состоянии $\sigma_{br,u}$ первоначально вычисляется по приближенной формуле

$$\sigma_{br,u} = 0,4 R_s A_s / A_b, \quad (5)$$

В ходе расчета значение $\sigma_{br,u}$ может быть уточнено.

Несущая способность (предельное продольное усилие N) вертикальных конструкций при совместной работе бетонного ядра и оболочки может быть представлена следующей зависимостью:

$$N = A_b R_{b,3} + \alpha_s A_s R_s, \quad (6)$$

где α_s – коэффициент, учитывающий долю сопротивления стальной оболочки усилиям от внешних нагрузок в продольном направлении.

При внецентренном сжатии несущая способность трубобетонной колонны определяется по формуле:

$$N = (kN_{np}) / \left(1 + \frac{e_0 \eta D_n}{2,5 r^2} \right), \quad (7)$$

где N_{np} – максимальное усилие в трубобетонной колонне; D_n – наружный диаметр оболочки; e_0 – величина эксцентриситета; η – коэффициент, учитывающий прогибы; r – радиус инерции; k – коэффициент однородности.

При одновременном действии на трубобетонный элемент круглого поперечного сечения изгибающих моментов M_x и M_y проверка прочности производится с учётом суммарного эксцентриситета.

Расчет прочности внецентренно-сжатых ТБК производится по этой методике на ЭВМ по специально разработанной программе. Как свидетельствуют авторы, сопоставление результатов расчета с имеющимися экспериментальными данными показывает их хорошую сходимость. Основные недостатки обоих методов расчета: эмпирический подход, положенный в основу методов, не отражает физику процессов перераспределения напряжений и деформаций при работе ТБЭ, поэтому рекомендации и формулы имеют ограниченную область применения и не могут быть распространены на все многообразие используемых строительных материалов, особенно новых марок сталей, высокопрочных и легких бетонов, полимерных труб и т.д.; нельзя распространить формулы(1), (6) и (7) на ТБЭ разных форм сечения.

3. Результаты комплекса исследований по оценке несущей способности трубобетонных элементов при внецентренном сжатии [3, 6, 9] свидетельствуют о снижении расчетной нагрузки на 15—20 % в момент появления предельных деформаций.

4. Существующие узлы сочленения колонн из трубобетонных элементов с перекрытиями (рис.3) решены таким образом, что касательные напряжения, возникающие от последних, передаются непосредственно на стенку металлической трубы.



Рис.3.Фрагмент строительства многоэтажного здания с применением в качестве вертикальных несущих конструкций трубобетона
Fig.3.Fragment of construction of multi-storey building With the use of as vertical bearing structures of pipe concrete

Но возникает проблема их передачи на бетонное ядро, т.к. возможен отрыв металлической оболочки от бетонного ядра вследствие малой адгезии трубы с бетоном из-за неравности коэффициентов Пуассона и избыточной поперечной силы от перекрытия. Следовательно, для повышения несущей способности и надежности конструкции следует организовывать дополнительные мероприятия по обеспечению совместной работы двух композиционных материалов.

5. Широкое применение ТБК в России сдерживается отсутствием нормативных документов по их проектированию и расчету не только для сейсмических, но и для обычных районов. Несмотря на то, что работа ТБК при сжатии изучена с достаточной полнотой, существующие инженерные и вариационные методы расчета существенно отличаются друг от друга. Не решен вопрос физически адекватного моделирования трубобетонного элемента в простых вычислительных комплексах (Scad, Lira и др. ПК). В них не учитываются в комплексе свойства материалов, неполно отражаются основные особенности и специфика сопротивления трубобетона деформированию в зависимости от характера действующей нагрузки, режима и длительности нагружения, усадки, ползучести бетона, реологических факторов [2, 6, 12, 13]. Недостаточно изучены характер набора прочности высокопрочных бетонов, их адгезия со стальной оболочкой, влияние В/Ц на ранний набор прочности бетоном и др. Это требует создания, теоретического и экспериментального обоснования более совершенной методики расчета ТБК, более точно учитывающей их напряженно-деформированное и предельное состояние в составе несущего каркаса высотных сооружений при различных воздействиях.

Вывод. Новейший мировой опыт применения ТБК в области строительства показывает явно выраженную конструктивно-технологическую и экономическую эффективность инженерных решений сооружений с использованием трубобетона.

В то же время, широкое применение и внедрение ТБК в России сдерживается отсутствием нормативных документов по их проектированию и расчету. Несмотря на весьма обстоятельные исследования в этой области, надо признать, что до сих пор отсутствуют эффективная методика расчета и технологии возведения ТБК, нет надежной и приемлемой для практического использования расчетной модели трубобетонного сечения в предельном состоянии, адекватно отражающей его специфические особенности.

Отсутствует единое мнение о влиянии условий обжатия на повышение несущей способности бетона в ядре, значительная часть исследований выполнена с применением бетонов без предварительного обжатия ядра. Нет определенности с критерием предельного состояния ТБЭ, нет универсального метода их расчета с учетом особенностей характера передачи нагрузок на поперечные сечения. Указанные моменты определяют актуальность дальнейших исследований по расчету трубобетона.

Применение трубобетона требует дополнительной проработки основных узлов сопряжения с другими конструкциями. Отсутствуют надежные решения узлов сочленения трубобетонных элементов по высоте с перекрытиями многоэтажных каркасов, обеспечивающих совместную работу стальной «оболочки» и бетонного ядра, что также является сдерживающим фактором на пути широкого использования ТБК при строительстве зданий и сооружений.

Еще одним фактором, требующим внимательного рассмотрения, является проблема «мостиков холода», которая неизбежно возникает в холодном климате России.

Наконец, вызывает серьезные опасения пространственная устойчивость зданий из трубобетона в случае продолжительных по времени землетрясений. Принятые в реализуемых проектах конструктивные решения могут оказаться уязвимыми, т.к. из работы сооружения могут быть выключены при начальных толчках вертикальные сквозные (решетчатые) диафрагмы, образованные колоннами и раскосами. При этом качественно изменяются динамические характеристики сооружения, после чего может сыграть негативную роль геометрическая нелинейность как результат резкого увеличения амплитуд колебаний здания при афтершоках. В дальнейшем (при продолжении афтершоков) нельзя исключить опасность прогрессирующего разрушения остова сооружения в результате вхождения в резонансную полосу в такт с длиннопериодными колебаниями основания.

Таким образом, при всех своих преимуществах ТБК нуждаются в дальнейших исследованиях для широкого их использования в сейсмостойком строительстве.

Библиографический список:

1. S.-H. Cai. Modern Street Tube Confined Concrete Structures. Shanghai, China Communication Press, 2003, p. 358.
2. Паньшин Л.Л., Крашенинников М.В. Опыт реализации неупругой деформационной модели в практических расчетах конструкций высотных зданий // Бетон и железобетон - пути развития: Науч. тр. 2-й Всероссийской конф. по бетону и железобетону. Т. 6. М.: Дипак, 2005. С. 249-256.
3. Митрофанов В. П., Довженко О. А. О критерии предельного состояния по прочности центрально сжатых трубобетонных элементов // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов" № 63: Серия: Економічні науки. Харьков, Украина, 2005, С. 73-86.
4. Кришан А.Л. Расчет прочности трубобетонных колонн / А.Л.Кришан, А.И.Заикин, А.С.Мельничук // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений – № 1, 2010. - С. 20-25.
5. Курочкин А. В. Возведение каркасных зданий с несущими конструкциями из трубобетонных элементов // Вестник МГСУ. 2010. № 3. С. 82-86.
6. Етекбаева А.Б. Прочность и деформация трубобетонных сжатых элементов при знакопеременных горизонтальных нагрузках: Дисс.на соиск. учен. степ. к.т.н. Спец.05.23.01. – Алматы, 2010. 132 с.
7. Дуванова И.А., Сальманов И.Д. Трубобетонные колонны в строительстве высотных зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. №6 (21). 2014, С. 89-103.
8. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Михалдыкин Е.С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 1. Опыт применения трубобетона с металлической оболочкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, 2015. №4. С.1-25.
9. Аймагамбетова С.М. Высотное строительство с учетом применения трубобетонных конструкций. Дис. на соиск. квалиф. магистра техники и технологии строительства. Санкт-Петербург: ФГБОУ ВПО СПбГПУ, 2013. - 71 с.
10. Morino S., Tsuba K. Design and Construction of Concrete- Filled Steel Tube Column System in Japan // Earthquake and Engineering Seismology. 2005. No 1. Vol. 4. P. 51-73.
11. Boyd P.F., Cofer W.F., McLean D.I. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading // Journal of ACI. - 1995. – Vol. 92, №3. - P. 353-364.
12. Суров К.Л., Акаев А.И., Римшин В.И. К вопросу о расчете прочности и жесткости сталебетонных станин с учетом физической нелинейности // Бетон и железобетон. – 1996. № 1. С. 24-28.
13. Акаев А.И., Пайзулаев М.М. Расчет прочности по первой группе предельных состояний изгибаемых элементов, усиленных стальными обоймами // Журнал «Научное обозрение». – Москва, 2015. №9. С. 112-115.
14. Yu Q., Tao Z., Chen Z.-B. Analysis and calculations of steel tube confined concrete (stcc) stub columns. Journal of Constructional Steel Research. 2010. Vol. 66. Issue 1. Pp. 53-64.
15. Liu F.-Q., Yang H. Fe analysis of fire-resistance performance of concrete filled steel tubular columns under different loading cases. Harbin Gongye Daxue Xuebao/Journal of Harbin Institute of Technology. 2010. Vol. 42. Issue 1. Pp. 201-204.
16. Qian J., Jiang Z., Ji X. Experimental study on seismic behavior of steel tube-reinforced concrete composite shear walls with high axial compressive load ratio. Jianzhu Jiegou Xuebao. Journal of Building Structures. 2010. Vol. 31. Issue 7. Pp. 40-48.
17. Garanzha I.M. About approaches to the calculation of composite tubes in Ukraine and abroad // Metal constructions. 2014, vol.20, №1, p. 45-53.
18. Min Yu, Xiaoxiong Zha, Jianqiao Ye, Yuting Li. A unified formulation for circle and polygon concretefilled steel tube columns under axial compression / Engineering Structures.- 2013. - 49. - p. 1-10.

19. Xinzheng Lua, Linlin Xiea, Hong Guanb, Yuli Huangc, Xiao LuA shear wall element for nonlinear seismic analysis of super-tall buildings using Open Sees / Finite Elements in Analysis and Design. 2015, vol, pp. 14–25

References:

1. S.-H. Cai. Modern Street Tube Confined Concrete Structures. Shanghai: China Communication Press; 2003. 358 p.
2. Pan'shin L.L., Krashenninnikov M.V. Opyt realizatsii neuprugoy deformatsionnoy modeli v prakticheskikh raschetakh konstruksiy vysotnykh zdaniy. Nauch. tr. 2-y Vserossiyskoy (Mezhdunarodnoy) konf. po betonu i zhelezobetonu "Beton i zhelezobeton - puti razvitiya". Moscow: Dipak; 2005. S. 249-256. [Pan'shin L.L., Krashenninnikov M.V. Experience in the realisation of inelastic deformation model in practical calculations of high-rise buildings. Proceedings of the 2nd All-Russian conference on concrete and reinforced concrete "Beton i zhelezobeton - puti razvitiya". Moscow: Dipak; 2005. P. 249-256. (in Russ.)]
3. Mitrofanov V. P., Dovzhenko O. A. O kriterii predel'nogo sostoyaniya po prochnosti tsentral'no szhatykh trubobetonnykh elementov. Nauchno-tehnicheskiiy sbornik "Kommunal'noe khozyaystvo gorodov" № 63: Seriya: Ekonomichni nauki. Khar'kov, Ukraina; 2005. S. 73-86. [Mitrofanov V. P., Dovzhenko O. A. About the criterion of the limiting state of strength of centrally compressed pipe-concrete elements. Scientific and technical collection "Kommunal'noe khozyaystvo gorodov" № 63: Seriya: Ekonomichni nauki. Khar'kov, Ukraina; 2005. P. 73-86. (in Russ.)]
4. Krishan A.L., Zaikin A.I., Mel'nichuk A.S. Raschet prochnosti trubobetonnykh kolonn. Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. 2010; 1:20-25. [Krishan A.L., Zaikin A.I., Mel'nichuk A.S. Calculation of strength of pipe-concrete columns. Structural mechanics of engineering constructions and buildings. 2010; 1:20-25. (in Russ.)]
5. Kurochkin A. V. Vozvedenie karkasnykh zdaniy s nesushchimi konstruksiyami iz trubobetonnykh elementov. Vestnik MGSU. 2010; 3:82-86. [Kurochkin A. V. Construction of frame buildings with load-bearing structures from pipe-concrete elements. Vestnik MGSU (Scientific and Engineering Journal for Construction and Architecture). 2010; 3:82-86. (in Russ.)]
6. Etekbayeva A.B. Prochnost' i deformatsiya trubobetonnykh szhatykh elementov pri znako-peremennykh gorizontal'nykh nagruzkakh: Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. Almaty; 2010. [Etekbayeva A.B. Strength and deformation of pipe-concrete compressed elements under alternating horizontal loads. Published summary of Candidate of Technical Sciences thesis. Almaty; 2010. (In Russ.)]
7. Duvanova I.A., Sal'manov I.D. Trubobetonnye kolonny v stroitel'stve vysotnykh zdaniy i sooruzheniy. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2014; 6(21):89-103. [Duvanova I.A., Sal'manov I.D. Tube-concrete columns in the construction of high-rise buildings and structures. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014; 6(21):89-103. (in Russ.)]
8. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhaldykin E.S. O probleme rascheta trubobetonnykh konstruksiy s obolochkoy iz raznykh materialov. Chast' 1. Opyt primeneniya trubobetona s metallicheskoy obolochkoy. Internet-zhurnal «Naukovedenie». 2015; 7(4):1-25. [Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Mikhaldykin E.S. On the problem of calculating pipe-concrete structures with a shell of different materials. Part 1. Experience of using pipe-concrete with a metal shell. Scientific open access journal «Naukovedenie». 2015; 7(4):1-25. (in Russ.)]
9. Aymagambetova S.M. Vysotnoe stroitel'stvo s uchetom primeneniya trubobetonnykh konstruksiy. Dissertatsiya na soiskanie kvalifikatsii magistra tekhniki I tekhnologii stroitel'stva. Sankt-Peterburg; 2013. [Aymagambetova S.M. High-rise construction taking into account the use of pipe-concrete structures. Dissertation of Master of Building Technics and Technology. Saint-Petersburg; 2013. (in Russ.)]
10. Morino S., Tsuba K. Design and Construction of Concrete- Filled Steel Tube Column System in Japan. Earthquake and Engineering Seismology. 2005; 1(4):51-73.

11. Boyd P.F., Cofer W.F., McLean D.I. Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading. *Journal of ACI*. 1995; 92(3):353-364.
12. Surov K.L., Akaev A.I., Rimshin V.I. K voprosu o raschete prochnosti i zhestkosti stalebetonnykh stanin s uchetom fizicheskoy nelineynosti. *Beton i zhelezobeton*. 1996; 1:24-28. [Surov K.L., Akaev A.I., Rimshin V.I. On the calculation of strength and stiffness of steel concrete stations accounting for physical nonlinearity. *Beton i zhelezobeton*. 1996; 1:24-28.]
13. Akaev A.I., Payzulaev M.M. Raschet prochnosti po pervoy gruppe predel'nykh sostoyaniy izgibaemykh elementov, usilennykh stal'nymi oboymami. *Nauchnoe obozrenie*. 2015; 9:112-115. [Akaev A.I., Payzulaev M.M. Calculation of the strength of the first group of limiting states of bent elements reinforced with steel clips. *Science Review*. 2015; 9:112-115. (in Russ.)]
14. Yu Q., Tao Z., Chen Z.-B. Analysis and calculations of steel tube confined concrete (stcc) stub columns. *Journal of Constructional Steel Research*. 2010; 66(1):53-64.
15. Liu F.-Q., Yang H. Fe analysis of fire-resistance performance of concrete filled steel tubular columns under different loading cases. *Harbin Gongye Daxue Xuebao/Journal of Harbin Institute of Technology*. 2010; 42(1):201-204.
16. Qian J., Jiang Z., Ji X. Experimental study on seismic behavior of steel tube-reinforced concrete composite shear walls with high axial compressive load ratio. *Jianzhu Jiegou Xuebao. Journal of Building Structures*. 2010; 31(7):40-48.
17. Garanzha I.M. About approaches to the calculation of composite tubes in Ukraine and abroad. *Metal constructions*. 2014; 20(1):45-53.
18. Yu M., Zha X., Ye J., Li Y. A unified formulation for circle and polygon concretefilled steel tube columns under axial compression. *Engineering Structures*. 2013; 49:1-10.
19. Lua X., Xie L., Guanb H., Huangc Y., Lu X. A shear wall element for nonlinear seismic analysis of super-tall buildings using Open Sees. *Finite Elements in Analysis and Design*. 2015; 98:14-25.

Сведения об авторах.

Акаев Абулуджафар Имамусейнович - кандидат технических наук, доцент кафедры сейсмостойкого строительства.

Магомедов Магомед Гаджиевич - кандидат технических наук, доцент

Пайзулаев Магомед Муртазалиевич - кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры сопротивление материалов, теоретическая и строительная механика

Information about the authors.

Abdujafar I. Akaev – Cand. Sc.(Technical), Associate Professor

Magomed G. Magomedov – Cand. Sc.(Technical), Associate Professor

Magomed M. Payzulaev – Cand. Sc.(Technical), Senior lecturer.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 25.01.2017.

Received 25.01.2017.

Принята в печать 29.02.2017.

Accepted for publication 29.02.2017.

Для цитирования: Жильникова Т.Н., Корянова Ю.И., Несветаев Г.В. Влияние рецептурно-технологических факторов на прочностные показатели бетонов для инъектирования с двухстадийным расширением. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):150-161. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-150-161

For citation: Zhilnikova T.N., Koryanova Y.I., Nesvetaev G.V. Impact of formula-technological factors on concrete strength indicators for injecting with two-stage expansion. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1): 150-161. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-150-161

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.335/ 691.542

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-150-161

ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕТОНОВ ДЛЯ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ С ДВУХСТАДИЙНЫМ РАСШИРЕНИЕМ

Жильникова Т.Н.¹, Корянова Ю.И.², Несветаев Г.В.³

^{1,2,3} Донской государственный технический университет

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д.1

¹zhilnikova.tatjana@yandex.ru, ²koryanova.yi@mail.ru,

³nesgrin@yandex.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является уточнение зависимости прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие роста собственных свободных деформаций цементного камня и расширения твердеющего бетона на втором этапе за счет действия расширяющей добавки. **Метод.** Исследование основано на введении в состав вяжущего расширяющей добавки сульфоалюминатного типа на основе глиноземистого цемента, природного гипсового камня и нитрилотриметилфосфоновой кислоты. **Результат.** Доказано, что в технологии расширяющихся бетонов важную роль играет не только степень расширения цементного камня, но и его прочность, как в период нарастания деформаций, так и после их стабилизации. К числу факторов, влияющих на кинетику твердения, относятся не только рецептурные (состав и дозировка добавки, минералогический состав портландцементного клинкера, состав бетона, наличие химических добавок), но и технологические (тонкость помола цемента, температура твердения и т.д.), что делает задачу управления процессами структурообразования достаточно сложной. Выявлена зависимость прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие роста собственных свободных деформаций цементного камня и расширения твердеющего бетона на втором этапе за счет действия расширяющей добавки; зависимость влияния регулятора кинетики структурообразования – нитрилотриметилфосфоновой кислоты на согласованность развития собственных свободных деформаций расширения и формирование прочности цементного камня на втором этапе; зависимости прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие газовыделения и расширения смеси на первом этапе за счет действия газообразующей добавки; влияния стесненности расширения на формирование структуры цементного камня и его прочность; влияние условий твердения образцов на прочностные характеристики бетонов с двухстадийным расширением. **Вывод.** Процесс расширения в условиях свободного развития деформаций сопровождается увеличением пористости цементного камня до 9% и закономерным снижением прочности цементного камня на сжатие до 19,3%. Установлено влияние условий твердения на предел прочности на сжатие для бетонов с двухстадийным расширением: при выдерживании на воздухе 28 суток при температуре 5 °С отмечается снижение прочности до 50% относительно нормальных условий, а при температуре 35 °С – до 14%. При водном выдерживании вследствие интенсив-

ного расширения на второй стадии отмечается снижение прочности до 33%. Уточнена зависимость соотношения предела прочности на растяжение от предела прочности на сжатие для бетонов с двухстадийным расширением с учетом условий твердения.

Ключевые слова: бетоны для инъектирования с двухстадийным расширением, рецептурно-технологические факторы, прочностные показатели, дополнительная пористость, собственные свободные деформации, расширяющая добавка, регулятор кинетики структурообразования, нитрилотриметилфосфоновая кислота, газообразующая добавка, стесненность расширения

TECHICAL SCIENCE BUILDING AND ARCHITECTURE

IMPACT OF FORMULA-TECHNOLOGICAL FACTORS ON CONCRETE STRENGTH INDICATORS FOR INJECTING WITH TWO-STAGE EXPANSION

Tatjana N. Zhilnikova², Yulia I. Koryanova³, Grigory V. Nesvetaev¹

^{1,2,3} Don State Technical University

1 Gagarina Sq., Rostov on Don 344000, Russia,

¹ e-mail: nesgrin@yandex.ru,

² e-mail: zhilnikova.tatjana@yandex.ru, ³ e-mail: koryanova.yi@mail.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to clarify the dependence of the cement stone strength on additional porosity that is formed owing both to the cement stone's development of free deformations and the expansion of the hardening concrete in the second stage as caused by the action of the expanding additive. **Method** The study is based on the introduction of a sulphoaluminate-type expanding additive in the composition of a binder based on alumina cement, natural gypsum stone and nitrilotrimethylphosphonic acid. **Results** It is shown that an important role is played in the technology of expanding concrete not only by the degree of expansion of the cement stone, but also by its strength, both during the development of deformations and following stabilisation. Among factors influencing the kinetics of hardening are not only recipe-related (composition and dosage of the additive, mineralogical composition of Portland cement clinker, composition of the concrete, presence of chemical additives), but also technological (fineness of cement grinding, hardening temperature, etc.) that makes the management of the processes of structure formation quite complex. The dependence of the strength of cement stone on the additional porosity formed due to the growth of the cement stone own free deformations and expansion of the hardening concrete in the second stage due to the action of the expanding additive is revealed; dependence of the influence of kinetics of the structure formation regulator - nitrilotrimethylphosphonic acid - on the consistency of the development of the intrinsic free expansion deformations and the formation of the strength of the cement stone in the second stage; the dependence of the strength of the cement stone on the additional porosity formed due to gas evolution and expansion of the mixture in the first stage due to the action of the gas-forming additive; the influence of the constraint of expansion on the formation of the structure of cement stone and its strength; the effect of hardening conditions on the strength characteristics of concrete with a two-stage expansion. **Conclusion** The process of expansion under the conditions of deformation free development is accompanied by an increase in the porosity of the cement stone of up to 9% and a regular decrease in the strength of the cement stone by compression up to 19.3%. The effect of hardening conditions on the compressive strength of concrete with a two-stage expansion is established: when exposed to air for 28 days at a temperature of 5 °C, the strength decreases to 50% relative to normal conditions, and at a temperature of 35 °C - to 14 %. With water aging the strength is reduced to 33% due to intensive expansion in the second stage. The dependence of the ratio of tensile strength to compressive strength for concretes with a two-stage expansion is specified, taking into account the hardening conditions.

Keywords: concretes for injection with two-stage expansion, formula and technological factors, strength indexes, additional porosity, intrinsic free deformations, expanding additive, regulator of structure formation kinetics, nitrilotrimethylphosphonic acid, gas-forming additive, constraint of expansion

Введение. В технологии расширяющихся бетонов важную роль играет не только степень расширения цементного камня, но и его прочность, как в период нарастания деформаций, так и после их стабилизации. Поскольку расширение фактически есть увеличение объема при неизменной массе, т.е. уменьшение средней плотности, а значит, увеличения пористости камня, расширение может вызывать снижение прочности в соответствии с известной зависимостью «пористость – прочность».

Постановка задачи. В связи с этим были проведены исследования с целью уточнения зависимости прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие роста собственных свободных деформаций цементного камня и расширения твердеющего бетона на втором этапе за счет действия расширяющей добавки (РД).

Методы исследования. На рис. 1 представлены данные о соотношении пределов прочности при изгибе и сжатии цементного камня, полученные при введении в состав вяжущего РД сульфоалюминатного типа на основе глиноземистого цемента и природного гипсового камня.

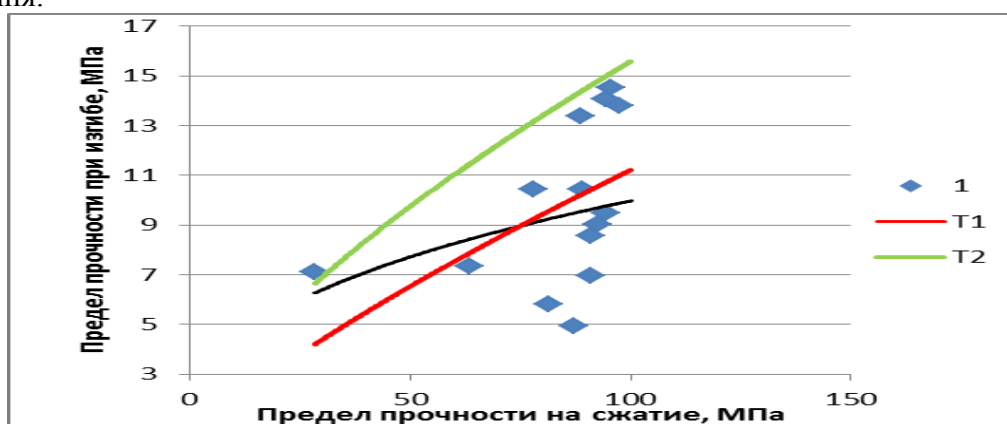


Рис.1. Зависимость предела прочности при изгибе от предела прочности при сжатии:

1 – данные авторов; T1 – по ф. $R_f = 0,31 \cdot R_0^{0,779}$ [1]; T2 – по ф. $R_f = 0,69 \cdot R_0^{0,677}$ [2]

Fig.1. Dependence of the flexural strength on the compressive strength:

1 - the data of the authors; T1 - according to f. $R_f = 0.31 \cdot R_0^{0.779}$ [1]; T2 - according to f. $R_f = 0.69 \cdot R_0^{0.677}$ [2]

Из приведенных на рис.1 данных можно отметить, что введение РД в состав вяжущего незначительно сказалось на изменении предела прочности на сжатие до 17,7% при введении РД в количестве до 27,7%. Влияние РД на предел прочности при изгибе более значительно и может быть разделено на три вида:

- снижение предела прочности при изгибе от 5,3 до 48,4% при введении РД в количестве до 16,2%;

- увеличение предела прочности при изгибе от 41,1 до 52,6% при количестве РД от 18,4 до 24,4%;

- колебание значений в пределах 9,5%, при количестве РД от 26,2 до 27,7%.

Таким образом, посредством введения РД в количестве от 18,4 до 24,4% можно добиться повышения предела прочности при изгибе до 52,6% при повышении предела прочности на сжатие до 3,3%, что говорит о влиянии добавки на процессы структурообразования цементного камня.

Помимо снижения прочности вследствие роста пористости Р, потеря прочности при увеличении значений деформаций свободного расширения может происходить в результате несогласованности кинетики процессов расширения и нарастания прочности структуры, что

может приводить к концентрации напряжений и микротрещинообразованию, вызывая, фактически, снижение прочности «скелета» R_0 в известной зависимости $R = R_0 f(P)$. Согласованность процессов является функцией совместного воздействия многих факторов, в связи, с чем ее обеспечение представляет очень сложную задачу. В связи с этим были выполнены исследования с целью уточнения влияния регулятора кинетики структурообразования – нитрилотриметилфосфоновой кислоты (НТФ) на согласованность развития собственных свободных деформаций расширения и формирование прочности цементного камня на втором этапе.

На рис. 2 представлены данные о соотношении пределов прочности при изгибе и сжатии цементного камня полученные при совместном введении в состав вяжущего РД и НТФ.

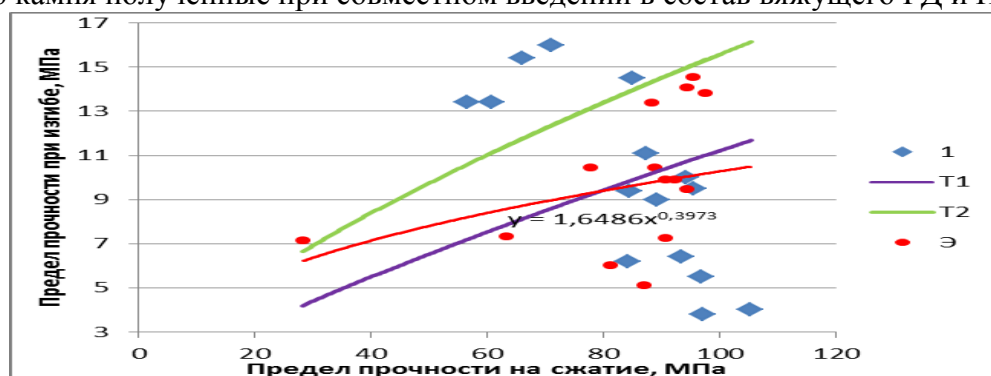


Рис.2. Зависимость предела прочности при изгибе от предела прочности на сжатие: 1 – данные авторов с НТФ; T1 – по ф. $R_f = 0,31 \cdot R^{0,779}$ [1]; T2 – по ф. $R_f = 0,69 \cdot R^{0,677}$ [2]; Э – данные авторов без НТФ

Fig.2. Dependence of the flexural strength on the compressive strength:

1 - data of authors with NTF; T1 - according to f. $R_f = 0.31 \cdot R^{0.779}$ [1]; T2 - according to f. $R_f = 0.69 \cdot R^{0.677}$ [2]; E - data of authors without NTF

Из представленных на рис. 2 данных видно, что введение РД и НТФ в состав вяжущего приводит к снижению предела прочности от 7,8 до 46,2%. При этом при введении РД в количестве до 24,4% снижение предела прочности составляет до 19,9%, а дальнейшее увеличение количества РД в составе вяжущего снижает предел прочности в большей степени. Также следует отметить, что введение НТФ в составы с РД приводит к увеличению предела прочности на сжатие относительно составов с тем же количеством РД, но без НТФ до 46,9%. Введение РД и НТФ в состав вяжущего приводит к увеличению предела прочности при изгибе до 3 раз (!). При этом можно выделить три основные группы:

- увеличение предела прочности при изгибе до 60% при снижении предела прочности на сжатие до 19,9% составы с НТФ без РД;
- увеличение предела прочности при изгибе в 1,78 раз при снижении предела прочности на сжатие до 19,9% составы с НТФ с РД в количестве до 24,4%;
- увеличение предела прочности при изгибе до 3 раз при снижении предела прочности на сжатие до 46,2% составы с НТФ и РД в количестве 27,7%, а так же составы с РД без НТФ.

Таким образом, НТФ позволяет регулировать согласованность кинетики процессов нарастания собственных свободных деформаций и набора прочности скелета, что дает возможность увеличения деформаций расширения без снижения прочностных показателей. Как известно, прочность R и пористость P цементного камня и, следовательно, бетона, связаны соотношением [2]

$$R = R_0 \cdot \exp(-5,15 \cdot P) \quad (1)$$

В связи с этим были выполнены исследования с целью уточнения зависимости прочности цементного камня от дополнительной пористости, формирующейся вследствие газовыделения и расширения смеси на первом этапе за счет действия газообразующей добавки (ГД). На рис. 3 представлена зависимость относительной прочности цементного камня от его дополнительной пористости при введении в состав вяжущего ГД.



Рис. 3. Зависимость относительной прочности от дополнительной пористости:
 1-3 – данные авторов; Т – формула Рышкевича [2]

Fig. 3. Dependence of relative strength on additional porosity:

1-3 - data of the authors; T is the Ryszkevicz formula [2]

Из представленных на рис. 3 данных видно, что с увеличением количества ГД от 0,14 до 0,29%Ц растет величина дополнительной пористости от 0 до 0,14, что уменьшает относительную прочность цементного камня до 7% больше, чем происходит уменьшение прочности по формуле Рышкевича. Также можно предположить, что происходит увеличение дополнительной пористости, что может быть связано с воздухововлекающим эффектом суперпластификатора (СП).

Таким образом можно сделать вывод о том, что варьируя в составе растворной смеси количество ГД от 0 до 0,44%Ц, количество СП от 0 до 0,86% Ц, модуль крупности заполнителя от 1,2 до 2,8, можно прогнозировать падение прочности от 1 до 4% при требуемом увеличении дополнительной пористости от 0,01 до 0,18 и гарантированном заполнении бетонируемого пространства.

Увеличение объема растворной смеси может происходить в условиях ограничения возможного расширения, т.е. растворная смесь увеличивается в объеме больше, чем ей это позволяет пространство. Такие условия называются стесненностью расширения и могут влиять как на структуру цементного камня посредством изменения плотности и пористости, так и на прочностные показатели. В связи с этим были выполнены исследования влияния стесненности расширения на формирование структуры цементного камня и его прочность.

На рис. 4 представлена зависимость относительной прочности цементного камня от его дополнительной пористости в стесненных условиях.

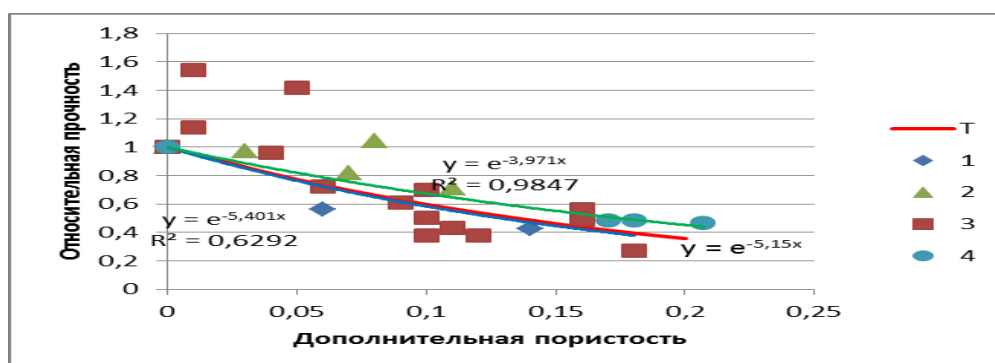


Рис.4. Зависимость предела прочности на сжатие от дополнительной пористости:

1-4 – данные авторов; Т – по формуле Рышкевича [2]

Fig.4. Dependence of compressive strength on additional porosity:

1-4 - data of the authors; T - according to Ryszkevich's formula [2]

Полученные данные говорят о том, что ограничение пространства возможного расширения позволяет повысить относительную прочность при требуемой дополнительной пористости до 17,6%. Данная зависимость подтверждает ранее полученные данные [3] о повышении прочности пенобетонов и ячеистых бетонов в стесненных условиях, и показывает,

что закономерности, выявленные для более пористых структур, также соответствуют и структурам с меньшей пористостью.

Обсуждение результатов. Обобщая полученные данные о влиянии РД, НТФ, ГД и стесненности условий на прочность цементного камня бетонов для инъектирования с двухстадийным расширением получим зависимость предела прочности на сжатие от стесненности условий, представленной на рис. 5.

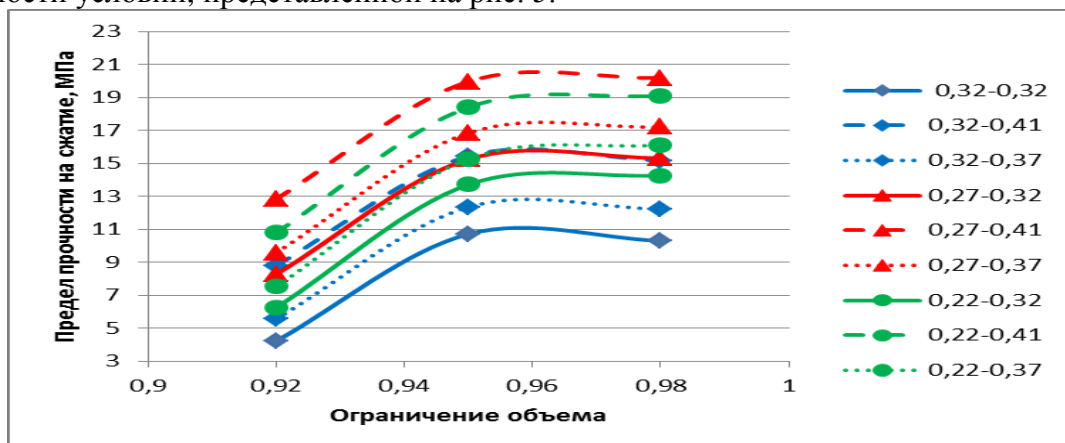


Рис.5. Зависимость предела прочности на сжатие от ограничения объема:

НТФ, % (0,22...0,32) – А1, % (0,32...0,41)

Fig. 5. Dependence of compressive strength on volume limitation:

NTP, % (0.22 ... 0.32) - A1, % (0.32 ... 0.41)

Анализируя полученные данные можно отметить следующее:

- с увеличением дозировки ГД возрастает предел прочности бетона на сжатие, это может быть объяснено следующим: с увеличением количества ГД увеличивается энергия экзотермической реакции газообразования, которая при согласованности с процессом структурообразования позволяет создавать самонапряжение в бетоне, благоприятно влияющее на предел прочности на сжатие;

- зависимость предела прочности на сжатие от ограничения объема имеет экстремальный характер, это связано с тем, что при большой возможности расширения смесь увеличивается в объеме, что при неизменной массе говорит об увеличении пористости, которая негативно влияет на прочность бетона. При уменьшении возможности расширения образование дополнительной пористости тоже уменьшается, а также проявляется эффект повышения прочности в стесненных условиях [3]. При дальнейшем уменьшении объема возможного расширения наблюдается сохранение значений прочностных показателей, однако оно не целесообразно вследствие перерасхода материала;

- с увеличением дозировки НТФ возрастает предел прочности на сжатие, однако существует экстремум ее количества. Это можно объяснить тем, что введение НТФ приводит к замедлению схватывания и сдвигу начала процесса структурообразования на более поздние сроки, позволяя бетонной смеси расширяться без нарушения целостности структуры вследствие процесса газообразования. Если дозировка НТФ слишком мала, то происходит разрушение формирующейся структуры под действием энергии процесса расширения, если же дозировка НТФ превышает пороговое значение, то процесс газообразования без сдерживающего расширения каркаса формирует высокопористую структуру, обладающую низкой прочностью.

Поэтому существует оптимальная дозировка НТФ, при которой в начальный период времени происходит расширение смеси без нарушения сплошности структуры, а в дальнейшем формирующаяся структура сдерживает расширение системы, создавая тем самым самонапряжение.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для получения бетонной смеси с прочностью выше 15 МПа и самонапряжением в 7 суток выше 5 МПа при увеличении

дополнительной пористости до 0,08 оптимальной дозировкой ГД является от 0,37 до 0,41% Ц, НТФ от 0,22 до 0,27% Ц, ограничение объема должно составлять 0,95.

К числу факторов, влияющих на кинетику твердения, относятся не только рецептурные (состав и дозировка добавки, минералогический состав ПЦ клинкера, состав бетона, наличие химических добавок), но и технологические (тонкость помола цемента, температура твердения и т.д.), что делает задачу управления процессами структурообразования достаточно сложной [5-20]. На рис. 6 – 8 представлены результаты исследования влияния условий твердения образцов (табл.) на прочностные характеристики бетонов с двухстадийным расширением.

Таблица 1. Условия твердения
Table 1. Condition of hardening

Условия/№	1	2	3	4	5	6	7 (Э)	8	9
Температура, °С	20	20	20	20	35	35	20	5	5
Степень заполненности цилиндров, доли	1	0,95	1	0,95	1	0,95	1	1	0,95
Среда твердения	воздух	воздух	вода	вода	воздух	воздух	воздух	воздух	воздух

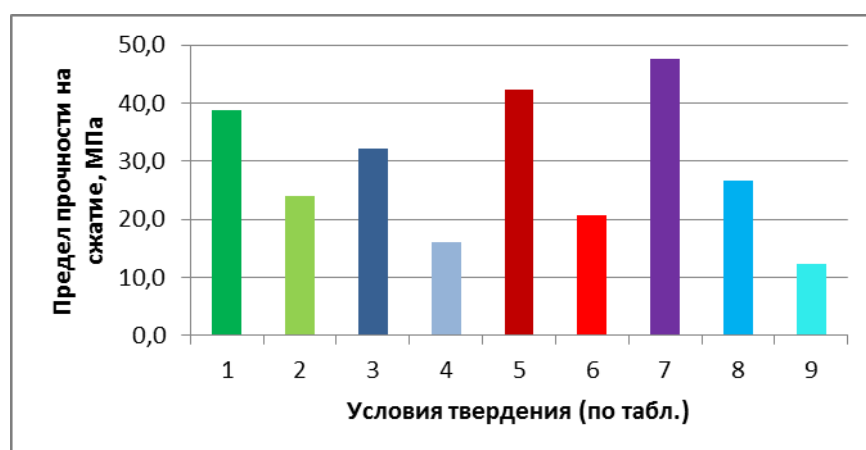


Рис.6. Предел прочности на сжатие бетона с двухстадийным расширением

Fig.6. Combustion strength of concrete with two-stage expansion

Анализируя данные на рис. 6, можно сделать следующие выводы:

- введение ГД снижает предел прочности на сжатие от 11,13 до 74,16% за счет образования дополнительной пористости, негативно влияющей на прочностные характеристики относительно бездобавочного эталона, в результате процесса газообразования;

- образование дополнительной пористости за счет расширения бетонной смеси до 5% вызывает снижение предела прочности на сжатие от 38,14 до 53,93% относительно составов, не имеющих возможности расширения;

- в сравнении с нормальными условиями твердения, твердение при повышенной температуре вызывает увеличение прочности на сжатие на 9,02% при полном ограничении объема и снижение на 13,75% при ограничении объема 0,95, что может быть связано с ускорением твердения в ранний период, сопровождающимся негативным влиянием в проектном возрасте, снижение прочности может составлять 5-15% [4];

- твердение при низкой положительной температуре вызывает снижение прочности на сжатие в сравнении с нормальными условиями твердения на 31,19% при полном ограничении

объема и на 48,75% при ограничении объема 0,95, что связано с замедлением скорости твердения;

- выдерживание образцов в водной среде снижают прочность на сжатие на 17,27% при полном ограничении объема и на 32,92% при ограничении объема 0,95 в сравнении с нормальными условиями твердения, что можно объяснить расклинивающим действием воды, находящейся в порах.

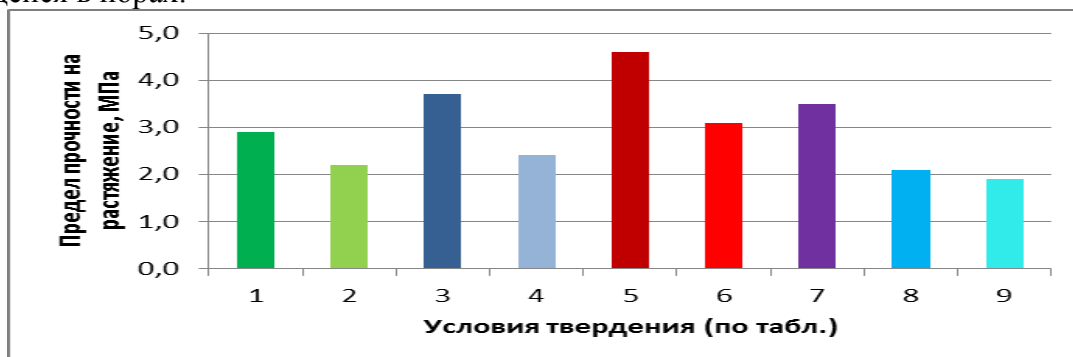


Рис.7. Предел прочности на растяжение бетона с двухстадийным расширением
Fig. 7. Tensile strength of concrete with two-stage expansion

Представленные на рис. 7 данные говорят о том, что:

- дополнительная возможность расширения на 5% приводит к снижению прочности на растяжение от 9,52 до 35,14% в сравнении с составами без возможности расширения;

- в сравнении с нормальными условиями твердения, твердение при повышенной температуре вызывает увеличение прочности на растяжение на 58,62% при полном ограничении объема и на 40,91% при ограничении объема 0,95;

- твердение при низкой положительной температуре вызывает снижение прочности на растяжение в сравнении с нормальными условиями твердения на 27,59% при полном ограничении объема и на 13,64% при ограничении объема 0,95;

- выдерживание образцов в водной среде повышают прочность на растяжение на 27,59% при полном ограничении объема и на 9,09% при ограничении объема 0,95 в сравнении с нормальными условиями твердения.

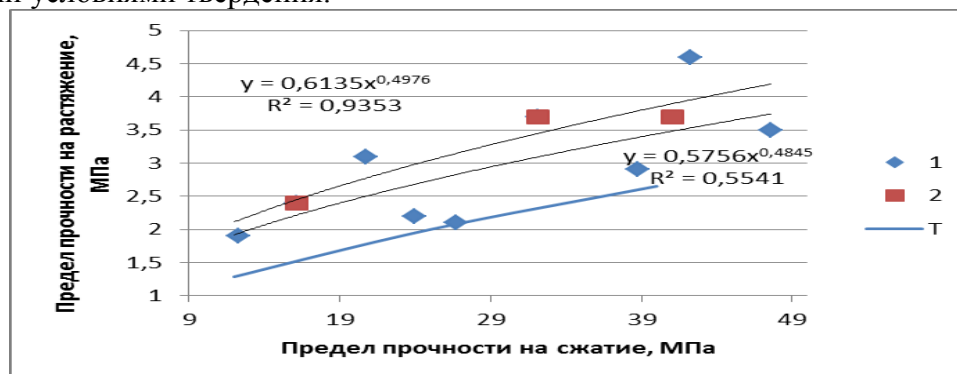


Рис.8. Зависимость предела прочности на растяжение от предела прочности на сжатие:
 1 – данные авторов; 2 – данные авторов при водном выдерживании; Т – по ф.

$$R_t = 0,29 \cdot R^{0,6} [2]$$

Fig.8. Dependence of tensile strength on tensile strength on compressive strength:
 1 - the data of the authors; 2 - data of authors under water aging; T - according to f.

$$R_t = 0,29 \cdot R^{0,6} [2]$$

Представленные на рис. 8 данные говорят о том, что для бетонов с двухстадийным расширением характерно соотношение прочностей на растяжение и сжатие больше от 0,91 до 73,53%, чем для обычных бетонов. Также можно отметить, что при водном выдерживании образцов, а также при увеличении времени твердения соотношение возрастает от 37,25 до 59,18% относительно соотношения прочностей в 28 суток при других видах выдерживания, что

вероятно связано как с более благоприятными для процесса гидратации условиями, так и с «самозалечиванием» структуры при длительном твердении.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для получения бетонной смеси с заданной прочностью при увеличении дополнительной пористости до 0,08 оптимальными условиями хранения образцов являются нормальные, а для получения требуемого самонапряжения выдерживание образцов в водной среде.

Вывод:

1. РД в количестве от 18,4 до 24,4% в составе вяжущего повышает предел прочности цементного камня при изгибе от 41,1 до 52,6% при повышении предела прочности на сжатие до 3,3%.

2. Повышение дозы НТФ в количестве от 0,1 до 0,255% при количестве РД до 24,4% повышает предел прочности при изгибе до 1,78 раза, вследствие положительного влияния НТФ на согласованность кинетики нарастания собственных свободных деформаций и формирования прочности цементного камня.

3. Процесс расширения в условиях свободного развития деформаций сопровождается увеличением пористости цементного камня до 9% и закономерным снижением прочности цементного камня на сжатие до 19,3%.

4. Установлено влияние условий твердения на предел прочности на сжатие для бетонов с двухстадийным расширением: при выдерживании на воздухе 28 сут при температуре 5 °С отмечается снижение прочности до 50% относительно нормальных условий, а при температуре 35 °С – до 14%. При водном выдерживании вследствие интенсивного расширения на второй стадии отмечается снижение прочности до 33%.

5. Уточнена зависимость соотношения предела прочности на растяжение R_t от предела прочности на сжатие R для бетонов с двухстадийным расширением с учетом условий твердения: $R_t = a * R^b$ ($a = 0,58$ при выдерживании на воздухе и $0,61$ при выдерживании в воде, $b = 0,49$).

Библиографический список:

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
2. Несветаев Г.В. Бетоны: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. – 381 с.
3. Помазанов В.Н. Исследование особенностей формирования и свойств газобетона в закрытых перфорированных формах: Автореф. дисс. . канд. техн.наук./ Днепропетровск, 1981. 20 с.
4. Соотношение самонапряжения и свободного расширения напрягающий бетонов/ С.Л. Литвер, Л.А. Малинина, В.А. Загурский, А.И. Панченко // Бетон и железобетон. – 1985. - № 5. – С. 15-16
5. Несветаев Г.В., Потапова Ю.И. Управление собственными деформациями цементного камня изменением состава и количества расширяющей добавки // Научное обозрение.2013.- №11. С. 46-49
6. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И. Влияние нитрилотриметилфосфоновой кислоты на процессы структурообразования напрягающих цементов // Наукоедение. 2015. №. 5 (7).С. 1-17. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN515.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
7. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И. Влияние условий твердения бетона с двухстадийным расширением на деформативно-прочностные показатели // Наукоедение. 2015. №. 5 (7).С. 1-15. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
8. Аронов Б.А., Кун П.П. и др. Прогнозирование характера и эффективности действия добавок-ускорителей и замедлителей твердения цемента.//Бетон и железобетон. 1993. - № 8. С. 13-15

9. Батраков В.Г. Комплексные модификаторы свойств бетона// Бетон и железобетон. 1977. - № 7. С. 4-6
10. Михайлов В.В., Литвер С.Л., Малинина Л.А., Панченко А.И. Режимы тепловой обработки бетона на напрягающем цементе// Бетон и железобетон. 1984. № 8. С. 21-22
11. Айрапетов Г.А., Панченко А.И., Несветаев Г.В. Морозостойкость напрягающих бетонов после пропаривания // Бетон и железобетон. - 1987. - № 9. - С. 23 - 24
12. Баженов Ю.М. Еще раз о высокопрочном бетоне с химическими добавками// Бетон и железобетон. – 1978. - № 10. – С. 18-20
13. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны: Издательство АСВ, 2006. - 368с.
14. Батраков В.Г., Файнер М.Ш. Ресурсосберегающий эффект модификаторов бетона// Бетон и железобетон. – 1991. - № 3. – С. 3-5
15. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Влияние некоторых гиперпластификаторов на пористость, влажностные деформации и морозостойкость цементного камня// Строительные материалы. – 2010. - № 1. – С. 44-46
16. Демьянова В.С, Калашников В.И., Ильина И.Е. Сравнительная оценка влияния отечественных и зарубежных суперпластификаторов на свойства цементных композиций // Строительные материалы №9, 2002
17. Дьяченко С.С., Коваленко О.Н. Добавка полифункционального действия в бетоны// Бетон и железобетон. – 1990. - № 10. – С. 20-22
18. Звездов А.И., Мартиросов Г.М. Бетоны с компенсированной усадкой / Бетон и железобетон. – 1995. - №3. – С. 2-4
19. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01. - Бетон и железобетон. – 1997. - № 5.С. 38-41
20. Каприелов С.С., Шеренфельд А.В., Батраков А.В., Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. 1996. - №6. С.6-10

References:

1. Ahverdov I.N. Osnovy fiziki betona. Moscow: Stroyizdat; 1981. 464 s. [Ahverdov I.N. Fundamentals of concrete physics. Moscow: Stroyizdat; 1981. 464 p. (in Russ.)]
2. Nesvetaev G.V. Betony: uchebnoe posobie. Rostov-na-Donu: Feniks; 2011. 381 s. [Nesvetaev G.V. Concrete: Tutorial. Rostov-on-Don: 2011; 381 p. (in Russ.)]
3. Pomazanov V.N. Issledovanie osobennostey formovaniya i svoystv gazobetona v zakrytykh perforirovannykh formakh: Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. Dnepropetrovsk; 1981. [Pomazanov V.N. Investigation of the features of molding and properties of autoclaved aerated concrete in closed perforated forms: Published summary of Candidate of Technical Sciences thesis. Dnepropetrovsk; 1981. (in Russ.)]
4. Litver S.L., Malinina L.A., Zagurskiy V.A., Panchenko A.I. Sootnoshenie samonapryazheniya i svobodnogo rasshireniya napryagayushchikh betonov. Beton i zhelezobeton. 1985; 5:15-16. [Litver S.L., Malinina L.A., Zagurskiy V.A., Panchenko A.I. The ratio of self-stress and free expansion of tensile concrete. Beton i zhelezobeton. 1985; 5:15-16. (in Russ.)]
5. Nesvetaev G.V., Potapova Yu.I. Upravlenie sobstvennymi deformatsiyami tsementnogo kamnya izmeneniem sostava i kolichestva rasshiryayushchey dobavki. Nauchnoe obozrenie. 2013; 11: 46-49. [Nesvetaev G.V., Potapova Yu.I. Managing own deformations of cement stone by changing the composition and quantity of the expanding additive. Science Review. 2013; 11:46-49. (in Russ.)]
6. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Vliyanie nitrilotrimetilfosfonovoy kisloty na protsessy strukturoobrazovaniya napryagayushchikh tsementov. Naukovedenie. 2015; 5(7):1-17. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN515.pdf>, svobodnyy. [Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Influence of nitrilotrimethylphosphonic acid on the processes of structure formation of stressed cements. Scientific open access journal «Naukovedenie». 2015; 5(7):1-17. Free access: <http://naukovedenie.ru/PDF/130TVN515.pdf>. (in Russ.)]

7. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Vliyanie usloviy tverdeniya betona s dvukhstadiynym rashireniiem na deformativno-prochnostnye pokazateli. *Naukovedenie*. 2015; (7):1-15. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>, svobodnyy. [Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. Effect of hardening conditions of concrete with two-stage expansion on deformation-strength parameters. *Naukovedenie*. 2015; (7):1-15. Free access: <http://naukovedenie.ru/PDF/129TVN515.pdf>. (in Russ.)]
8. Aronov B.A., Kun P.P. i dr. Prognozirovaniye kharaktera i effektivnosti deystviya dobavok-uskoriteley i zamedliteley tverdeniya tsementa. *Beton i zhelezobeton*. 1993; (8):13-15. [Aronov B.A., Kun P.P. et al. Forecasting the nature and effectiveness of the action of additives - accelerators and retarders of cement hardening. *Beton i zhelezobeton*. 1993; (8):13-15. (in Russ.)]
9. Batrakov V.G. Kompleksnyye modifikatory svoystv betona . *Beton i zhelezobeton*. 1977; 7:4-6. [Batrakov V.G. Complex modifiers of concrete properties. *Beton i zhelezobeton*. 1977; 7:4-6. (in Russ.)]
10. Mikhaylov V.V., Litver S.L., Malinina L.A., Panchenko A.I. Rezhimy teplovoy obrabotki betona na napryagayushchem tsemente. *Beton i zhelezobeton*. 1984; 8:21-22. [Mikhaylov V.V., Litver S.L., Malinina L.A., Panchenko A.I. Modes of heat treatment of concrete on prestressing cement. *Beton i zhelezobeton*. 1984; 8:21-22. (in Russ.)]
11. Ayrapetov G.A., Panchenko A.I., Nesvetaev G.V. Morozostoykost' napryagayushchikh betonov posle proparivaniya. *Beton i zhelezobeton*. 1987; 9:23-24. [Ayrapetov G.A., Panchenko A.I., Nesvetaev G.V. Frost resistance of prestressed concretes after steaming. *Beton i zhelezobeton*. 1987; 9:23-24. (in Russ.)]
12. Bazhenov Yu.M. Eshche raz o vysokoprochnom betone s khimicheskimi dobavkami. *Beton i zhelezobeton*. 1978; 10:18-20. [Bazhenov Yu.M. Once again about high-strength concrete with chemical additives. *Beton i zhelezobeton*. 1978; 10:18-20. (in Russ.)]
13. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modifitsirovannyye vysokokachestvennyye betony. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2006. 368 s. [Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concretes. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2006. 368 p. (in Russ.)]
14. Batrakov V.G., Fayner M.Sh. Resursosberegayushchiy effekt modifikatorov betona. *Beton i zhelezobeton*. 1991; 3:3-5. [Batrakov V.G., Fayner M.Sh. Resource-saving effect of concrete modifiers. *Beton i zhelezobeton*. 1991; 3:3-5. (in Russ.)]
15. Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Vliyanie nekotorykh giperplastifikatorov na poristost', vlazhnostnyye deformatsii i morozostoykost' tsementnogo kamnya. *Stroitel'nyye materialy*. 2010; 1:44-46. [Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Influence of some hyperplasticisers on porosity, humidity deformation and frost resistance of cement stone. *Stroitel'nyye materialy*. 2010; 1:44-46. (in Russ.)]
16. Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I., Il'ina I.E. Sravnitel'naya otsenka vliyaniya otechestvennykh i zarubezhnykh superplastifikatorov na svoystva tsementnykh kompozitsiy. *Stroitel'nyye materialy*. 2002; 9:4-6. [Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I., Il'ina I.E. Comparative evaluation of the influence of domestic and foreign superplasticisers on the properties of cement compositions. *Stroitel'nyye materialy*. 2002; 9:4-6. (in Russ.)]
17. D'yachenko S.S., Kovalenko O.N. Dobavka polifunktional'nogo deystviya v betony. *Beton i zhelezobeton*. 1990; 10:20-22. [D'yachenko S.S., Kovalenko O.N. Additives of polyfunctional action for concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1990; 10:20-22. (in Russ.)]
18. Zvezdov A.I., Martirosov G.M. Betony s kompensirovannoy usadkoy. *Beton i zhelezobeton*. 1995; 3:2-4. [Zvezdov A.I., Martirosov G.M. Concretes with compensated shrinkage. *Beton i zhelezobeton*. 1995; 3:2-4. (in Russ.)]
19. Kaprielov S.S., Sheynfel'd A.V., Batrakov V.G. Kompleksnyy modifikator betona marki MB-01. *Beton i zhelezobeton*. 1997; 5:38-41. [Kaprielov S.S., Sheynfel'd A.V., Batrakov V.G. MB-01 concrete complex modifier. *Beton i zhelezobeton*. 1997; 5:38-41. (in Russ.)]
20. Kaprielov S.S., Sherenfel'd A.V., Batrakov A.V. Modifitsirovannyye betony novogo pokoleniya.

ya: real'nost' i perspektiva. Beton i zhelezobeton. 1996; 6:6-10. [Kaprielov S.S., Sherenfel'd A.V., Batrakov A.V. Modified concrete of a new generation: reality and perspective. 1996; 6:6-10. (in Russ.)]

Сведения об авторах.

Жильникова Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства, академия строительства и архитектуры.

Корянова Юлия Игоревна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии строительного производства, академия строительства и архитектуры.

Несветаев Григорий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства, академия строительства и архитектуры.

Information about the authors.

Tatjana N. Zhilnikova – Cand. Sc.(Technical), Associate Professor of Department technology of construction production, academy of civil engineering and architecture

Yulia I. Koryanova – Cand. Sc.(Technical), Department technology of construction production, academy of civil engineering and architecture

Grigory V. Nesvetaev – Dr. Sc.(Technical), Prof., Department of technology of construction production, academy of civil engineering and architecture.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 16.01.2017.

Received 16.01.2017.

Принята в печать 20.02.2017.

Accepted for publication 20.02.2017.

Для цитирования: Зайнулабидова Х.Р., Уздин А.М., Чиркст Т.М. Зависимость функции распределения коммерческого ущерба при возможных землетрясениях от класса сейсмостойкости сооружения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (1):162-172. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-162-172

For citation: Zajnulabidova H.R., Uzdin A.M., Chirkst T.M. Dependence of distribution function of commercial damages due to possible earthquakes on the class of seismic resistance of a building. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (1):162-172. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-162-172

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК: 699 841

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-162-172

ЗАВИСИМОСТЬ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ ОТ КЛАССА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЯ

Зайнулабидова Х.Р.¹, Уздин А.М.², Чиркст Т.М.³

¹Дагестанский государственный технический университет

367015, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70

^{2,3} Петербургский государственный университет путей сообщения Императора
Александра I

190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр. 9

e-mail: ¹hanzada1@mail.ru, ²uzd in@mail.ru, ³freze1978@yandex.ru

Резюме: Цель. Определить вероятность ущерба при землетрясениях различной интенсивности на примере реального проектируемого здания железнодорожного вокзала каркасной конструктивной схемы на основе функции плотности распределения ущерба. **Методы.** Неопределенность, которая в природе всегда существуют, делает неправомочным детерминистский подход к оценке сейсмической опасности территорий и, следовательно, сейсмического риска. В этом случае оценка сейсмического риска может осуществляться на вероятностной основе. Таким образом, риск всегда будет иметь место, но его необходимо свести к минимуму. Задача оптимизации затрат на усиление решается она основе функции плотности распределения ущерба при сейсмическом воздействии различной интенсивности при этом учитывается степень ответственности зданий. **Результаты.** Построены функции распределения ожидаемого ущерба для здания с железобетонным каркасом, расположенного в высокосейсмичном районе с повторяемостью 9-балльных сотрясений раз в 500 лет и 10 – балльных – раз в 5000 лет. Показано существенное влияние класса сейсмостойкости сооружения на вид функций распределения. Для сооружений с высоким классом сейсмостойкости снижается не только сейсмический риск, но и величина дисперсии ожидаемого ущерба. Из полученных графиков видно, что класс сейсмостойкости существенно сказывается на распределение ущербов. при вероятности 0,997 ожидаемый ущерб для не усиленного здания превзойдет 43%, а усиленного – всего 10%. Из графиков также следует, что дисперсия величины ущерба падает с ростом класса сейсмостойкости сооружения. Этот факт является дополнительным стимулом инвестирования в антисейсмическое усиление зданий. **Вывод.** Исследование показывает целесообразность работы с функцией плотности распределения ущербов при управлении сейсмическим риском. В этом случае открывается возможность усиления здания с заданной вероятностью превышения ущербом приемлемого уровня за время эксплуатации объекта. При этом учитывается не только сейсмический риск (математическое ожидание ущерба), но и

дисперсия ожидаемой величины ущерба. С ростом класса сейсмостойкости сооружения удаётся снизить, как риск, так и дисперсию возможных потерь.

Ключевые слова: землетрясения, ущерб, сейсмический риск, дисперсия ущерба, функция плотности распределения ущерба, класс сейсмостойкости

TECHICAL SCIENCE BUILDING AND ARCHITECTURE

DEPENDENCE OF DISTRIBUTION FUNCTION OF COMMERCIAL DAMAGES DUE TO POSSIBLE EARTHQUAKES ON THE CLASS OF SEISMIC RESISTANCE OF A BUILDING

Hanzada R. Zajnulabidova¹, Alexander M. Uzdin², Tatiana M. Chirkst³

¹Dagestan State Technical University,

I. Shamil Ave., Makhachkala 70367015, Russia ,

^{2,3}Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,

9, Moskovsky Ave., Saint Petersburg 190031, Russia.

e-mail: ¹hanzada1@mail.ru, ²uzdin@mail.ru, ³freze1978@yandex.ru

Abstract. Objectives To determine the damage probability of earthquakes of different intensities on the example of a real projected railway station building having a framework design scheme based on the density function of damage distribution. **Methods** Uncertainty, always existing in nature, invalidates a deterministic approach to the assessment of territorial seismic hazards and, consequently, seismic risk. In this case, seismic risk assessment can be carried out on a probabilistic basis. Thus, the risk will always be there, but it must be minimised. The task of optimising the reinforcement costs is solved by using the density distribution function for seismic effects of varying intensity, taking into account the degree of building responsibility. **Results** The distribution functions of the expected damage for a building with a reinforced concrete frame located in a highly seismic region with a repetition of 9-point shocks every 500 years and 10-point shocks once every 5000 years are constructed. A significant effect of the seismic resistance class of a building on the form of the distribution functions is shown. For structures of a high seismic resistance class, not only is the seismic risk reduced, but also the variance of the expected damage. From the graphs obtained, it can be seen that the seismic resistance class significantly affects the damage distribution. At a probability of 0.997, the expected damage for a non-reinforced building will exceed 43%; for a reinforced one it is only 10%. It also follows from the graphs that the variance of the damage magnitude decreases with the growth of the seismic resistance class of the building. This fact is an additional incentive for investing in anti-seismic reinforcement of buildings. **Conclusion** The study shows the expediency of working with the damage density distribution function when managing seismic risk. In this case, it becomes possible to strengthen the building with a specified probability of damage exceeding the acceptable level during the operation of the construction. This takes into account not only seismic risk (mathematical expectation of damage), but also the dispersion of the expected magnitude of the damage. With the growth of seismic resistance class of the construction, it is possible to reduce both the risk and dispersion of possible losses.

Keywords: earthquakes, damage, seismic risk, dispersion of damage, density distribution function, seismic resistance class

Введение. При проектировании зданий и сооружений в сейсмически опасном районе приходится решать типичную оптимизационную задачу - обеспечить надёжность сооружения при минимальных затратах. Часто при выборе оптимального решения возникают трудности, связанные с тем, что условия работы системы неоднозначны. В этом случае необходимо оценить всё множество решений. Как правило, большинство реальных инженерных задач

содержат в том или ином виде неопределенность. Однако из-за концептуальных и методических трудностей в настоящее время не существует единого методологического подхода к решению таких задач [8-14]. При использовании этих методов следует иметь в виду, что все они носят рекомендательный характер, и выбор окончательного решения всегда остается за человеком.

С точки зрения случайности необходимо учесть тип неопределенности. По этому признаку можно различить вероятностную неопределенность, когда неизвестные факторы статистически устойчивы (случайные функции, события и т.д.). При этом должны быть известны или определены при постановке задачи все необходимые статистические характеристики (законы распределения и их параметры). Другим крайним случаем, может быть, неопределенность не вероятностного вида, при которой никаких предположений о стохастической устойчивости не существует. Также, можно говорить о промежуточном типе неопределенности, когда решение принимается на основании каких-либо гипотез о законах распределения случайных величин. При этом необходимо иметь в виду опасность несовпадения результатов с реальными условиями.

Эту опасность несовпадения можно компенсировать с помощью коэффициентов риска.

Методика оценка экономической эффективности сейсмостойкого строительства на основе теории риска была разработана лауреатом нобелевской премии, академиком Л.В.Канторовичем и его учениками [1,2]. При этом ими введено понятие «сейсмический риск» R , который рассматривался, как математическое ожидание ущерба D . В [2] приведены расчеты сейсмического риска. Однако для оценки экономической эффективности инвестиций величины риска недостаточно. К числу важнейших характеристик, определяющих принятие решений об антисейсмическом усилении, должен относиться и возможный разброс (дисперсия) ожидаемого ущерба, а в конечном итоге необходимо знать функцию плотности распределения ущерба (ф.п.р.). Указанные вопросы только недавно начали анализироваться в литературе [3,4]. В [3] получены общие формулы для оценки дисперсии ущерба от возможных неблагоприятных воздействий, а в [4] приведена методика построения функций плотности распределения ущерба при редких событиях. Основным при этом является необходимость учета того, что само опасное событие может не произойти за срок службы сооружения.

Постановка задачи. Для описания случайного характера появления опасных событий, а также связанных с ними ущербов согласно [4] вводится δ -корректированное распределение, функция плотности распределения которого приведена на рис.1. Ф.п.р. $p_R(x)$ является суммой обычной ф.п.р. и δ -функции, площадь под которой равна вероятности того, что событие не произойдет вовсе. При этом

$$\int_{-\infty}^{\infty} p_R(x) dx = 1 \quad (1)$$

Аналитически функцию p_R плотности распределения величины риска R можно представить как сумму:

$$p_R = L \cdot p_D + \delta(x) \cdot (1 - L) \quad (2)$$

где p_D – ф.п.р. ущерба D при условии, что опасное событие произошло;

L – вероятность возникновения опасного события.

Далее будем называть p_D функцией плотности распределения ущерба от произошедшего события, а p_R – функцией плотности распределения возможного ущерба.

Математическое ожидание такого процесса определяется формулой:

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p_R(x) dx = \bar{D} \cdot L \quad (3)$$

где \bar{D} – математическое ожидание ущерба в том случае, если событие произойдет, т.е., риск R есть математическое ожидание возможного ущерба [1,2, 14].

Дисперсия δ -скорректированного распределения для возможного ущерба:

$$\sigma_R^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{D}L)^2 q(x) dx = L \cdot \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{D}L)^2 q_0(x) dx = L \cdot [\sigma_D^2 + \bar{D}^2(1-L)^2], \quad (4)$$

где σ_D – среднее квадратическое отклонение для ущерба от произошедшего события.

Если объект подвержен группе статистически независимых событий с вероятностями возникновения L_i , площадь под δ -функцией составит величину

$$S = \prod_{i=1}^n (1 - L_i) \approx 1 - \sum_{i=1}^n L_i, \quad (5)$$

где n – число событий.

Математическое ожидание возможного ущерба в этом случае будет равно сумме ожидаемых рисков, т.е.

$$R = \sum_{i=1}^n \bar{D}_i L_i, \quad (6)$$

а дисперсия величины возможного ущерба – сумме дисперсий:

$$\sigma_R^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^n L_i \cdot [\sigma_{D_i}^2 + \bar{D}_i^2(1 - L_i)^2] \quad (7)$$

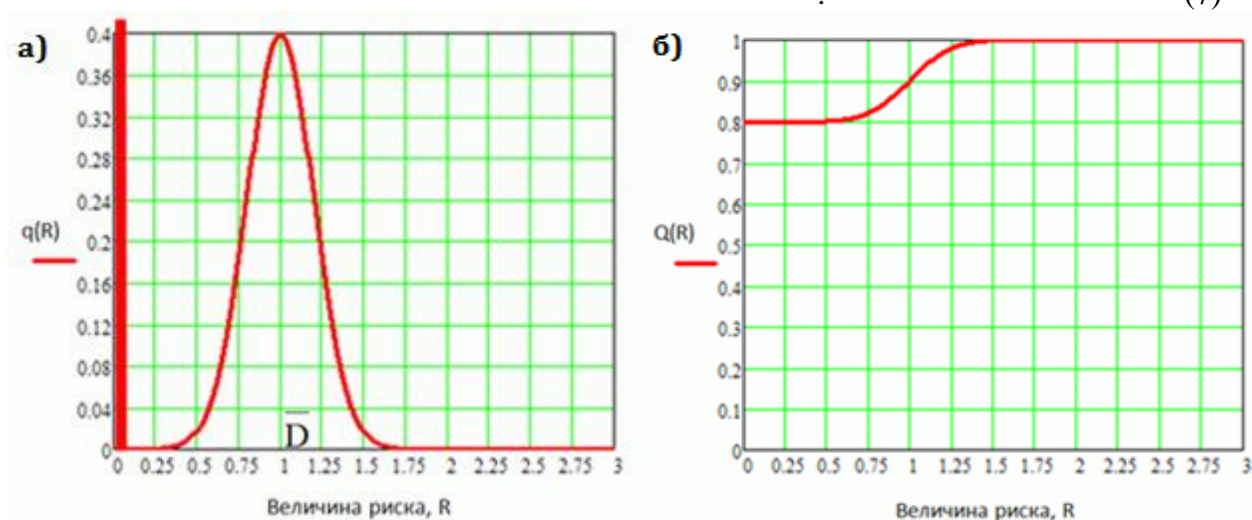


Рис.1. Характер распределения величины возможного ущерба
а) – функция плотности распределения, б) – функция распределения
Fig.1. Characterization of the magnitude of possible damage
a) is the distribution density function, b) is the distribution function

Для двух процессов с ф.п.р. возможных ущербов p и q функцию плотности распределения их суммы $f(x)$ можно записать в развернутом виде следующим образом:

$$\begin{aligned} f(x) &= (1 - L_p)(1 - L_q) \cdot \delta(x) + L_p(1 - L_q) \cdot p_0(x) + L_q(1 - L_p) \cdot q_0(x) + L_p L_q \cdot \int_0^x p_0(z) q_0(x - z) dz \approx \\ &\approx (1 - L_p - L_q) \cdot \delta(x) + L_p \cdot p_0(x) + L_q \cdot q_0(x) \end{aligned} \quad (8)$$

где p_0 и q_0 – соответствующие ф.п.р. ущербов происшедших событий.

Методы исследования. Ниже рассмотрено применение изложенной теории для реального объекта - проектируемого здания железнодорожного вокзала на Байкало-Амурской магистрали располагается в поселке Таксимо (республика Бурятия, Муйский район). В месте расположения проектируемого здания залегают грунты II категории по сейсмическим свойствам.

По данным приложения А [5, 12] для данного населенного пункта сейсмическая интенсивность (I) в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и трех степеней

сейсмической опасности - А (10%), В (5%), С (1%) в течение 50 лет в соответствии с картами общего сейсмического районирования ОСР-97 [6] составляет: $I_A = 9$; $I_B = 9$; $I_C = 10$.

Средняя повторяемость землетрясений (T_{eq}), равна соответственно раз в 500, раз в 1000 и раз в 5000 лет.

Для описания повторяемости землетрясений в сейсмологии обычно используется экспоненциальная связь между силой и логарифмом повторяемости сотрясений заданного балла [7, 15]:

$$\ln[T_{eq}(I)] = a \cdot I + b \quad (9)$$

где a и b – константы, зависящие от сейсмологической опасности площадки строительства.

По формуле (8) были определены значения для заданной сейсмической интенсивности $\ln [T_{eq}(I_B)] \approx 2,849$; $\ln [T_{eq}(I_C)] \approx 3,699$ и построен соответствующий график зависимости логарифма повторяемости от силы сейсмического воздействия (рис.2).

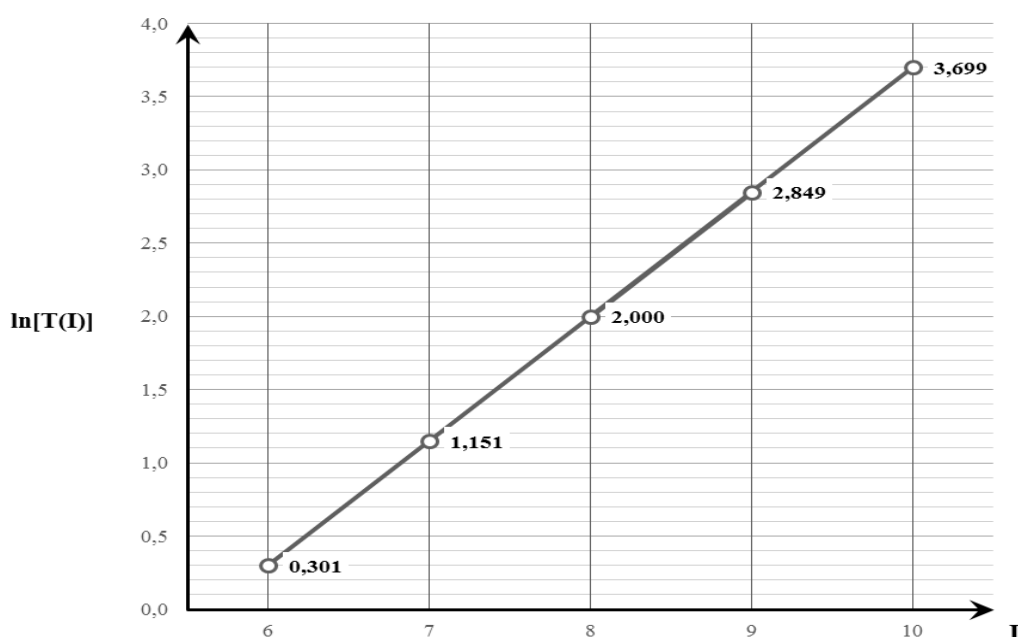


Рис.2. Зависимость $\ln(T_{eq})$ от силы землетрясения I для ситуационной сейсмичности в пос.Таксимо (респ. Бурятия) при $I_A=9$, $I_B=9$ и $I_C=10$

Fig.2. Dependence of $\ln(T_{eq})$ on the strength of earthquake I for situational seismicity in Taksimo settlement (Rep. Of Buryatia) at $I_A = 9$, $I_B = 9$ and $I_C = 10$

Значения математического ожидания величины ущерба при условии, что землетрясение произошло $\bar{D}_i(K_s, I)$ взяты из соответствующей платежной матрицы, приведенной в [10, 16] для зданий с железобетонным каркасом.

Расчеты сведены в табличную форму. В таблице 1 ущерб задан в процентах от стоимости сооружения.

Все статистические характеристики измеряются в долях от стоимости сооружения. При этом ущерб может меняться в пределах от 0 (ничего не повреждено) до 1 (полное разрушение). В соответствии с [4, 17] в качестве ф.п.р. ущерба при условии, что землетрясение произошло принято β -распределение. Функция плотности вероятности β -распределения имеет вид [11]:

$$p(x) = \frac{x^{\nu} \cdot (1-x)^{\mu}}{B(\nu, \mu)} \quad (10)$$

где μ и ν - параметры распределения, $B(\nu, \mu)$ - β -функция.

Если известны математическое ожидание \bar{D} и дисперсия σ^2 случайной величины, то параметры распределения могут быть вычислены по формулам:

$$v = \frac{1 - \bar{D} - V \cdot \bar{D}}{V}; \quad \mu = \frac{v}{D} - v \quad (11)$$

Бета-функция выражается при вычислениях через гамма-функцию [11]:

$$B(v, \mu) = \frac{\Gamma(v) \cdot \Gamma(\mu)}{\Gamma(v + \mu)}, \quad (12)$$

Таблица 1. Оценка математического ожидания ущерба для каркасного здания в районе с ситуационной сейсмичностью $I_A=9, I_B=9$ и $I_C=10$ для классов сейсмостойкости K_s 6 и 9
Table 1. Assessment of the mathematical expectation of damage for a frame building in an area with situational seismicity $I_A = 9, I_B = 9$ and $I_C = 10$ for seismic classes K_s 6 and 9

Сила землетрясения I		5	6	7	8	9	10	РИСК $R(K_s) = D(K_s, I) L_i$
Средняя повторяемость землетрясения T_{eq}		5	20	50	200	500	5000	
Сотрясаемость $L = 1/T_{eq}$		0,2	0,05	0,02	0,005	0,002	0,0002	
Значения возможного о ущерба [10]	$\bar{D}_i(K_s = 6, I)$	0,03	2,37	6,6	27,4	61,8	121	
	$\bar{D}_i(K_s = 9, I)$	0	0,12	1,4	5,8	17	47,08	
$\bar{D}_i(K_s = 6, I) \cdot L_i$		0,006	0,1185	0,132	0,137	0,1236	0,0242	
$\bar{D}_i(K_s = 9, I) \cdot L_i$		0	0,006	0,028	0,029	0,034	0,0094	0,0154

Все необходимые расчетные данные для построения графиков кривых распределения при классах усиления K_s 6 и 9 сведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные характеристики ф.п.р. ущерба при землетрясениях различной силы
Table 2. Estimated characteristics of fps. damage caused by earthquakes of various strengths

		R	σ	Disp = σ^2
$K_s = 6$				
I (баллы)	7	0,066	0,0231	0,00053
	8	0,274	0,0685	0,00469
	9	0,618	0,1545	0,02387
	10	0,99	0,2475	0,06126
$K_s = 9$				
I (баллы)	7	0,014	0,0084	0,00007
	8	0,058	0,0232	0,00054
	9	0,17	0,0425	0,00181
	10	0,4708	0,1177	0,01385

Соответствующие ф.п.р. ущербов при условии, что землетрясение произошло, показаны на рис. 3-5

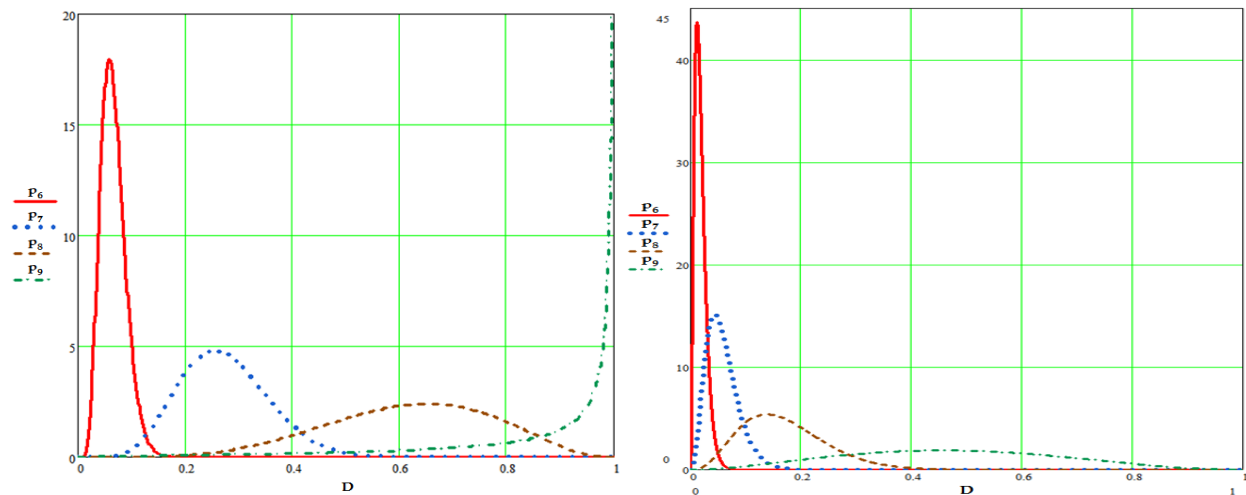


Рис.3. Функция плотности распределения ущерба D при классах сейсмостойкости $K_s = 6$ (слева) и $K_s = 9$ (справа) от землетрясений силой 6 баллов (сплошная кривая), 8 баллов (точечная кривая), 9 баллов (пунктир) и 10 баллов (штрих-пунктир) p_I – вероятность ущерба от землетрясения силой I баллов

Fig.3. Function of damage distribution density D for seismic resistance classes $K_s = 6$ (left) and $K_s = 9$ (right) from earthquakes of 6 points (solid curve), 8 points (point curve), 9 points (dotted line) and 10 points (bar-dotted line) p_I - probability of damage from an earthquake with the strength of I points

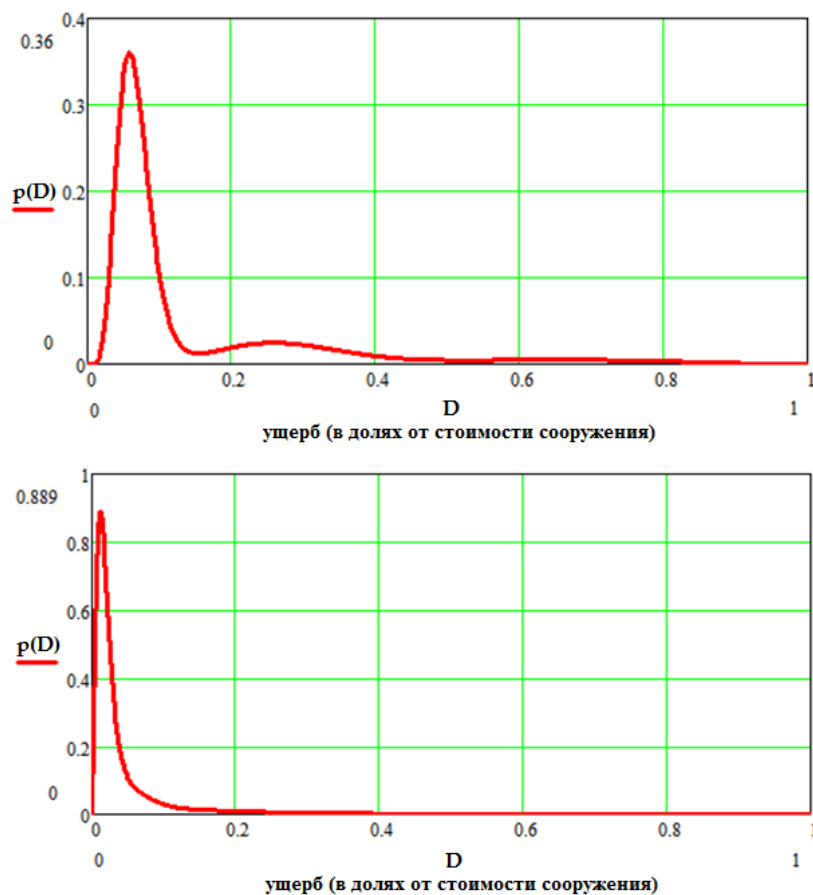


Рис.4. Функция плотности распределения рисков для классов сейсмостойкости $K_s = 6$ (верхний) и $K_s = 9$ (нижний) δ -функция в начале координат не показана
Fig.4. The function of the density of risk distribution for seismic resistance classes $K_s = 6$ (upper) and $K_s = 9$ (lower) δ -function at the origin is not shown

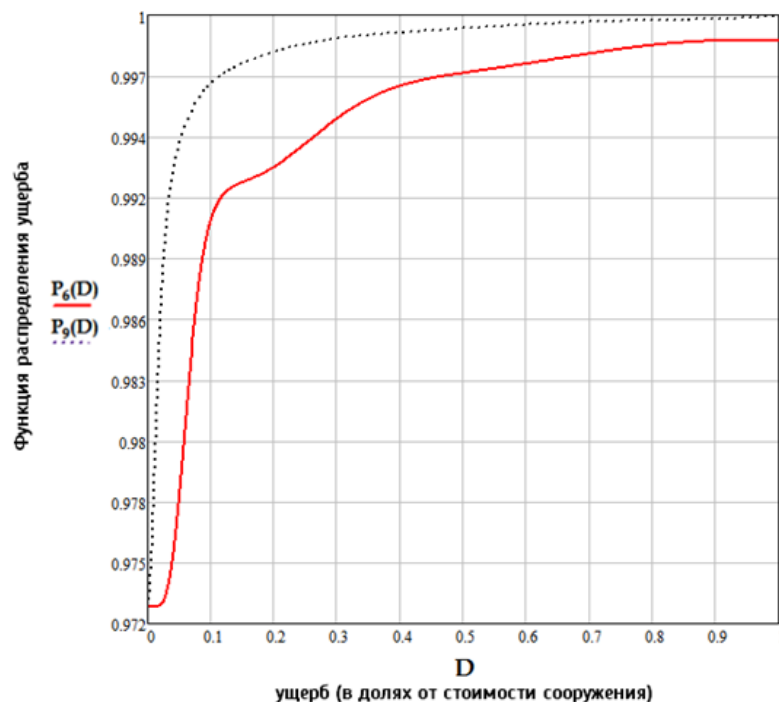


Рис. 5. Функция распределения ущерба для классов сейсмостойкости $K_s = 6$ (сплошная линия) и $K_s = 9$ (точечная линия)
Fig. 5. The function of damage distribution for seismic resistance classes $K_s = 6$ (solid line) and $K_s = 9$ (dotted line)

С приведенными данными по формуле (8) были построены ф.п.р. ожидаемого ущерба для рассматриваемого зданий на рассматриваемой площадке. Соответствующие ф.п.р. для $K_s=6$ и $K_s=9$ показаны на рис. 4 (дельта функция в начале координат не показана).

Обсуждение результатов. Из приведенных графиков видно, что класс сейсмостойкости существенно сказывается на распределение ущербов. С ростом величины K_s ф.п.р. сдвигаются к 0, а вероятность полного разрушения становится малой (рис.3,4). Если обратиться к рис.5, то можно отметить, что при вероятности 0.997 ожидаемый ущерб для не усиленного здания превзойдет 43%, а усиленного – всего 10%. Из графиков также следует, что дисперсия величины ущерба падает с ростом класса сейсмостойкости сооружения. Этот факт является дополнительным стимулом инвестирования в антисейсмическое усиление зданий.

Вывод. Выполненное исследование показывает целесообразность работы с ф.п.р. ущербов при управлении сейсмическим риском. В этом случае открывается возможность усиления здания с заданной вероятностью превышения ущербом приемлемого уровня за время эксплуатации объекта. При этом учитывается не только сейсмический риск (математическое ожидание ущерба), но и дисперсия ожидаемой величины ущерба. С ростом класса сейсмостойкости сооружения удастся снизить, как риск, так и дисперсию возможных потерь.

Библиографический список:

1. Канторович Л.В., Кейлис-Борок В.И., Молчан Г.И. Сейсмический риск и принципы сейсмического районирования. // Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмических данных. Вычисл. Сейсмология. Вып. 6. М.: Наука, 1974, с. 3-20
2. Кейлис-Борок В.И., Нерсесов И.А., Яглом А.М. Методы оценки экономического эффекта сейсмостойкого строительства.// М., изд. АН СССР.-1962.-с.46.

3. Богданова М.А., Огнева С.С., Уздин А.М., Чернов В.П. Оценка доверительных границ для величины риска. Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2013, №3, с.46-49
4. Богданова М.Ю., Сигидов В.В., Уздин А.М., Чернов В.П. Статистические характеристики ущерба в теории риска. Современная экономика: проблемы и решения. 2016. №5. С. 22-30.
5. СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*
6. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской федерации. Сейсмостойкое строительство. 1998. №4. С.30-34.
7. Сейсмическая сотрясаемость территории СССР. // Под ред. Ю.В.Ризниченко. М., Наука, 1979. 192 с.
8. Полтавцев С.И., Айзенберг Я.М., Г.Л.Кофф, Мелентьев А.М., Уломов В.И. Сейсмостойкое районирование и сейсмостойкое строительство (методы, практика, перспектива), М. ГУП ЦПП, 199., 259 с.
9. Богданова М.А., Сергин К.С., Сахаров О.А., Сигидов В.В. Рационализация процесса инвестирования в сейсмостойкое строительство// Экономическое возрождение России. – СПб: Издание АНО «Институт проблем экономического возрождения». 2011. №1(27). С. 132-138.
10. Богданова М.А., Сигидов В.В. Функции уязвимости для оценки сейсмического риска. Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2011. №6. С.54-57.
11. Справочник по специальным функциям с формами графиками и математическими таблицами. Ред. Абрамович М., Стиган И., М.- Наука. 1979. 830 с.
12. Свод правил СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах». Актуализированная редакция СНиП II -7-81* «Строительство в сейсмических районах». – М.: Минрегион России, 2010. 83 с
13. Богданова М.Ю., Рохманова М., Уздин А.М., Чернов В.П. Оценка ценового коридора для страхования редких событий. Финансы и бизнес, 4-14, №3. 2014. С.61-70.
14. Bommer J., Pinho R., Spence R. Earthquake loss estimation models: time to open the black boxes?//First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Geneva, September, 2006. P. 834.
15. Mehrdad Mahdyiar. Incorporating uncertainties in earthquake loss analysis of portfolios: southern California scenario//12th European Conference on Earthquake Engineering. -P. 455.
16. Durukal E., Franco G., Deodatis G., Erdik M., Hancilar U., Smyth A. Probabilistic Vulnerability Analysis: an Application to a Typical School Building in Istanbul // First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC), Geneva, Switzerland, 3—8 September 2006. Paper N 889.
17. Stojanovski P., Dong W., Wagh S., Mortgat C., Shah H.C. Double Trigger Earthquake Micro-Insurance Program for Rural China // Viability and Sustainability Study: Fourteen European Conference on Earthquake Engineering. Macedonia, 2010

References:

1. Kantorovich L.V., Keylis-Borok V.I., Molchan G.I. Seismicheskiy risk i printsipy seysmicheskogo rayonirovaniya. Vychislitel'nye i statisticheskie metody interpretatsii seysmicheskikh dannikh. Vychisl. Seysmologiya. Vyp. 6. Moscow: Nauka; 1974. S. 3-20. [Kantorovich L.V., Keylis-Borok V.I., Molchan G.I. Seismic risk and seismic zoning principles. Vychislitel'nye i statisticheskie metody interpretatsii seysmicheskikh dannikh. Vychisl. Seysmologiya. Vyp. 6. Moscow: Nauka; 1974. P. 3-20. (in Russ.)]
2. Keylis-Borok V.I., Nersesov I.A., Yaglom A.M. Metody otsenki ekonomicheskogo effekta seysmostoykogo stroitel'stva. Moscow: izd. AN SSSR; 1962. 46 s. [Keylis-Borok V.I., Nerse-

- sov I.A., Yaglom A.M. Methods for assessing the economic effect of seismic resistant construction. Moscow: AN SSSR; 1962. 46 p. (in Russ.)]
3. Bogdanova M.A., Ogneva S.S., Uzdin A.M., Chernov V.P. Otsenka doveritel'nykh granits dlya velichiny riska. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2013; 3:46-49. [Bogdanova M.A., Ogneva S.S., Uzdin A.M., Chernov V.P. Evaluation of confidence limits of the risk magnitude. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2013; 3:46-49. (in Russ.)]
 4. Bogdanova M.Yu., Sigidov V.V., Uzdin A.M., Chernov V.P. Statisticheskie kharakteristiki ushcherba v teorii riska. Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya. 2016; 5:22-30. [Bogdanova M.Yu., Sigidov V.V., Uzdin A.M., Chernov V.P. Statistical characteristics of damage in risk theory. Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya. 2016; 5:22-30. (in Russ.)]
 5. SP 14.13330.2011 Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-7-81*. [SP 14.13330.2011 SP 14.13330.2011 Construction in seismic regions. Updated version of SNiP II-7-81*. (in Russ.)]
 6. Ulomov V.I., Shumilina L.S. Komplekt novykh kart obshchego seysmicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy federatsii. Seysmostoykoe stroitel'stvo. 1998; 4:30-34. [Ulomov V.I., Shumilina L.S. A set of new maps of the general seismic zoning of the Russian Federation territory. Earthquake engineering. Constructions safety. 1998; 4:30-34. (in Russ.)]
 7. Seysmicheskaya sotryasaemost' territorii SSSR. Pod red. Riznichenko Yu.V. Moscow: Nauka; 1979. 192 s. [Seismic shaking of the USSR territory. Riznichenko Yu.V. (Ed). Moscow: Nauka; 1979. 192 s. (in Russ.)]
 8. Poltavtsev S.I., Ayzenberg Ya.M., G.L.Koff, Melent'ev A.M., Ulomov V.I. Seysmostoykoe rayonirovanie i seysmostoykoe stroitel'stvo (metody, praktika, perspektiva). Moscow: GUP TsPP; 1998. 259 s. [Poltavtsev S.I., Ayzenberg Ya.M., G.L.Koff, Melent'ev A.M., Ulomov V.I. Seismic resistant zoning and seismic resistant construction (methods, practice, perspective). Moscow: GUP TsPP; 1998. 259 p. (in Russ.)]
 9. Bogdanova M.A., Sergin K.S., Sakharov O.A., Sigidov V.V. Ratsionalizatsiya protsessa investirovaniya v seysmostoykoe stroitel'stvo. Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii. 2011; 1(27):132-138. [Bogdanova M.A., Sergin K.S., Sakharov O.A., Sigidov V.V. Rationalisation of the investing process in earthquake-proof construction. Economic Revival of Russia. 2011; 1(27):132-138. (in Russ.)]
 10. Bogdanova M.A., Sigidov V.V. Funktsii uyazvimosti dlya otsenki seysmicheskogo riska. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2011; 6:54-57. [Bogdanova M.A., Sigidov V.V. Vulnerability functions for seismic risk assessment. Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost' sooruzheniy. 2011; 6:54-57. (in Russ.)]
 11. Spravochnik po spetsial'nym funktsiyam s formami, grafikami i matematicheskimi tablitsami. Pod. red. Abramovich M., Stigan I. Moscow: Nauka; 1979. 830 s. [Reference book on special functions with forms, graphs and mathematical tables. Abramovich M., Stigan I. (Eds). Moscow: Nauka; 1979. 830 p. (in Russ.)]
 12. Svod pravil SP 14.13330.2011 "Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh". Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II -7-81* "Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh". Moscow: Minregion Rossii; 2010. 83 s. [Code of Regulations SP 14.13330.2011 "Construction in seismic regions." The updated version of SNiP II-7-81 * "Construction in seismic regions". Moscow: Minregion Rossii; 2010. 83 s. (in Russ.)]
 13. Bogdanova M.Yu., Rokhmanova M., Uzdin A.M., Chernov V.P. Otsenka tsenovogo koridora dlya strakhovaniya redkikh sobytii. Finansy i biznes. 2014; 4-14(3):61-70. [Bogdanova M.Yu., Rokhmanova M., Uzdin A.M., Chernov V.P. Estimation of the price corridor for insurance of rare events. Finansy i biznes. 2014; 4-14(3):61-70. (in Russ.)]
 14. Bommer J., Pinho R., Spence R. Earthquake loss estimation models: time to open the black boxes? First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Geneva; 2006. P. 834.

15. Mehrdad M. Incorporating uncertainties in earthquake loss analysis of portfolios: southern California scenario. 12th European Conference on Earthquake Engineering. London; 2002. P. 455.
16. Durukal E., Franco G., Deodatis G., Erdik M., Hancilar U., Smyth A. Probabilistic vulnerability analysis: an application to a typical school building in Istanbul. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC). Geneva; 2006. Paper N 889.
17. Stojanovski P., Dong W., Wagh S., Mortgat C., Shah H.C. Double trigger earthquake micro-insurance program for rural china: viability and sustainability study. Fourteen European Conference on Earthquake Engineering. Ohrid; 2010.

Сведения об авторах.

Зайнулабидова Ханзада Рауповна – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры.

Уздин Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики.

Чиркст Татьяна Максимовна – магистр, инженер

Information about the authors.

Hanzada R. Zajnulabidova – Cand. Sc.(Technical).

Alexander M. Uzdin. - Dr. Sc.(Technical).

Tatiana M. Chirkst – master, engineer

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 19.01.2017.

Received 19.01.2017.

Принята в печать 3.02.2017.

Accepted for publication 3.02.2017.

Для цитирования: Володин В.М., Володина Н.В., Питайкина И.А. Влияние процессов трудовой миграции на качество человеческого капитала РФ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):173-185. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-173-185

For citation: Volodin V.M., Volodina N.V., Pitaikina I.A. Influence of labour migration processes on the quality of human capital of the russian federation. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (1): 173-185. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-173-185

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-173-185

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРУДОВОЙ МИГРАЦИИ НА КАЧЕСТВО ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА РФ

Володин В.М.¹, Володина Н.В.², Питайкина И.А.³

¹⁻³ Пензенский государственный университет,

440026, г. Пенза, ул. Красная, 40,

e-mail: ¹volodin7@mail.ru, ²nadinvv@mail.ru,

³persey_@bk.ru

Резюме: *Цель.* Целью исследования является выявление воздействия процессов трудовой миграции на качество человеческого капитала. **Методы.** При изыскании методов и форм воздействия капитала миграции на формирование нового качества человеческого капитала применен системный подход. При выявлении дисбаланса в распределении трудовых ресурсов по регионам Российской Федерации и оценки миграционных процессов применялись методы анализа и синтеза, статистического, компаративного методов. В целях наглядного изображения выявленных экономических и статистических зависимостей использован метод графических изображений. **Результат.** Выявлена сущность миграционных процессов в эпоху экономической турбулентности. Определено, что основная доля трудовых мигрантов в общей структуре миграционных потоков в Российскую Федерацию – это трудовые мигранты из стран СНГ; установлены основные причины такого положения. Выделены факторы высокой миграционной привлекательности России, определены основные задачи управления миграционными процессами. В числе основных задач управления миграционными процессами: обеспечение национальной безопасности Российской Федерации; сохранение, поддержание и улучшение комфортности, благополучия и качества жизни населения Российской Федерации; решение задач стабильности и роста постоянного населения Российской Федерации; создание условий по полному удовлетворению потребности экономики Российской Федерации в качественных трудовых ресурсах, привлечению трудовых мигрантов из высокоразвитых стран; формирование условий для перехода к устойчивому развитию на основе внедрения достижений научно-технического прогресса и создании конкурентоспособных отраслей. **Вывод.** В работе предложены три сценария развития миграционных процессов в России: инерционный, реалистичский и оптимистический. Улучшения качества капитала миграции можно достичь посредством активизации процессов бизнес-миграции, что положительным образом скажется на качестве человеческого капитала в целом.

Ключевые слова: человеческий капитал, устойчивое развитие, трудовая миграция

ECONOMIC SCIENCE

INFLUENCE OF LABOUR MIGRATION PROCESSES ON THE QUALITY OF HUMAN CAPITAL OF THE RUSSIAN FEDERATION

Victor M. Volodin¹, Nadezhda V. Volodina², Inna A. Pitaikina³

¹⁻³Penza State University

40 Krasnaya Str. Penza 440026, Russia

e-mail: ¹7volodin7@mail.ru, ²nadinvvv@mail.ru,

³persey_@bk.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to identify the impact of labour migration processes on the quality of human capital. **Methods** For researching the methods and forms of migration capital's impact on the formation of a new quality of human capital, a systematic approach is applied. In order to identify the imbalance in the distribution of labour resources among the regions of the Russian Federation and to assess migration processes, analytical and synthetic as well as statistical and comparative methods were applied. In order to help to visualise the identified economic and statistical dependencies, graphic images are provided. **Results** The essence of migration processes in the era of economic turbulence is revealed. The main share of labour migrants in the overall structure of migratory flows to the Russian Federation are labour migrants from the CIS countries; the main reasons for this situation are established. The factors of Russia's high migration attractiveness are identified and the basic migratory process management tasks are defined. Among the main tasks of migration process management are: ensuring the national security of the Russian Federation; preservation, maintenance and improvement of comfort, well-being and quality of life of the Russian Federation population; solving the problems of stability and growth of the permanent population of the Russian Federation; creating conditions for the full satisfaction of the high-quality labour resource needs of the Russian economy, attracting labour migrants from highly developed countries; formation of conditions for the transition to sustainable development based on the introduction of scientific and technological progress and the creation of competitive industries. **Conclusion** The paper suggests three scenarios for the development of migration processes in Russia: inertial, realistic and optimistic. Improvements in the quality of migration capital can be achieved through the activation of business migration processes, which will positively affect the quality of human capital in general.

Keywords: human capital, sustainable development, labour migration

Введение. В условиях социально-экономических трансформаций современных государств на фоне протекающих в мировом хозяйстве процессов глобализации и стремлении стран-лидеров завершить переход к постиндустриальной стадии развития, существенно возрастают требования к качеству человеческого капитала как в развитых, так и в развивающихся странах. Характерно, что страны, обладающие более высоким качеством человеческого капитала и способностью его эффективного воспроизводства и потребления (использования), располагают большими возможностями по обеспечению уровня и качества жизни населения и приобретают существенные конкурентные преимущества в XXI веке.

Согласно западной концепции человеческого капитала, родоначальниками которой были Т. Шульц и Г. Беккер в 60-е годы XX века, его структура формируется за счет капиталов здоровья, образования, культуры, обладания экономически значимой информацией и миграции [10]. Следует отметить, что в теории человеческого капитала исследованы практически все виды миграции, как инвестиции в человеческий капитал, направленные на повышение доходов, уровня образования и т.д. [12]. Причем воспроизводство человеческого капитала основано на динамичном развитии всех его составных элементов, что требует определенных финансовых ресурсов, как со стороны индивида, фирмы, так и государства [1]. Наиболее быстрый и менее затратный способ решения проблемы воспроизводства человеческого капитала – экстенсивный

путь – за счет наращивания капитала миграции, то есть увеличения рабочей силы посредством управления процессами трудовой миграции.

Однозначно, что миграционные процессы могут оказывать как положительное, так и негативное воздействие на качество человеческого капитала. В этой связи особый акцент приобретает проблема исследования международной трудовой миграции не только как одного из факторов и составляющих процесса глобализации, наряду с интенсификацией международной торговли и трансграничного движения капитала, но и ее следствия. Глобализирующееся мировое производство предъявляет качественно новые требования к решению проблемы эффективного распределения планетарных трудовых ресурсов в мировом масштабе.

Научный интерес к исследованию влияния процессов трудовой миграции на качество человеческого капитала обусловлен тем, что миграционные процессы стали неотъемлемой частью жизни и деятельности многих стран, включая Россию.

Сформирована законодательная база, разработаны теоретические аспекты миграции, накоплен большой опыт в реализации указанных и сопутствующих сложных задач.

Постановка задачи. Существующие механизмы решения проблем мигрантов в последнее несколько лет все чаще дают сбои, время ставит новые вопросы, требующие как теоретического осмысления, принятия новых законодательных актов, так и выбора нестандартных решений конкретных задач, особенно в условиях, когда «миграционная волна» захлестнула многие европейские страны. При разработке новых подходов следует учитывать тот факт, что миграционные процессы, с одной стороны, способствуют решению ряда важных экономических и социальных задач многих стран мира, с другой, порождают (незаконные миграции) правонарушения, преступность и социальную напряженность.

Рассматривая миграционные процессы в пределах России, можно отметить, что за 2014 год число внутренних мигрантов увеличилось лишь на 36,1 тыс. человек (0,9 %) по сравнению с 2013 годом. Иммигранты, прибывающие в Российскую Федерацию, являются, как и прежде, в основном, выходцами из государств-участников СНГ. Всего по данным Росстата за 2015 год в страну прибыло 598,8 тысяч человек, при этом их численность увеличилась на 13,5 % по сравнению с 2014 годом [18]. По данным Главного управления по вопросам миграции МВД России, несмотря на низкие зарплаты, рецессию в экономике и падение курса рубля, на апрель 2016 года в стране находится 9,87 млн. иностранных граждан и лиц без гражданства, причем подавляющее большинство – трудовые мигранты из стран ближнего зарубежья [18]. Все это обуславливает необходимость проведения эффективной государственной миграционной политики для решения задач экономического роста страны, демографической проблемы [7], выравнивания дисбаланса в социально-экономическом развитии регионов, накопления и формирования нового качества человеческого капитала России.

Российская миграционная политика предусматривает создание определенных условий для адаптации и объединения мигрантов, а также решение определенных проблем социальной защиты. Несомненно, есть серьезные затруднения по получению российского статуса, урегулированности прав и свобод иностранных граждан. Государственные программы по адаптации мигрантов недостаточно эффективны. Региональная и федеральная политика в области миграции чаще всего предусматривает решение территориальных экономических проблем, связанных с нехваткой трудовых ресурсов.

Серьезно стоит проблема повышения качества человеческого капитала, в том числе и за счет капитала миграции. На первый взгляд, основная причина в том, что существенная доля мигрантов – это низкоквалифицированные мигранты и решение ее в необходимости создания условий для приезда высококвалифицированных мигрантов из разных стран. Однако, в общем числе прибывших мигрантов на территорию РФ достаточное количество людей с высшим образованием, но их компетенции не востребованы на рынке труда в нашей стране. В этой связи основная задача состоит в конвергенции человеческого потенциала мигрантов и капитала миграции принимающей стороны.

Еще одна задача – это необходимость найти действенный механизм решения проблемы обесценивания человеческого капитала местного населения за счет замещения его капиталом миграции.

Для РФ актуальной является проблема не только международной, но и внутренней миграции в связи с колоссальным дисбалансом в распределении трудовых ресурсов по регионам страны.

Методы исследования. Реализация поставленных задач исследовательского характера основывается на использовании системного подхода, неразрывно связанного с принципом всеобщности изменения и развития. Аксиоматика развития определяет развитие как процесс необратимых качественных изменений системы за счет внутренних противоречий и как результат – возникновение нового качества [2, с. 75].

Формирование нового качества человеческого капитала за счет капитала миграции – это сложный противоречивый процесс, встроенный как элемент подсистемы в систему более высокого порядка, а именно: создание условий для устойчивого развития государства. Для выявления дисбаланса в распределении трудовых ресурсов по регионам Российской Федерации и оценки миграционных процессов применялись методы анализа и синтеза, статистического, компаративного методов. Для наглядного изображения выявленных экономических и статистических зависимостей был применен метод графических изображений.

Обсуждение результатов. Однозначным является тот факт, что качество трудовых ресурсов является важнейшей характеристикой человеческого капитала. В целях анализа необходимо дифференцировать население страны по экономическому признаку надотрудоспособное, трудоспособное, послетрудоспособное. Выделение таких групп дает возможность определять степень обеспеченности страны трудовыми ресурсами и масштабы нетрудоспособного населения. При рассмотрении вопросов влияния трудовой миграции на качество человеческого капитала особое внимание следует уделить категории «экономически активное население (ЭАН)», включающей в себя как участвующих в общественном производстве, так и безработных, а также лиц, занятых неполный рабочий день (неделю), что является по сути одной из форм скрытой безработицы. Данный подход связан с тем, что этот показатель сильно занижает реальный человеческий потенциал, особенно в развивающихся странах, где учет безработных, занятых в домашнем хозяйстве, практически отсутствует. По подсчетам МОТ к ЭАН относится около 45 % населения мира [9]. В этой связи следует различать категории «человеческий капитал» и «человеческий потенциал».

Оценка человеческого капитала предполагает его анализ в том числе с позиций профессиональной структуры и занятости. Профессиональная структура человеческого капитала любой страны всегда является следствием действия широкого комплекса экономических, социальных и политических факторов. Она отражает уровень развития общества в целом, характеризует качество жизни населения, обнаруживает общие тенденции в эффективности использования человеческого капитала в национальной экономике. Согласно модели человеческого капитала К.-Э. Свейби, являющейся в настоящее время базовой для оценки и управления человеческим капиталом, основным индикатором является индекс квалификации (компетенции) [11].

В России, например, в структуре трудящихся мигрантов преобладают молодые люди (до 35 лет) преимущественно рабочих профессий, а «утечка умов» в современных условиях дополняется их диверсификацией (циркуляцией) не только по принципу «к капиталу», но и «одновременно с капиталом и вслед за ним».

По мнению академика Владимира Фортова, отток ученых из России увеличился за последние 1,5 года преимущественно из-за разницы в зарплатах российских и зарубежных ученых, особенно после снижения курса рубля к ведущим мировым валютам [6].

В общей структуре миграционный потоков Российской Федерации основная доля приходится на страны СНГ: в 2015 году примерно 90 % от общего числа въехавших в страну.

Сальдо миграции России со странами СНГ за 2014/2015 год (по данным Росстата [17]) представлено в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Сальдо миграции России со странами СНГ в 2014 годах (чел.)
Table 1. Balance of migration of Russia with the CIS countries in 2014 (people)

Страна	Прибыло	Убыло	Сальдо
Азербайджан	26367	13973	12394
Армения	46568	22562	24006
Беларусь	17931	11174	6757
Казахстан	59142	18328	40814
Киргизия	28543	13284	15259
Республика Молдова	32107	14533	17574
Таджикистан	54658	35296	19362
Туркмения	6038	3435	2603
Узбекистан	131275	94179	37096
Украина	126819	32449	94370

Таблица 2. Сальдо миграции России со странами СНГ в 2015 годах (чел.)
Table 2. Balance of migration of Russia with the CIS countries in 2015 (people)

Страна	Прибыло	Убыло	Сальдо
Азербайджан	24334	13661	10673
Армения	45688	25125	20563
Беларусь	17740	12828	4912
Казахстан	65754	30937	34817
Киргизия	26071	16078	9993
Республика Молдова	34038	16640	17398
Таджикистан	47641	36267	11374
Туркмения	6539	4219	2320
Узбекистан	74336	94769	-20433
Украина	194165	48029	146136

Как видно из статистических данных, существенного изменения структуры миграционных потоков за последнее время не произошло, несмотря на введение в России «патентной системы» с 1 января 2015 года.

Данная система заменила прежнюю систему квотирования (для въезжающих в Россию без виз). Специфика состоит в том, что приехавшему в Россию на работу иностранцу в течение 30 дней необходимо подать заявление о получении патента на работу, который по сути является авансовым платежом по налогу на доходы физических лиц.

Также условием получения патента является наличие полиса добровольного медицинского страхования [8]. Однако ужесточение миграционного законодательства способствовало сокращению миграционного потока лишь до середины 2015 года и в основном отразилось на мигрантах из Узбекистана (отрицательное сальдо миграции за 2015 год). В целом, девальвация национальной валюты по отношению к доллару, значительный уровень безработицы в странах СНГ и снижение уровня безопасности в странах Ближнего востока способствовало увеличению числа трудовых мигрантов из государств СНГ за 2015 год на 13,5 % по сравнению с 2014 годом.

Итоги миграции России со странами СНГ за период 2010-2015 годы представлены на рисунке 1 (по данным Росстата [17]).

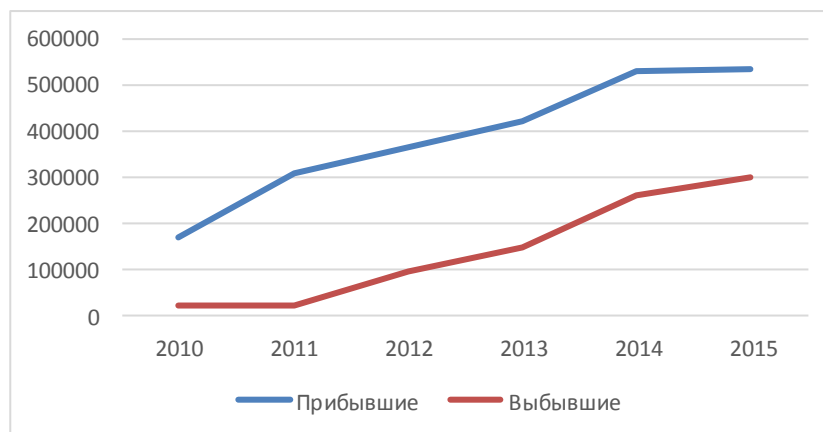


Рис.1. Итоги миграции Российской Федерации со странами СНГ за период 2010-2015 гг. (человек)

Fig.1. Results of migration of the Russian Federation with the CIS countries for the period 2010-2015. (people)

Согласно статистическим данным из числа безвизовых мигрантов в нашей стране больше всего граждан из Узбекистана и Украины (что касается последней, то увеличение мигрантов в большей степени связано с политической нестабильностью в стране и снижением уровня безопасности проживания в ней).

Следует отметить, что учет мигрантов из Украины и стран Таможенного союза затруднен в связи с их возможностью находиться на территории РФ по внутреннему паспорту и быть трудоустроенными неофициально. Согласно социологическим исследованиям, большинство тех, кто приезжает в Россию на заработки, не собираются в нашу страну на постоянное место жительства, в связи с этим у мигрантов нет стремления выучить русский язык, приобщиться к нашей культуре, постичь менталитет [16].

В ходе проведенного исследования были выделены факторы высокой миграционной привлекательности России:

- выгодное географическое положение России, занимающей 42 % общей площади Европы и 29 % территории Азии, а также государственная граница (включая морскую) протяженностью около 60 000 км;

- высокий уровень контактности большинства участков российских границ как совокупности условий и факторов, благоприятствующих трансграничному сообщению, развитию взаимовыгодных экономических, культурных и иных связей с сопредельными странами;

- наличие на территории Российской Федерации приграничных регионов, имеющих сходные климатические условия и культурные традиции населения при более высоком потенциале социально-экономического развития;

- относительно благоприятная визовая политика, реализуемая Россией, действующий безвизовый и упрощенный порядок въезда на территорию страны для граждан и лиц без гражданства из большинства государств – участников СНГ и некоторых других зарубежных стран;

- исторически сложившаяся социокультурная близость населения Российской Федерации и государств, ранее входивших в состав бывшего СССР, отсутствие серьезных проблем у выходцев из этих стран в адаптации к российской языковой и социальной среде;

- сложная социально-политическая обстановка и экономические проблемы (высокий уровень безработицы, низкий уровень оплаты труда, боевые действия и так далее) в ряде стран, ранее входивших в состав бывшего СССР;

- значительная емкость рынка иностранной рабочей силы в ряде отраслей экономики Российской Федерации из-за отрицательного естественного прироста населения страны.

В результате были выделены основные задачи управления миграционными процессами:

- обеспечение национальной безопасности Российской Федерации;
- сохранение, поддержание и улучшение комфортности, благополучия и качества жизни населения Российской Федерации;
- решение задач стабильности и роста постоянного населения Российской Федерации;
- создание условий для полного удовлетворения потребности экономики Российской Федерации в качественных трудовых ресурсах, привлечению трудовых мигрантов из высокоразвитых стран;
- формирование условий для перехода к устойчивому развитию на основе внедрения научно-технического прогресса и создания конкурентоспособных отраслей.

Отметим, что начальным этапом (2012 - 2015 годы) государственной миграционной политики РФ стало формирование нормативно-правовой базы миграционной политики Российской Федерации. В июне 2012 года Президентом страны была утверждена «Концепция государственной миграционной политики Российской Федерации до 2025 года» [5]. Особенностью современного миграционного законодательства стало выделение заинтересованности России в приглашении иностранных высококвалифицированных кадров. При этом сохранилась функция пресечения незаконной миграции.

За 2016 год, по официальным данным МВД [19], в Россию прибыло больше всего гастарбайтеров из Узбекистана (1,4 млн.), Таджикистана (757 тыс.), Кыргызстана (424 тыс.), Украины (378 тыс.), Армении (280 тыс.), Молдовы (218 тыс.), Азербайджана (149 тыс.) Белоруссии (128 тыс.), Казахстана (47 тыс.), причем следует отметить тот факт, что высшее образование среди них имеют до 15 % трудовых мигрантов и более 75 % – среднее и среднее специальное. Однако большинство дипломированных иммигрантов работают в нашей стране не по специальности.

Основные причины такого положения, на наш взгляд, в следующем:

- сопоставимость уровня квалификации выпускников украинских, закавказских или среднеазиатских учебных заведений с российскими;
- сложность в проверке реального опыта работы в соответствии с полученной квалификацией до трудоустройства (отсутствие характеристик с места работы, истинных фактов, подтверждающих качество работника, например, хирурга из Узбекистана до его трудоустройства в российское медицинское учреждение);
- несоответствие полученных знаний, умений и навыков российским стандартам, например, дипломированный юрист из Таджикистана может не знать специфики российского права).

Можно выделить основные сферы занятости трудовых мигрантов в России – строительство, ЖКХ, торговля, в некоторых регионах сельское хозяйство.

Рациональное использование потенциала трудовых мигрантов требует комплексного подхода. Для решения поставленных задач необходима оценка перспективных миграционных потоков как условие прогнозирования общей численности населения и трудовых ресурсов, поскольку территориальное движение является важным фактором изменения капитала миграции (роста или уменьшения численности и состава населения в нашей стране и ее регионах).

В начале нового века стало активно разрабатываться понятие «замещающая миграция», под которой следует понимать миграционный прирост, компенсирующий («замещающий») недостаток рождения, необходимых для поддержания в некоторый период времени в данной стране постоянства либо численности, либо других количественных характеристик населения.

Понятие «замещающая миграция» употребляется в трех разных смыслах:

- миграционный прирост, при котором численность населения не меняется;
- миграционный прирост, при котором численность трудоспособного населения не меняется;

– миграционный прирост, при котором доля лиц в старших возрастах не увеличивается [15].

Отрицательное сальдо миграции наряду с естественной убылью населения приводит к сокращению общей численности населения страны и, как следствие, трудоспособного населения. Подверженная, как и развитые страны, проблеме старения населения Россия сталкивается с необходимостью преодоления растущего дефицита работающих по отношению к иждивенцам и усиливающейся социальной нагрузки на государство. В то время как развивающиеся страны испытывают давление избыточного для их экономики населения трудоспособного возраста. Так, анализ процессов миграции показал, что после распада СССР ряд стран СНГ выживает благодаря миграции в Россию. До тех пор, пока наша страна не преодолеет отрицательные последствия «демографического креста», государству необходимо, если не наращивать уровень миграции, то поддерживать его на определенном оптимальном уровне.

Следует отметить, что миграционные процессы в России, как и в мире, идут разнонаправленно, подчиняясь целой совокупности экономических, политических, климатических и иных закономерностей [13]. Считается, что все времена турбулентны, поскольку содержат разнонаправленные силы и действия. Эпоха турбулентно чередующихся состояний хаоса и порядка в экономике началась в конце прошлого столетия и охватила новое тысячелетие. Следует признать, что «время турбулентности» действительно существует, вызывают его причины не только экономического, но и внеэкономического порядка. Десятилетиями длится латентный период, происходят процессы накопления «критической массы», а внешнее проявление трудно предсказуемо и возникает всегда неожиданно, лавинообразно.

Мы считаем этот фактор главным в появлении новых сегментов миграции, и в анализе миграционных процессов сегодняшнего дня и будущих периодов все большую значимость приобретает именно экономическая турбулентность.

Также необходимо заметить, что одна из основных причин экономической турбулентности связана с ускоряющимися процессами глобализации современного экономического пространства, протекающими на фоне колоссального и постоянно усиливающегося разрыва в технико-технологическом и социально-экономическом развитии стран. Наиболее развитые из них уже перешли от пятого технологического уклада, основой которого являются ИТ-технологии, к шестому технологическому укладу, основанному на нано-, био-, инфо-, когнитотехнологиях (НБИК-технологиях), их когерентности. Значительная гетерогенность экономического пространства порождает совершенно иной сценарий современного экономического развития, характеризующегося как вихревое, пульсирующее, хаотичное. Переходные состояния в экономическом развитии становятся перманентными и длительными [3-14].

Процессы экономической турбулентности нарушают традиционную логику и привычную последовательность многих экономических процессов. Так, после глобального финансового кризиса, следуя законам циклического развития, наступает экономический подъем, однако сейчас многие страны вступили в полосу рецессии, т.е. фактически происходит возврат в предшествующую фазу развития. Это и есть наглядное проявление экономической турбулентности. Принципиально новыми становятся правила игры в глобальном экономическом пространстве, которые нельзя игнорировать хозяйствующим субъектам на всех уровнях своей деятельности [4]. Исследование данных процессов позволило выявить причины, в условиях экономической турбулентности порождающие миграционные процессы:

– завершающийся процесс доминирования ряда развитых государств в мировой политике и экономике, прежде всего, США, выступающих принципалом, устанавливающим и диктующим свои правила игры почти пять столетий. Государственный долг США в настоящее время составляет 73 % ВВП, что является максимумом за всю историю страны. На очереди страны, входящие в Европейский Союз. Утрата роли мировых финансовых, экономических и

политических лидеров на фоне общемировой политической, экономической, военной нестабильности порождает глобальные демографические сдвиги. С целью спасения прежнего господства США и страны Европы делают акцент на «молодых людей» из России, Китая и других стран;

– становление многополярного мира с нарастанием экономических противоречий между новыми центрами и внутри их. Центры – США, ЕС, страны Азиатско-Тихоокеанского региона. БРИКС – как прообраз нового мирового центра – необеспечивает согласованности. Баланс сил главных мировых игроков: США, Европейского союза и стран БРИКС-неустойчив. Повышается значение стран АТР. Большинство ученых и специалистов сходятся во времени о необходимости диверсификации мировой экономики по пространству, с образованием от 3 до 15 устойчивых глобальных экономических систем, равномерно распределенных по всему земному шару. Такой результат порождает на первый взгляд, беспорядочное движение молодых ресурсов, а с другой стороны, – по экономически обозначенному контуру. Роль России состоит в формировании нового центра на основе согласованности интересов крупнейших акторов мировой политики и экономики.

– изменение «правил игры». Адекватные эпохе относительного экономического спокойствия, правила стали не актуальными. Назревают качественные сдвиги в основополагающих ценностях и целях общества за счет внутренних противоречий, что не может не сказаться на интересах миграции;

– турбулентные времена - жизнь взаимы: не только фирмы, но и отдельные государства (например, Греция) становятся банкротами. Это приводит к колоссальному удешевлению рабочей силы, что вызывает острые противоречия и формирует движение в сторону повышения равновесной цены на рынке труда и, как результат, рост безработицы. Возникает «порочный круг», приводящий в движение мировые потоки трудовой миграции;

– формирование социального класса – «человеческие отходы». Поведение таких людей часто становится асоциальным (преступники, моджахеды, участники различных бандформирований). Данный процесс требует со стороны государств усиления мер по обеспечению не только экономической, но и национальной безопасности стран, финансирования силовых структур.

Несмотря на тот факт, что начавшаяся эпоха турбулентности вносит свои жесткие коррективы и является сложно прогнозируемой для оценки принятия решений хозяйствующих субъектов, вместе с тем она будет иметь не только негативные и разрушительные, но и позитивные, необходимые для дальнейшего развития последствия. Вызовы экономической турбулентности очевидны, и они порождают особенности сегодняшнего и будущих периодов – активизацию бизнес-миграции как процесса, включающего регистрацию компании в другой стране (или покупку компании за рубежом) и на этом основании получение вида на жительство для дальнейшего проживания и/или расширение бизнеса. Подготовка к бизнес-эмиграции представляет собой сложный и трудоемкий процесс, требующий значительных подготовительных усилий, особенно с точки зрения образовательных компетенций, востребованных в принимающем государстве. Также стоит учитывать специфику правового поля функционирования бизнеса. Несмотря на указанные сложности, данный процесс может привести к улучшению качества капитала миграции, что, в конечном счете, положительным образом скажется на качестве человеческого капитала в целом.

Вывод. Таким образом, на основе имеющихся данных можно смоделировать три различных сценария миграционных процессов в России (рис. 2, 3):

1. Согласно инерционному сценарию ежегодный прирост населения России (число людей, проживающих на территории нашей страны, с учетом временных трудовых мигрантов) за счет сальдо международной миграции (приехавшие минус уехавшие) до 2050 года будет плавно снижаться с 270 тысяч человек в год до 170 тысяч. В целом же за прогнозируемый период население России прирастет на 7,7 млн человек за счет миграции (без учета иностранных граждан, родившихся на территории России).

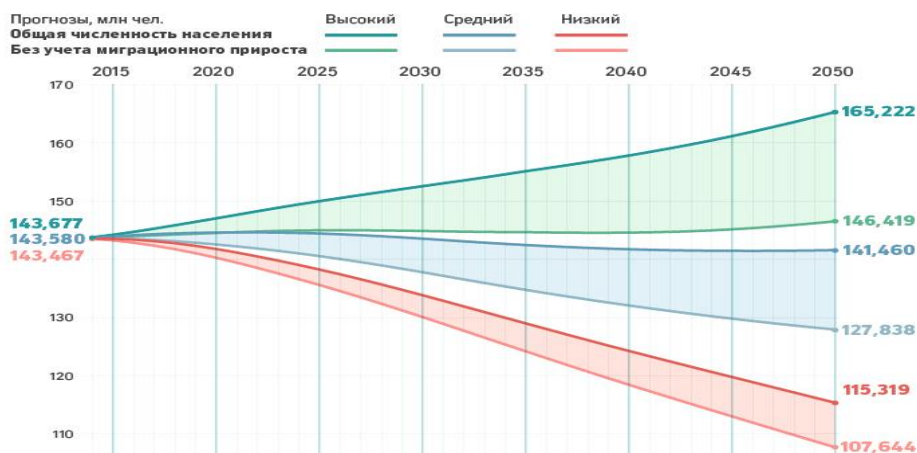


Рис.2. Прогнозы численности населения России с учетом миграционного прироста и без; 2015-2050 гг.[8]

Fig.2. Prognosis of the population of Russia taking into account migration growth and without; 2015-2050 [8]

2. В соответствии с реалистическим прогнозом ежегодный миграционный прирост увеличится с 300 тысяч до 385 тысяч человек к 2030 году и плавно достигнет показателя в 400 тысяч человек. В конечном итоге – плюс 13,6 млн. человек за весь прогнозный период.

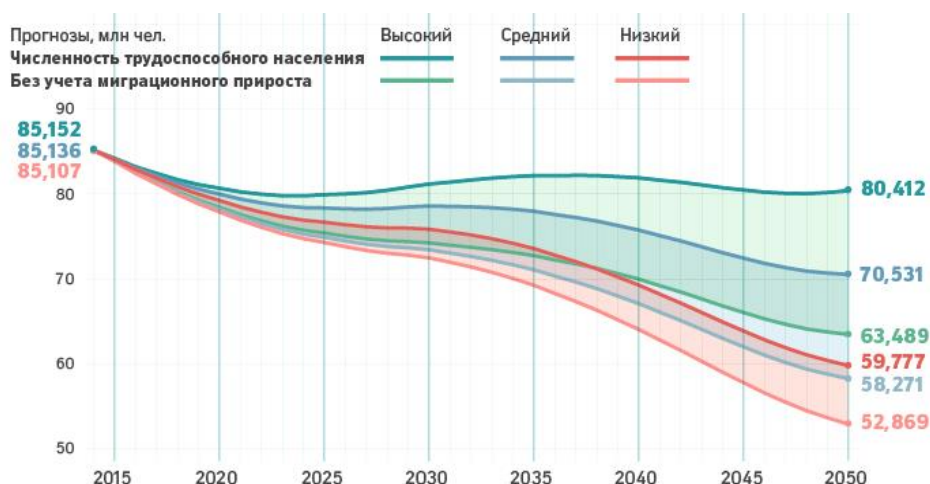


Рис.3. Прогнозы численности трудоспособного населения России с учетом миграционного прироста и без, 2015-2050 гг.[8]

Fig.3. Forecast of the number of able-bodied population of Russia taking into account migration growth and without, 2015-2050 [8]

3. В высоком варианте прогноза ежегодный прирост за счет миграции будет возрастать ускоренными темпами до 2030 года и достигнет численности примерно 555 тысяч человек, сохранив этот уровень до 2050 года. В итоге прирост почти на 19 млн. человек.

Библиографический список:

1. Бузмакова, М.В. Особенности воспроизводства человеческого капитала в современной российской экономике / М.В. Бузмакова, Т.Н. Демичева, А.А. Былинская // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2013. – № 3(3). – С. 42 – 46.
2. Володин, В.М. Методологические основы исследования устойчивого развития регионов / В.М. Володин, И.А. Питайкина // Успехи современной науки и образования. – 2016. – № 4, Том 2. – С. 74–78.

3. Володина, Н.В. Влияние на экономику России внешней трудовой миграции в современных условиях / Н.В. Володина. Магистерская диссертация. – М., 2015.
4. Журавлева Г.П. Новые правила игры в условиях экономической турбулентности / Г.П. Журавлева, Н.В. Манохина // Вестник саратовского государственного социально-экономического университета. – 2013. – № 5 (49). – С. 23-28.
5. Концепция государственной миграционной политики Российской Федерации на период до 2025 года [утв. Президентом РФ 13 июня 2012 г.] // Ваше право. Миграция. № 13. 2012.
6. Материалы Общего собрания РАН.2015. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ras.ru>(дата обращения: 10.02.2016).
7. Носкова, К.А. «Человеческий капитал» современной России: проблемы трудовой миграции / К.А. Носкова // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2012. – № 10. [Электронный ресурс]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2012/10/1357> (дата обращения: 20.11.2016).
8. Опалев С. Исследования: как из России уезжают иностранцы / С. Опалев, Е. Мязина. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <http://top.rbc.ru>(дата обращения: 10.04.2015).
9. Официальный сайт Международная организация по миграции. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.unrussia.ru/institutions/iom.html> (дата обращения: 06.11.2016).
10. Питайкина, И.А. К вопросу о теории человеческого капитала / И.А. Питайкина // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 237–245.
11. Человеческий капитал современной организации и его влияние на ее рыночные позиции. [Электронный ресурс]. URL: http://free.megacampus.ru/xbookM0022/index.html?go=part-006*page.htm (дата обращения: 15.03.2017).
12. Шарাপова, Н.В. Моделирование принятия решения о миграции в рамках теории человеческого капитала / Н.В. Шарাপова, И.А. Борисов, Е.Е. Лагутина. [Электронный ресурс]. URL: <http://uecs.ru/uecs-94-942016/item/4237-2016-12-24-07-17-22?pop=1&tmpl=component&print=1>(дата обращения: 10.01.2017).
13. Bodvarson, O. The Economics of Immigration. Theory and Policy / O. Bodvarson, H. Van den Berg – New York: Springer Science, 2013. – 474 p.
14. Stark, O. Differential Migration Prospects, Skill Formation, and Welfare / O. Stark, R. Zakharenko – Warsaw: Universitat of Tübingen Working Papers in Economics and Finance, 2011. – 27 p.
15. United Nations population division, replacement migration 1. Replacement migration: is it a solution to declining and ageing population? – NY, 2015. – P. 281.
16. [Электронный ресурс].URL:http://www.aif.ru/money/business/ne_po_specialnosti_kto_edet_rabotat_v_rossii (дата обращения: 15.02.2017).
17. [Электронный ресурс].URL:<http://www.gks.ru/>(дата обращения: 10.03.2017).
18. [Электронный ресурс].URL:<http://провед.рф/analytics/research/34147-migpatsionnye-itogi-2015-goda-kto-ppiezhaet-i-uezzaet-iz-possii.html>(дата обращения: 15.03.2017).
19. [Электронный ресурс]. URL:<https://мвд.рф/>(дата обращения: 15.03.2017).

References:

1. Buzmakova M.V., Demicheva T.N., Bylinskaya A.A. Osobennosti vosproizvodstva chelovecheskogo kapitala v sovremennoy rossiyskoy ekonomike. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2013; 3(3):42- 46. [Buzmakova M.V., Demicheva T.N., Bylinskaya A.A. Features of the reproduction of human capital in the modern Russian economy. Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. 2013; 3(3):42- 46. (in Russ.)]
2. Volodin V.M., Pitaykina I.A. Metodologicheskie osnovy issledovaniya ustoychivogo razvitiya regionov. Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya. 2016; 4(2):74-78. [Volodin V.M., Pitaykina I.A. Methodological bases of research of sustainable development of regions. Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya. 2016; 4(2):74-78. (in Russ.)]

3. Volodina N.V. Vliyanie na ekonomiku Rossii vneshney trudovoy migratsii v sovremennykh usloviyakh. Dissertatsiya na soiskanie kvalificatsii magistra. Moscow; 2015. [Volodina N.V. The impact on the Russian economy of external labor migration in modern conditions. Dissertation of Master degree. Moscow; 2015. (in Russ.)]
4. Zhuravleva G.P., Manokhina N.V. Novye pravila igry v usloviyakh ekonomicheskoy turbulentnosti. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta. 2013; 5(49):23-28. [Zhuravleva G.P., Manokhina N.V. New rules of the game in the conditions of economic turbulence. Vestnik of Saratov State Socio-Economic University. 2013; 5(49):23-28. (in Russ.)]
5. Kontseptsiya gosudarstvennoy migratsionnoy politiki Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda [utv. Prezidentom RF 13 iyunya 2012 g.]. Vashe pravo. Migratsiya. 2012; 13. [The concept of the state migration policy of the Russian Federation for the period up to 2025 [approved by the President of the Russian Federation on June 13, 2012]. Vashe pravo. Migratsiya. 2012; 13. (in Russ.)]
6. Materialy Obshchego sobraniya RAN.2015. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.ras.ru> (data obrashcheniya: 10.02.2016). [Materials of the General Meeting of the Russian Academy of Sciences. [Electronic resource]. URL: <http://www.ras.ru> (access date: 10.02.2016). (in Russ.)]
7. Noskova K.A. "Chelovecheskiy kapital" sovremennoy Rossii: problemy trudovoy migratsii. Ekonomika i menedzhment innovatsionnykh tekhnologiy. 2012; 10 [Elektronnyy resurs]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2012/10/1357> (data obrashcheniya: 20.11.2016). [Noskova K.A. "Human Capital" of modern Russia: problems of labour migration. Economics and innovations management. 2012; 10 [Electronic resource]. URL: <http://ekonomika.snauka.ru/2012/10/1357> (access date: 20.11.2016). (in Russ.)]
8. Opalev S., Myazina E. Issledovaniya: kak iz Rossii uezzhayut inostrantsy. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://top.rbc.ru> (data obrashcheniya: 10.04.2015). [Opalev S., Myazina E. Research: how foreigners leave Russia [Electronic resource]. URL: <http://top.rbc.ru> (access date: 04/10/2015) (in Russ.)]
9. Ofitsial'nyy sayt Mezhdunarodnaya organizatsiya po migratsii. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.unrussia.ru/institutions/iom.html> (data obrashcheniya: 06.11.2016). [Official website of International Organization for Migration. [Electronic resource]. URL: <http://www.unrussia.ru/institutions/iom.html> (access date: 06.11.2016) (in Russ.)]
10. Pitaykina I.A. K voprosu o teorii chelovecheskogo kapitala. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Obshchestvennye nauki. 2015; 4(36):237-245. [Pitaykina I.A. To the question of the theory of human capital. University proceedings. Volga region. Social sciences. 2015; 4 (36): 237-245. (in Russ.)]
11. Chelovecheskiy kapital sovremennoy organizatsii i ego vliyanie na ee rynochnye pozitsii. [Elektronnyy resurs]. URL: http://free.megacampus.ru/xbookM0022/index.html?go=part-006*page.htm (data obrashcheniya: 15.03.2017). [The human capital of a modern organization and its influence on its market positions. [Electronic resource]. URL: http://free.megacampus.ru/xbookM0022/index.html?go=part-006*page.htm (access date: March 15, 2017). (in Russ.)]
12. Sharapova N.V., Borisov I.A., Lagutina E.E. Modelirovanie prinyatiya resheniya o migratsii v ramkakh teorii chelovecheskogo kapitala / [Elektronnyy resurs]. URL: <http://uecs.ru/uecs-94-942016/item/4237-2016-12-24-07-17-22?pop=1&tmpl=component&print=1> (data obrashcheniya: 10.01.2017). [Sharapova N.V., Borisov I.A., Lagutina E.E. Simulation decision on migration within the theory of human capital [Electronic resource]. URL: <http://uecs.ru/uecs-94-942016/item/4237-2016-12-24-07-17-22?pop=1&tmpl=component&print=1> (date address: Jan 10, 2017). (in Russ.)]
13. Bodvarson O., Van den Berg H. The Economics of Immigration. Theory and Policy. New York: Springer Science; 2013. 474 p.

14. Stark O., Zakharenko R. Differential Migration Prospects, Skill Formation, and Welfare. Warsaw: Universitat of Tübingen Working Papers in Economics and Finance; 2011. 27 p.
15. United Nations population division, replacement migration 1. Replacement migration: is it a solution to declining and ageing population? NY: 2015; P. 281
16. [Electronic resource]. URL:http://www.aif.ru/money/business/ne_po_specialnosti_kto_edet_rabotat_v_rossiyu (access date: 15.02.2017). [Electronic resource]. URL:<http://www.gks.ru/>(access date: 10.03.2017).
17. [Electronic resource]. URL:<http://провэд.рф/analytics/research/34147-migpatsionnye-itogi-2015-goda-kto-ppiezhaet-i-uezzaet-iz-possii.html>(access date: 15.03.2017).
18. [Electronic resource]. URL:<https://мвд.рф/>(access date: 15.03.2017).

Сведения об авторах.

Володин Виктор Михайлович – доктор экономических наук.

Володина Надежда Викторовна – соискатель.

Питайкина Инна Анатольевна - кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории и международных отношений.

Information about the authors.

Victor M. Volodin - Dr . Sc.(Economic)., Prof.

Nadezhda V. Volodina - Competitor of academic rank.

Inna A. Pitaikina - Cand. Sc.(Economic).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию 12.01.2017.

Received 12.01.2017.

Принята в печать 20.02.2017.

Accepted for publication 20.02.2017.

Для цитирования: Исмаилов Р.Т. Повышение эффективности использования резервов активной части основных производственных фондов в строительстве. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):186-195. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-186-195

For citation: Ismailov R.T. Improving reserve use efficiency of the active portion of main production funds in construction. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (1): 186-195. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-186-195

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 69.003

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-186-195

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ АКТИВНОЙ ЧАСТИ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Исмаилов Р.Т.

Дагестанский государственный технический университет,
367026. г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70
e-mail:rust1985@mail.ru

Резюме: **Цель.** Целью исследования является формирование системы показателей, позволяющей определять уровень интенсивности и экстенсивности использования активной части основных производственных фондов строительной фирмы и оценивать имеющиеся резервы с целью их дальнейшего эффективного использования в процессе производства. **Метод.** При проведении исследования использованы методы оценки уровня интенсивной и экстенсивной эксплуатации активной части основных производственных фондов и метод многопараметрической оптимизации Лагранжа. **Результат.** Предложено решение актуальной проблемы, связанной с интенсивным развитием строительной фирмы в современных условиях рынка на основе оптимального использования резервов активной части основных производственных фондов. Разработана система показателей для оценки резервов активной части основных производственных фондов и предложена методика оптимального их распределения между параллельно строящимися объектами согласно критерию получения максимальной прибыли. **Вывод.** Выявленные резервы активной части основных производственных фондов должны учитываться при планировании всех видов производственной и хозяйственной деятельности строительной фирмы. Это позволяет обеспечить научную обоснованность формируемых планов, способствуют повышению эффективности и экономии использования в производственном процессе имеющихся ресурсов. В этом случае, в процессе планирования, необходимо обеспечить оптимальное использование имеющихся резервов по критерию максимизации получаемой строительной фирмой прибыли. Предложенные в работе инструменты позволяют оценить и эффективно использовать строительной фирмой имеющиеся у нее резервы различных видов активной части основных производственных фондов и на этой основе повысить эффективность строительного производства.

Ключевые слова: строительное производство, активная часть основных производственных фондов, интенсивная и экстенсивная эксплуатация строительной техники, оптимальное распределение внутрипроизводственных резервов

ECONOMIC SCIENCE

IMPROVING RESERVE USE EFFICIENCY OF THE ACTIVE PORTION OF MAIN PRODUCTION FUNDS IN CONSTRUCTION

Rustam T. Ismailov

Dagestan State Technical University

70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

e-mail:rust1985@mail.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to develop a system of indicators that allow the level of intensity and extensiveness of using the active part of the basic production assets of a construction firm to be determined, and available reserves to be assessed in order to provide their further effective use in the production process. **Method** During the research, both the methods of estimating the level of intensive and extensive exploitation of the active part of basic production assets and the Lagrange multi-parameter optimisation method were used. **Results** A solution of the relevant issue is proposed, connected with the intensive development of the construction company in the current market conditions based on the optimal use of the reserves of the active part of basic production assets. A system of indicators is developed for estimating the reserves of the active part of basic production assets and a methodology is proposed for their optimal distribution between objects that are simultaneously under construction, according to the criterion for obtaining maximum profit. **Conclusion** The revealed reserves of the active part of basic production assets should be taken into account when planning all types of production and economic activities of a construction firm. This allows the formation of plans to be the scientific validated, contributing to increasing efficiency and the use of available resources in the production process to be minimised. In this case, it is necessary during the planning process to ensure the optimal use of available reserves using the criterion of maximising the profit received by the construction firm. The tools proposed in the work allow us to evaluate and effectively use the construction company's existing reserves of various types of active part of basic production assets and, on this basis, increase the efficiency of construction production.

Keywords: construction production, active part of basic production assets, intensive and extensive exploitation of construction equipment, optimal distribution of in-house reserves

Введение. Одной из актуальных проблем интенсивного развития строительного производства является повышение его эффективности за счет использования резервов активной части основных производственных фондов (АЧ ОПФ). Для решения данной проблемы, прежде всего, необходимо выявить имеющиеся у строительной фирмы резервы АЧ ОПФ. Это связано с тем, что в общем случае рост объемов производства строительной продукции за счет эффективного использования АЧ ОПФ может достигаться путем [1,2]:

- ввода в действие новых строительных машин, оборудования и механизмов, т.е. путем экстенсивного развития;

- использование резервов действующей АЧ ОПФ в производственном процессе, т.е. путем интенсивного развития.

Если у строительной фирмы имеются значительные резервы АЧ ОПФ, то достаточно высокий прирост объемов производства можно получить путем интенсивного развития производства. Для этого, в первую очередь, следует оценить имеющиеся у нее резервы АЧ ОПФ. На практике для этого, как правило, используются различные показатели, оцениваемые как в натуральных, так и в стоимостных (денежных) единицах произведенной продукции, а также в единицах времени [3].

Следует отметить, что показатели оценки эффективности использования АЧ ОПФ, выраженные в натуральных единицах, могут быть рассчитаны по фактическим и предельным согласно паспорту технически возможным объемам производства. Однако, анализируя общий уровень эффективности использования различных видов АЧ ОПФ, невозможно ответить на

вопрос за счет чего в процессе производства был получен фактической прирост его объемов. Сложно также определить, какую часть рабочего времени та или иная единица строительной техники лучше функционировала, и с какой интенсивностью она была использована в течение отчетного периода времени. В этой связи для получения достоверных данных об эффективности использования различных видов АЧ ОПФ в процессе производства в течение отчетного периода времени требуется использовать систему оценочных показателей.

Постановка задачи. К системе взаимосвязанных оценочных показателей, непосредственно характеризующих степень использования строительной техники в производственном процессе, а также раскрывающих имеющиеся у строительной фирмы резервы в АЧ ОПФ, следует отнести [4-6]:

- 1) коэффициенты использования во времени различных видов АЧ ОПФ или коэффициенты их экстенсивной загрузки;
- 2) коэффициенты использования различных видов АЧ ОПФ в единицу времени или коэффициент их интенсивной нагрузки;
- 3) интегральный показатель эффективности эксплуатации АЧ ОПФ в производственном процессе в виде коэффициента их интегральной загрузки.

Первый показатель, обозначим его как $K_{экт}(j)$, для каждой j -й единицы строительной техники определяется отношением времени фактического ее использования к максимально возможному времени в течении которого можно было бы использовать данную единицу строительной техники в производственном процессе. Вторым показателем - $K_{инт}(j)$ - представляет собой отношение фактических объемов произведенной продукции в единицу времени работы j -й единицей строительной техники к максимальному объему этой продукции, который можно было бы получить исходя из предельной ее производительности ту же единицу времени. Третий показатель - $K_{интегр}(j)$ - определяется путем перемножения первых двух коэффициентов.

К числу часто используемых показателей уровня экстенсивной загрузки строительной техники следует также отнести коэффициент сменности [7]. Этот коэффициент характеризует время целосменного использования j -й единицы строительной техники, в процессе многосменной работы строительной фирмы.

Коэффициент сменности, может рассчитываться как по отдельным видам строительной техники и отдельным производственным подразделениям строительной фирмы, так и по всему предприятию в целом. Этот коэффициент определяет в течении какого количества полных смен в среднем в течение суток, работают те или иные единицы АЧ ОПФ.

Показатели использования различных единиц АЧ ОПФ во времени или показатели их экстенсивной загрузки в единицу времени рассчитываются для строительной фирмы достаточно просто, исходя из объемов произведенной с их помощью строительной продукции, которые выражаются в натуральных единицах [5,6].

Однако, необходимо отметить, что приведенные выше показатели загрузки различных видов АЧ ОПФ не позволяют определить как эффективно она используется по всей строительной фирме в целом.

Роль интегрального показателя эффективности использования АЧ ОПФ может в определенной степени сыграть показатель объема производства строительной продукции, произведенной с помощью одной единицы суммарной мощности строительной техники имеющейся у строительной фирмы. Этот показатель выражается, как правило, в натуральных единицах [8].

Одним из интегральных показателей использования имеющейся у строительной фирмы производственной мощности является коэффициент ее фактического задействования в производственном процессе. Данный показатель определяется как отношение объемов фактически произведенной продукции в заданном отчетном периоде (например, за год), к величине, задействованной в производственном процессе мощности АЧ ОПФ.

Однако натуральные показатели степени задействования АЧ ОПФ при анализе эффективности состояния производственного процесса, планировании уровня использования

производственных мощностей и при составлении баланса строительной техники по различным ее видам и назначению, не позволяют раскрыть общей картины эффективности их использования строительной фирмой в целом.

Для общего анализа эффективности хозяйственной и производственной деятельности, для планирования капитальных вложений, ввода в действие основных фондов и производственных мощностей всех производственных звеньев строительной фирмы, в последнее время часто используется такой показатель эффективности производства, как выпуск продукции на 1 руб. вложенных в производство фондов, который обычно называют показателем фондоотдачи [9]. Применяется также показатель, обратный фондоотдаче, - фондоемкость. Для оценки показателей фондоотдачи и фондоемкости применяются как стоимостные, так и натуральные единицы измерения.

Одной из основных причин, негативно влияющих на показатель фондоотдачи, является медленное освоение вводимых в действие различных единиц АЧ ОПФ строительной фирмы. Следовательно, одной из важнейших задач повышения эффективности использования капитальных вложений и АЧ ОПФ является своевременный ввод в эксплуатацию новой строительной техники и других производственных мощностей, а также оперативное доведение режимов их эксплуатации до максимально возможных пределов. Сокращение сроков ввода в эксплуатацию незадействованных и новых строительных машин, оборудования и механизмов позволяет быстрее произвести востребованную рынком строительную продукцию с более совершенными техническими характеристиками, ускорить оборот оборотных средств и, тем самым, замедлить наступление морального износа АЧ ОПФ, а также повысить эффективность строительного производства в целом.

Методы исследования. Эффективное использование действующих единиц АЧ ОПФ строительной фирмой, в том числе и вновь введенных в эксплуатацию, может быть достигнуто путем [10]: повышения интенсивности их использования; роста их экстенсивной загрузки.

Более интенсивное использование различных единиц АЧ ОПФ достигается, прежде всего, за счет лучшей их технической эксплуатации, своевременном техническом обслуживании и модернизации. Необходимо также механизировать и автоматизировать не только основные производственные процессы и операции, но и вспомогательные процессы, а также транспортные операции, которые нередко сдерживают нормальный ход производственного процесса и процесса эксплуатации строительной техники, машин и механизмов. Кроме того, в этом случае устаревшие машины могут быть своевременно модернизированы или заменены на новые более совершенные.

Интенсивность использования различных единиц АЧ ОПФ можно также повысить за счет [11]:

- совершенствования производственных технологий;
- организации непрерывно-поточного строительства на базе оптимальной концентрации производства однородной строительной продукции;
- комплектации и подготовки стройматериалов к производству в соответствии с требованиями заданной производственной технологии и качества производимой строительной продукции;
- ликвидации штурмовщины и обеспечения равномерной, ритмичной работы фирмы, строительных участков и строительства отдельных объектов;
- регулярного проведения мероприятий, обеспечивающих повышение производительности труда и увеличение объемов производства в единицу времени, на единицу мощности АЧ ОПФ.

Следовательно, интенсивная эксплуатация действующих единиц АЧ ОПФ строительной фирмой включает ее техническое перевооружение и повышение темпов обновления морально и физически устаревшей строительной техники и оборудования. Опыт работы показывает, что быстрое техническое переоснащение строительной фирмы особенно важно в том случае, если на ней имеет место значительный износ АЧ ОПФ.

Рост экстенсивного использования различных единиц АЧ ОПФ предполагает, с одной стороны, увеличение времени работы строительной техники в отчетном периоде (в течение смены, суток, месяца, квартала, года), а с другой стороны, увеличение количества и удельного веса задействованной в производственном процессе строительной техники, имеющейся в составе всего парка машин и механизмов.

Увеличение полезного времени работы различных единиц АЧ ОПФ на строительной фирме может достигаться за счет [12]:

- регулярной поддержки пропорциональности или сбалансированности между отдельными ее групп на каждом строящемся объекте, между стройками, между отдельными предприятиями, входящими в строительное объединение в соответствии с объемами выполняемых на них различного вида работ;
- улучшение и своевременное техническое обслуживание всех единиц АЧ ОПФ, соблюдение предусмотренных производственных технологий и режимов их эксплуатации, совершенствование организации строительного производства и труда. Это способствует эффективной эксплуатации различных единиц АЧ ОПФ, снижению количества простоев и аварий, осуществлению своевременного и качественного ремонта, сокращающего простой в ремонте и увеличивающего межремонтные периоды;
- проведения мероприятий, повышающих удельный вес основных производственных операций в затратах рабочего времени.

Известно, что в строительных организациях часть имеющихся строительных машин и механизмов находится в ремонте и резерве. Своевременное задействование различных единиц АЧ ОПФ в производственном процессе за исключением находящихся в плановом резерве и ремонте, значительно повышает эффективность их использования.

На успешное решение проблемы улучшения использования различных единиц АЧ ОПФ и повышение производительности труда существенное влияние оказывает создание на ассоциативной основе крупных строительных объединений. Вместе с этим необходимо большое внимание обратить на развитие специализации производства и технического перевооружения действующих предприятий, вывод из этих предприятий несвойственной их профилю производимой продукции, создание специализированных строительных организаций в рамках объединения в муниципальных образованиях, где имеются резервы рабочей силы [13].

Ускоренные темпы механизации подъемно-транспортных, погрузочно-разгрузочных и складских работ являются основой для ликвидации имеющейся диспропорции в уровне механизации основного и вспомогательного производства в строительной отрасли, высвобождения значительного количества вспомогательных рабочих и обеспечения на этой основе пополнения производственных подразделений рабочей силой. Кроме того это обеспечивает повышение коэффициента сменности работы строительных организаций и рост объемов производства без дополнительного привлечения рабочей силы со стороны. В крупных городах, в которых наблюдается дефицит рабочей силы, решение проблемы улучшения использования основных фондов и производственных мощностей действующих строительных предприятий можно достигнуть путем их реконструкции, расширения, механизации и автоматизации производства. При этом, совершенствование организации строительного производства и труда имеет особо важное значение.

Улучшение эксплуатации различных единиц АЧ ОПФ зависит в значительной степени от квалификации кадров, особенно от мастерства машинистов, обслуживающих строительные машины, механизмы, агрегаты, а также другие виды строительной техники. Творческое и добросовестное отношение работников к труду является важным условием улучшения использования АЧ ОПФ на строительной фирме. В этой связи строительной фирме целесообразно организовать эффективную систему морального и материального стимулирования своих работников. Это связано с тем, что эффективно функционирующая система морального и материального стимулирования работников существенным образом влияет на эффективность использования АЧ ОПФ. Анализ технико-экономических показателей

строительных организаций, работающих в современных рыночных условиях, свидетельствуют о том, что новые экономические инструменты, в том числе введение платы за производственные фонды, пересмотр оптовых цен, применение новых показателей для определения уровня рентабельности, создание в строительных организациях фондов материального поощрения, способствуют улучшению использования АЧ ОПФ [14-19].

Любой комплекс мероприятий по улучшению использования различных единиц АЧ ОПФ, разрабатываемый во всех звеньях управления строительным производством, должен предусматривать обеспечение роста объемов производства продукции, прежде всего, за счет более полного и эффективного использования внутрихозяйственных резервов и путем более интенсивного и экстенсивного использования АЧ ОПФ. Необходимо также добиваться повышения коэффициента сменности, ликвидации простоев, сокращения сроков освоения вновь вводимых в действие мощностей и дальнейшей интенсификации производственных процессов [16,17].

Следует отметить, что к основному показателю, отражающему влияние эффективности использования различных групп АЧ ОПФ на объемы производства строительной продукции, следует отнести прирост объемов ΔV производства в строительной фирме в целом за счет повышения эффективности их эксплуатации, который можно определить следующим образом:

$$\Delta V = \sum_{j=1}^n (P_j^* - P_j) \Delta V_j, \quad (1)$$

где j – индекс, определяющий j -ю группу АЧ ОПФ по виду выполняемых работ (экскаваторы, подъемные краны и т.п.);

P_j, P_j^* – производительность j -й группы АЧ ОПФ, до и после проведения мероприятий по повышению эффективности ее эксплуатации;

ΔV_j – прирост объемов производства за счет роста эффективности использования j -й группы АЧ ОПФ на одну условную единицу;

n – количество различных групп АЧ ОПФ.

Если проводятся различные мероприятия, связанные с повышением эффективности эксплуатации каждой j -й группы АЧ ОПФ, то прирост объемов производства в этом случае будет определяться следующим образом:

$$\Delta V = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{m_j} (P_{ji}^* - P_{ji}) \right) \Delta V_j, \quad (2)$$

где m_j – общее количество мероприятий, проводимых для повышения эффективности эксплуатации j -й группы АЧ ОПФ.

В стоимостном выражении данные показатели будут определяться следующим образом:

$$\Delta C = \sum_{j=1}^n (P_j^* - P_j) \Delta C_j; \quad (3)$$

$$\Delta C = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{m_j} (P_{ji}^* - P_{ji}) \right) \Delta C_j, \quad (4)$$

где ΔC_j – прирост денежных средств, получаемый в результате роста объемов производства на одну условную единицу.

Получаемая в этом случае строительной фирмой прибыль (Π), учитывая затраты связанные с проведением мероприятий, направленных на повышение эффективности эксплуатации различных групп АЧ ОПФ, будет определяться следующим образом:

$$\Pi = \Delta C + \left(\sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{m_j} S_{ji} - S_{ji}^* \right) P_{jобщ} \right) \Delta P_j - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} C_{ji}, \quad (5)$$

где S_{ji}^* и S_{ji} - численность производственных рабочих соответственно, требующихся строительной фирме до и после проведения i -го мероприятия связанного с повышением эффективности эксплуатации j -й группы АЧ ОПФ на одну условную единицу;

$P_{j\text{общ}}$ - производительность общественного труда при выполнении j -го вида подрядных работ по чистой продукции в базисном году;

ΔP_j - прирост прибыли, получаемый строительной фирмой за счет роста производительности общественного труда при выполнении j -го наименования работ после проведения всех мероприятий;

C_{ij} - затраты, связанные с проведением мероприятий i -го наименования для j -й группы АЧ ОПФ.

Следует отметить, что если проведенные на строительной фирме мероприятия являются неэффективными, т.е. убыточными, полученные оценки по предложенным показателям будут отрицательные значения.

Обсуждение результатов. Следует иметь в виду, что выявленные резервы АЧ ОПФ должны учитываться при планировании всех видов производственной и хозяйственной деятельности строительной фирмы, т.е. в процессе долгосрочного, среднесрочного и оперативного планирования. Это позволяет обеспечить научную обоснованность формируемых планов, способствуют повышению эффективности и экономии использования в производственном процессе имеющихся ресурсов. В этом случае, в процессе планирования, необходимо обеспечить оптимальное использование имеющихся резервов по критерию максимизации получаемой строительной фирмой прибыли.

Постановку данной оптимизационной задачи можно выполнить следующим образом. Пусть у строительной фирмы имеются резервы $R_j, j = 1, 2, \dots, n$ по различным j -м группам АЧ ОПФ и она ведет параллельное строительство $i = 1, 2, \dots, m$ различных объектов. Использование одной условной единицы $\Delta R_{j,i}$ -го вида резервов на i -ом объекте позволяет получить дополнительную прибыль в объеме $\Delta \Pi_{ij}$. Требуется распределить имеющиеся резервы между строящимися объектами таким образом, чтобы строительная фирма в результате их использования могла бы получить максимальную прибыль.

Для решения поставленной таким образом задачи необходимо сформировать критерий многопараметрической оптимизации [18] исходя из следующих соображений. Обозначим через $x_{ij}, j = 1, 2, \dots, m$ количество условных единиц имеющихся резервов АЧ ОПФ j -го вида, распределенных для проведения работ на i -ом объект. Тогда прибыль Π , получаемая строительной фирмой за счет задействования резервов на различных строящихся объектах будет равна:

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \Delta \Pi_{ij}. \quad (6)$$

Используя (1), необходимо определить такие значения переменных x_{ij} , при которых прибыль Π достигает максимальных размеров с учетом ограничений следующего вида:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = R_j, j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Для решения поставленной таким образом задачи можно применить метод неопределенных коэффициентов Лагранжа [18]. При этом оптимизируемая функция будет иметь следующий вид:

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \Delta \Pi_{ij} + \sum_{i=1}^n k_i (R_i - \sum_{j=1}^m x_{ij}), \quad (8)$$

где k_i – неопределенные коэффициенты Лагранжа;

ΔP_{ji} - прибыль, получаемая строительной фирмой при использовании одной условной единицы j - вида резервов АЧ ОПФ.

Далее, с целью получения оптимальных значений переменных x_{ij} берутся первые частные производные оптимизируемой функции (2) по всем входящим в нее переменным, в том числе и по коэффициентам Лагранжа k_i , которые приравняются к нулю и решается полученная таким образом система алгебраических уравнений.

Вывод. Предложенные в работе инструменты оценки интенсивной и экстенсивной эксплуатации различных единиц АЧ ОПФ позволяют оценить и эффективно использовать строительной фирмой имеющиеся у нее резервы различных видов АЧ ОПФ и на этой основе повысить эффективность строительного производства.

Библиографический список:

1. Маркин Ю.П. Анализ внутрипроизводственных резервов. –М.: Финансы и статистика, 2001. – 160 с.
2. Маниловский Р.Г. Выявление и использование внутрипроизводственных резервов. - М: Машиностроение, 1997, 142 с.
3. Ширшиков, Б.Ф. Организация, управление и планирование в строительстве - М.: АСВ, 2016. 528 с.
4. Уськов, В.В. Инновации в строительстве: организация и управление. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 342 с.
5. Бухалков М.И. Организация производства и управление предприятием. –М.: ИНФРА-М, 2013. -506 с.
6. Исмаилов Р.Т., Наврузбекова Н.Ф. Повышения уровня интенсивного и экстенсивного использования основных фондов и анализ его влияния на объемы производства // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Техн. науки. 2914. №3 (34). С. 112 -120.
7. Баранова И.В. Факторное моделирование как инструмент выявления неиспользованных резервов повышения эффективности // Сибирская финансовая школа: Аваль. 2012. № 6. С. 60– 63.
8. Шевченко Д.К., Кирсанов О.В. Резервы производства, их классификация и влияние на эффективность производства // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. 2006. № 1. С. 3–10.
9. Фахтудинов Р.А. Организация производства. –М.: ИНФРА-М, 2006. – 528 с.
10. Ушвицкий Л.И., Алексеева А.И., Шевцова О.Н. Формирование механизма управления экономической эффективностью в современных условиях хозяйствования // Вестник Северокавказского государственного технического университета. 2009. № 4. С. 250– 255.
11. Сергеев И.В. Экономика предприятия. –М.: Финансы и статистика, 2000. – 304 с.
12. Кириченко К.Р. Актуальные вопросы организации строительной деятельности в современных условиях // Проблемы экономики и менеджмента. 2015. №7 (47). С. 31-34.
13. Усманов Ш.И. Формирование экономической стратегии развития индустриального домостроения в России // Политика, государство и право. 2015. № 1 (37). С. 76-79.
14. Генкин Б.М. Экономика и социология труда. – М.: НОРМА-ИНФРА- М, 1999. – 394с.
15. Коркин Т.А., Костарев А.С. Классификация внутрипроизводственных резервов в развитии предприятия // Вестник Челябинского государственного университета. 2015. №1 (356). С. 68-70.
16. Селютина Л.Г. Системный подход к решению задач в сфере проектирования и управления строительством // Kant. 2015. № 2 (15). С. 71-72.
17. Прохоров С.А. Экономика предприятия. -М.: Наука, 2001. -290 с.
18. Цирлин А.М. Методы оптимизации для инженеров. –М.: Директ-Медиа, 2015. -214 с.

19. Esetova A.M., Pavliuchenko E.I., Ismailova Ch.T., Levitsky T.Y. System Restructuring as a Factor of Increasing Management Efficiency in Construction. *Indian Journal of Science and Technology*. 2015; 8(s10): 247-255. DOI: 10.17485/ijst/2015/v8iS10/IPL0810.

References:

1. Markin Yu.P. Analiz vnutriproizvodstvennykh rezervov. Moscow: Finansy i statistika; 2001. 160 s. [Markin Yu.P. Analysis of internal reserves. Moscow: Finansy i statistika. 2001. 160 p. (in Russ.)]
2. Manilovskiy R.G. Vyyavlenie i ispol'zovanie vnutriproizvodstvennykh rezervov. Moscow: Mashinostroenie; 1997. 142 s. [Manilovskiy R.G. Identification and use of in-house reserves. Moscow: Mashinostroenie; 1997. 142 p. (in Russ.)]
3. Shirshikov B.F. Organizatsiya, upravlenie i planirovanie v stroitel'stve. Moscow: ASV; 2016. 528 s. [Shirshikov B.F. Organisation, management and planning in construction. Moscow: ASV; 2016. 528 p. (in Russ.)]
4. Us'kov V.V. Innovatsii v stroitel'stve: organizatsiya i upravlenie. Vologda: Infra-Inzheneriya; 2016. 342 s. [Us'kov V.V. Innovations in construction: organisation and management. Vologda: Infra-Inzheneriya; 2016. 342 p. (in Russ.)]
5. Bukhalkov M.I. Organizatsiya proizvodstva i upravlenie predpriyatiem. Moscow: INFRA-M; 2013. 506 s. [Bukhalkov M.I. Organisation of production and enterprise management. Moscow: INFRA-M; 2013. 506 p. (in Russ.)]
6. Ismailov R.T., Navruzbekova N.F. Povysheniya urovnya intensivnogo i ekstensivnogo ispol'zovaniya osnovnykh fondov i analiz ego vliyaniya na ob"emy proizvodstva. *Vestnik Daгestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2014; 3(34):112-120. [Ismailov R.T., Navruzbekova N.F. Increasing the level of intensive and extensive use of fixed assets and analysing its impact on production volumes. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2014; 3(34):112-120. (in Russ.)]
7. Baranova I.V. Faktornoe modelirovanie kak instrument vyyavleniya neispol'zovannykh rezervov povysheniya effektivnosti. *Sibirskaya finansovaya shkola: Aval'*. 2012; 6:60-63. [Baranova I.V. Factor modeling as a tool to identify unused reserves of efficiency increase. *Siberian Financial School*. 2012; 6:60-63. (in Russ.)]
8. Shevchenko D.K., Kirsanov O.V. Rezervy proizvodstva, ikh klassifikatsiya i vliyanie na effektivnost' proizvodstva. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2006; 1:3-10. [Shevchenko D.K., Kirsanov O.V. Production reserves, their classification and impact on production efficiency. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2006; 1:3-10. (in Russ.)]
9. Fakhtudinov R.A. Organizatsiya proizvodstva. Moscow: INFRA-M; 2006. 528 s. [Fakhtudinov R.A. Organisation of production. Moscow: INFRA-M; 2006. 528 p. (in Russ.)]
10. Ushvitskiy L.I., Alekseeva A.I., Shevchova O.N. Formirovanie mekhanizma upravleniya ekonomicheskoy effektivnost'yu v sovremennykh usloviyakh khozyaystvovaniya. *Vestnik Severokavkazskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009; 4:250-255. [Ushvitskiy L.I., Alekseeva A.I., Shevchova O.N. Formation of the mechanism of economic efficiency management in the current economic conditions. *Newsletter of North-Caucasus Federal University*. 2009; 4:250-255. (in Russ.)]
11. Sergeev I.V. Ekonomika predpriyatiya. Moscow: Finansy i statistika; 2000. 304 s. [Sergeev I.V. Enterprise economy. Moscow: Finansy i statistika; 2000. 304 s. (in Russ.)]
12. Kirichenko K.R. Aktual'nye voprosy organizatsii stroitel'noy deyatel'nosti v sovremennykh usloviyakh. *Problemy ekonomiki i menedzhmenta*. 2015; 7(47):31-34. [Kirichenko K.R. Relevant questions of organisation of construction activity in modern conditions. *Problemy ekonomiki i menedzhmenta*. 2015; 7(47):31-34. (in Russ.)]

13. Usmanov Sh.I. Formirovanie ekonomicheskoy strategii razvitiya industrial'nogo domostroeniya v Rossii. *Politika, gosudarstvo i pravo*. 2015; 1(37):76-79. [Usmanov Sh.I. Formation of the economic strategy for the development of industrial housing construction in Russia. *Politics, State and Law*. 2015; 1(37):76-79. (in Russ.)]
14. Genkin B.M. *Ekonomika i sotsiologiya truda*. Moscow: NORMA-INFRA; 1999. 394 s. [Genkin B.M. *Economics and sociology of labour*. Moscow: NORMA-INFRA; 1999. 394 p. (in Russ.)]
15. Korkin T.A., Kostarev A.S. Klassifikatsiya vnutriproizvodstvennykh rezervov v razvitiy predpriyatiya. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015; 1(356):68-70. [Korkin T.A., Kostarev A.S. Classification of internal production reserves in enterprise development. *CSU bulletin*. 2015; 1(356):68-70. (in Russ.)]
16. Selyutina L.G. Sistemnyy podkhod k resheniyu zadach v sfere proektirovaniya i upravleniya stroitel'stvom. *Kant*. 2015; 2(15):71-72. [Selyutina L.G. System approach to solving problems in the field of design and construction management. *Kant*. 2015; 2(15):71-72. (in Russ.)]
17. Prokhorov S.A. *Ekonomika predpriyatiya*. Moscow: Nauka; 2001. 290 s. [Prokhorov S.A. *Enterprise economy*. Moscow: Nauka; 2001. 290 p. (in Russ.)]
18. Tsirlin A.M. *Metody optimizatsii dlya inzhenerov*. Moscow: Direkt-Media; 2015. 214 s. [Tsirlin A.M. *Methods of optimisation for engineers*. Moscow: Direkt-Media; 2015. 214 p. (in Russ.)]
19. Esetova A.M., Pavliuchenko E.I., Ismailova Ch.T., Levitsky T.Y. System Restructuring as a Factor of Increasing Management Efficiency in Construction. *Indian Journal of Science and Technology*. 2015; 8(s10): 247-255. DOI: 10.17485/ijst/2015/v8iS10/IPL0810.

Сведения об авторе.

Исмаилов Рустам Тагирович – кандидат экономических наук.

Information about the author.

Rustam T. Ismailov - Cand. Sc.(Economic).

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 18.01.2017.

Принята в печать 1.02.2017.

Conflict of interest

The author declare no conflict of interest.

Received 18.01.2017.

Accepted for publication 1.02.2017.

Для цитирования: Козлова Е.И., Лопатина А.Н., Новак М.А. Использование механизма аутсорсинга для повышения эффективности ремонта и технического обслуживания на металлургическом предприятии. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):196-205. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-196-205

For citation: Kozlova E.I., Lopatina A.N., Novak M.A Using the outsourcing mechanism to increase the efficiency of repair and maintenance in metallurgical enterprises. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (1): 196-205. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-196-205

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-196-205

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНИЗМА АУТСОРСИНГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Козлова Е.И.¹, Лопатина А.Н.², Новак М.А.³

¹⁻³ Липецкий государственный технический университет

398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д.30.

e-mail: ¹koslo-va.e.i@kzlv.com, ²ann_lopatina@mail.ru,

³ferz235@mail.ru

Резюме: *Цель.* Целью работы является изучение механизма аутсорсинга с точки зрения повышения эффективности ремонта и технического обслуживания на металлургическом предприятии. *Метод.* Проведён анализ опыта использования аутсорсинга ремонтных служб на отечественных и зарубежных металлургических предприятиях. Анализ опыта вывода ремонтных служб предприятий в отдельную аутсорсинговую компанию показал, что основными преимуществами такого способа ремонтной деятельности являются повышение прозрачности затрат на ремонты и техническое обслуживание, а значит, и их сокращение, а также – уменьшение количество простоев оборудования. Были выявлены основные характеристики аутсорсинга, обосновывающие его целесообразность. Реструктуризация системы ремонтов предусматривает поэтапный переход от децентрализованных к централизованным структурам технических механо-, энерго- и электроремонтных служб предприятий, от принципа «самообслуживание» к принципу «фирменное обслуживание» путем выделения подразделений системы ремонтов из структуры предприятий и создания конкурирующих субъектов рынка ремонтных услуг. То есть, перевода из статуса вспомогательного производства к самостоятельному виду деятельности. Рассмотрены этапы вывода на аутсорсинг ремонтных служб предприятия и выявлены возможные проблемы, которые могут возникнуть в процессе работы рабочей группы, созданной для определения целесообразности аутсорсинга и для проработки многочисленных вопросов, возникающих при передаче ремонтных функций. *Результат.* Результатом проведённого исследования являются разработанные способы преодоления рискованных ситуаций: предоставление гарантий со стороны заказчика и исполнителя и указание их в договоре, повышение мотивации аутсорсинговой компании с помощью ключевого показателя результативности, который должен повысить заинтересованность исполнителя в качественном оказании сервисных услуг заказчику. *Вывод.* В результате исследования было выявлено, что реализация аутсорсинга требует согласованных действия со стороны заказчика услуг и аутсорсера. Аутсорсинг - это новый подход к управлению затратами на ремонт и техническое обслуживание основного оборудование. Передача ремонтных функций на аутсорсинг помогает предприятию экономически эффективно эксплуатировать объект сервиса и достигать поставленных целей.

Ключевые слова: техническое обслуживание, ремонты, металлургическое предприятие, аутсорсинг, эффективность ремонтов

ECONOMIC SCIENCE

USING THE OUTSOURCING MECHANISM TO INCREASE THE EFFICIENCY OF REPAIR AND MAINTENANCE IN METALLURGICAL ENTERPRISES

Elena I. Kozlova¹, Anna N. Lopatina², Maxim A. Novak³

¹⁻³Lipetsk State Technical University

30 Moskovskaya St., Lipetsk 398600, Russia

e-mail: ¹koslo-va.e.i@kzlv.com, ²ann_lopatina@mail.ru,

³ferz235@mail.ru

Abstract. Objectives The aim of the work is to study the outsourcing mechanism from the point of view of increasing the efficiency of repair and maintenance at a metallurgical enterprise. **Method** Analysis of the experience of using outsourcing of repair services at domestic and foreign metallurgical enterprises was carried out. Analysis of the experience of the withdrawal from enterprise repair services into a separate outsourcing company has shown that the main advantages of this method of organising repair activities are an increase in the transparency of the costs of repairs and maintenance, and hence their reduction, as well as a reduction in the amount of equipment downtime. The main characteristics of outsourcing were revealed, substantiating its expediency. The restructuring of the repair system provides a step-by-step transition from decentralised to centralised structures of technical, mechanical, power and electrical repair services of enterprises, from the principle of "self-service" to the principle of "proprietary service" by isolating the subdivisions of the repair system from the structure of enterprises and creating competing members of the repair services market. Put another way, this is typified by moving away from the status of auxiliary production to a self-dependent activity. The stages of outsourcing the repair services of the enterprise are considered and possible problems that may arise in the course of the work of a working group are established to determine the suitability of outsourcing and to resolve the numerous issues arising from the transfer of repair functions. **Results** The findings of the research include approaches developed for overcoming risky situations: providing guarantees from the customer and the contractor and indicating them in the contract, increasing the motivation of the outsourcing company through a key performance indicator that should increase the interest of the performer in providing quality services to the customer. **Conclusion** As a result of the research it was revealed that the implementation of outsourcing requires concerted action from the customer and the outsourcer. Outsourcing is a new approach to managing the costs of repair and maintenance of the main equipment. The transfer of repair functions to outsourcing helps the enterprise to operate the service object economically and achieve its goals.

Keywords: maintenance, repairs, metallurgical enterprise, outsourcing, repair efficiency

Введение. Качество выпускаемой продукции металлургической промышленности напрямую зависит от состояния и надёжности оборудования, в то время как его износ в данной отрасли превышает 60%, поэтому значение ремонтов и планирования затрат на них особенно велико. Выполнение технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) агрегатов относится к вспомогательному производству, поэтому зачастую им не уделяется должного внимания, хотя качество работы эксплуатируемого оборудования определяет и качество выпуска продукции [8].

Реструктуризация системы ТОиР предусматривает поэтапный переход от децентрализованных к централизованным структурам технических механо-, энерго- и электроремонтных служб предприятий, от принципа «самообслуживание» к принципу «фирменное обслуживание» путем выделения (в дочернюю компанию) подразделений системы ТОиР из структуры предприятий и создания конкурирующих субъектов рынка ремонтных услуг [14]. То есть, перевода из статуса вспомогательного производства к самостоятельному виду деятельности. Как говорят, «непрофильный бизнес должен управляться теми, для кого он профильный» [8].

Постановка задачи. На современном этапе развития страны перед всеми предприятиями, независимо от форм собственности, стоит задача эффективного управления непрофильными активами, среди которых одна из главных ролей отведена системе технического обслуживания и ремонтов оборудования. Необходимо на основе опыта российский и зарубежных предприятий по организации ремонтов дать оценку использования аутсорсинга ТОиР оборудования на металлургическом предприятии [7].

Методы исследования. Методологическую основу исследования составляют комплексный анализ и системный подход к изучению первоисточников и различной литературы отечественных и зарубежных авторов по применению аутсорсинга в ремонтном обслуживании производства. В результате анализа публикаций, раскрывающих различные аспекты ремонта, стало ясно, что проблема развития сервисной деятельности в сфере технического обслуживания и ремонтов, нуждается в дальнейшей проработке [2].

Несмотря на наличие научных работ по экономическому исследованию сущности ремонтов и организационно-технических аспектов его проведения, новые подходы к механизму организации ремонтов внедряются на отечественных предприятиях в большинстве случаев не достаточно эффективно, либо не внедряются вовсе [1].

Теория и практика организации ремонта оборудования производственных систем в условиях рынка остаются недостаточно изученными, отсутствует целостная концепция развития ремонтной деятельности с привлечением фирм-изготовителей оборудования [6].

Обсуждение результатов. Для многих промышленных компаний прекрасной возможностью повысить качество ремонтных работ, является аутсорсинг, то есть их передача специализированной фирме. Так 44% американских компаний используют аутсорсинг в обслуживании оборудования [8]. В российской практике эти цифры пока скромнее: только 10% компаний применяют аутсорсинг в целях обеспечения ТОиР. Однако практика доказывает, что аутсорсинг ТОиР оборудования достаточно выгоден для промышленных предприятий. Это подтверждает, например, опыт горно-металлургической компании ПАО «Северсталь».

В январе 2003 года в ПАО «Северсталь» были переданы на аутсорсинг ЗАО «Фирма «СТОИК» функции по техническому обслуживанию и ремонту оборудования Листопрокатного цеха №3. Главной целью, которую преследовала компания, являлось желание повысить эффективность ремонтного процесса. После изучения мировой практики аутсорсинга ремонтных функций, руководство ПАО «Северсталь» отметило, что в результате такого подхода затраты на ремонт и техническое обслуживание становятся более прозрачными, а значит, и более управляемыми. Также было очевидно, что практика аутсорсинга ведёт к повышению производительности труда, к снижению простоев и, следовательно, к росту объёмов производства. В ПАО «Северсталь» решили использовать такой вариант реструктуризации ремонтных активов, который предусматривал создание цехов сервисного обслуживания путём перевода ремонтного персонала компании в специально созданную в дивизионе «Северсталь Российская Сталь» фирму «СТОИК» для осуществления ремонтного обслуживания. Было принято решение строить отношение с аутсорсинговой фирмой на основе сервисного подхода, что означает заинтересованность и заказчика и сервисной организации к достижению таких целей как: повышение эффективности ремонтов, снижение простоев, а фиксированная сумма договора стимулирует аутсорсинговую компанию повышать эффективность технического обслуживания и ремонтов и снижать издержки на ремонт.

Шведская компания по производству твердосплавных пластин SANDVIK сократила собственный ремонтный персонал на 15%, численность субподрядов на 25-40% и количество аварийных простоев – на 18% в течение трёх лет за счёт централизации функций и улучшения процессов ремонтов в результате вывода ремонтных служб на аутсорсинг [18].

Акцент на потребителя и повышение качества объективно отражают возможности использования аутсорсинга как комплекс мер по формированию конкурентоспособности оборудования (рис. 1).

Аутсорсинг выступает как реальная возможность фирм-производителей в конкретных условиях производства демонстрировать изделия, обеспечивать определенную систему

контроля качества работы оборудования и этим формировать внешнее обеспечение качества [8]. Он является лишь одним из средств в арсенале производителя для сохранения и упорядочения деловой репутации с потребителем как специфический вид деятельности, направленный на развитие продукции и производства.

Состав критериев, предложенный для выбора системы ремонтного обслуживания, позволяет сказать, что содержание работ при аутсорсинге не носит фрагментарный характер, изготовитель нацелен на долгосрочное сотрудничество, он ориентирован на динамику конкурентной рациональности, на постоянное совершенствование своих изделий. В этом случае уровень организации работ и качество их выполнения следует рассматривать, как стремление фирм-изготовителей поддерживать свой имидж в глазах потребителей.



Рис.1. Применение инструментов аутсорсинга для повышения эффективности технического обслуживания и ремонта

Fig.1. The use of outsourcing tools to improve the efficiency of maintenance and repair

С учетом изложенных положений можно сделать вывод о том, что обращение к аутсорсингу в ремонтной деятельности предприятия призвано так соединить и связать частичные процессы цепочек ценностей производителей и потребителей оборудования, обеспечивающих решение текущих задач заказчика, чтобы обеспечить эффективное взаимодействие элементов производственных цепей обоих участников, направленное на использование возможностей аутсорсинга по созданию конкурентоспособной продукции.

Исходя из приведенных характеристик аутсорсинга, обосновывающих целесообразность его развития, следует:

- обращение к использованию аутсорсинга в производственной деятельности предприятия состоит в обеспечении функционирования и совершенствования процесса производства в соответствии с меняющимися требованиями внешней среды на основе рынка услуг;
- ценность продукта для потребителя всегда связана с отличительными его качествами или услугами как товара. Развитие функций аутсорсинга в виде предпродажного и послепродажного обслуживания формирует ценность оборудования для потребителя и напрямую сопряжено с оценкой конкурентоспособности оборудования как товара;
- аутсорсинг, как современная форма фирменного ремонта, основанная на постоянном контакте и анализе качества работы оборудования у потребителя, выступает проводником обратной связи между потребителем и производителем оборудования и тем самым формирует базу для создания конкурентоспособного оборудования и развития сферы ремонтных услуг;

- сравнение функций оборудования, качества его исполнения, и цены с нуждами потребителя - основа оценки качества изделия. Для определения нужд потребителей необходимо исследовать рынок и реализовать рыночные ожидания при планировании, разработке и изготовлении моделей оборудования, что позволяет рассматривать взаимоотношения потребителя и поставщика как непрерывную цепь всего процесса создания высококачественного продукта по всем стадиям жизненного цикла изделия.

Риски, присущие аутсорсингу, могут быть двух категорий [5]:

1. Риски предпроектной стадии, возникающие при разработке критериев и выборе исполнителя услуг, разработке контракта на обслуживание и установлении требований к обслуживанию;
2. Постпрограммные риски, которые возникают в течение действия всего договора аутсорсинга и связаны с управлением обслуживанием, отслеживанием способов достижения требуемых показателей надежности работы оборудования, изменениями и несоблюдением пунктов договора, качеством и сроками подготовки специалистов для предприятия и т.п.

Для решения многочисленных задач перехода на аутсорсинг и снижения вероятности возникновения каждого из возможных рисков нами предложено формирование рабочей группы из числа специалистов производства, обеспечивающая исполнение договора в соответствии с календарным планом работ.

Рабочая группа подчиняется руководителю предприятия и решает следующие задачи проекта:

- разрабатывает бизнес-план и техническое задание на аутсорсинг со стороны заказчика и обсуждает техническое предложение аутсорсера;
- устанавливает ответственность по уровням управления и исполнителям за своевременность обеспечения «фронта работ» и предоставление необходимой информации по внедрению аутсорсинга;
- обеспечивает координацию действий подразделений предприятия при реализации механизма аутсорсинга;
- обеспечивает передачу ответственности, активов, перераспределение лицензий на программное обеспечение за все виды деятельности в рамках договора аутсорсинга;
- рассчитывает потребность в ресурсах всех видов и источники их привлечения для эффективной реализации проекта;
- отвечает за ввод в действие процессов предоставления информации о состоянии оборудования и распространении её между пользователями;
- отвечает за управление исполнением договора, включая выставление счетов и порядок осуществления платежей.

Снижению рисков способствуют гарантии сторон-участников. Гарантии рассматриваются как определенные обязательства сторон при подписании договора о сотрудничестве. Основной гарантией успеха аутсорсинга и минимизации его рисков является продуманный, хорошо структурированный и детализированный бизнес-план аутсорсинга и корректировка функций аутсорсинга. В качестве гарантий со стороны аутсорсера может быть предоставление клиенту должным образом обученных и квалифицированных представителей для выполнения услуг ремонтного характера и обеспечение заранее оговоренных значений показателей качества работы станочного парка. Гарантиями со стороны клиента является предоставление комплекта нормативно-технической документации, необходимой при выполнении работ в рамках действующего договора.

Аутсорсинг влечет за собой появление в производственной деятельности множества разнообразных ролей и обязанностей штатных сотрудников предприятия, поэтому он может вызвать чувство неопределенности, сомнения, страха потери работы и т.д. Сопротивление изменениям вызвано главным образом тем, что изменения всегда затрагивают личные и групповые интересы, а также связаны с неудовлетворительным управлением проекта со

стороны руководства клиентской организации. Основными причинами сопротивления внедрению изменений среди сотрудников клиентской организации являются:

- боязнь неожиданностей, неизвестности, провала и неудач, которые может повлечь за собой аутсорсинг;
- недостаточная убежденность в необходимости предлагаемых изменений или их неодобрение;
- опасение нарушения традиций, привычных отношений в производстве и нежелание внедрять непопулярные решения.

Качество проекта в целом предопределяется грамотным построением отношений клиента (в лице руководства предприятия) и сервисной службы на всех этапах работы. Поскольку проект базируется на совместных действиях заказчика и аутсорсера, то негативное отношение к сотрудничеству значительно снижает шанс на успех, поэтому общение и коммуникации между пользователями и поставщиками услуг должны происходить постоянно, исходя из того, что они во многом являются основой успешной реализации проекта на различных уровнях. Концентрация внимания на контрактных обязательствах сторон обеспечивает решение проблем обслуживания. Наличие заранее разработанного плана способствует эффективному внедрению проекта.

Возможна такая ситуация, что для успешной реализации программы аутсорсинга необходимо будет менять требования к обслуживанию или будет необходим новый пакет услуг, требующий дополнительных затрат. Возможна совместная доработка проекта с целью использования преимуществ предлагаемых технологий аутсорсинга и других возможностей улучшения обслуживания, поэтому договор аутсорсинга должен предусматривать возможные изменения в проекте. Изменения не должны приниматься без надлежащего анализа, соответственно процесс управления изменениями должен предусматривать определенный объем исследований и включать описание механизма управления изменениями.

На любом этапе проекта предлагаемые изменения могут быть отклонены по множеству разнообразных причин [3-10]. Потенциальные проблемы, связанные с услугами аутсорсинга, должны разрешаться на начальной стадии реализации проекта, поскольку это может повлиять на программу аутсорсинга и изменить стоимость проекта.

Необходимость больших согласований и времени на обсуждение и принятие решения по проблеме определяет глубину проблемы для высшего руководства поставщика услуг. Обсуждение и решение каждой проблемы аутсорсинга должно, прежде всего, осуществляться на том уровне, где она возникла. Во избежание разного рода сомнений и непродуктивности воздействия изменений, предложение о внесении изменений в проект следует принимать, если существует высокий класс его приоритета. На основе этого проводятся выявление рисков и полная оценка затрат. Изменения, требующие затрат выше определенного лимита, или те, которые оказывают большее воздействие на деятельность предприятия, чем ожидалось, передаются на рассмотрение лицу или группе, подавшим заявку на изменение.

Неудовлетворенность клиента качеством услуг, повышение затрат на услуги и другие причины могут привести к бэксорсингу - возврату функции ремонтного обслуживания обратно в состав предприятия [12]. Поэтому управление качеством и затратами на обслуживание должно являться важным элементом обсуждения на всех этапах проекта, а возможность расторжения договора - предусматриваться в контракте.

Завершение проекта также включает в себя несколько стандартных процедур и заканчивается заключительной встречей сторон-участников. В ходе встречи клиент должен получить ответы на вопросы, возникшие в процессе реализации проекта, дать оценку проекта и качества работ.

Аутсорсер должен убедиться, что проект полностью работает, рекомендации правильно поняты и используются [11-17]. Он даёт совместную оценку проекта и определяет дальнейшие перспективы сотрудничества. Рабочая группа окончательно оформляет отчет, дополнив его оценкой затрат. Когда необходимые ресурсы, навыки и обязательства готовы к бэксорсингу

услуг, необходимо наличие соглашения по передаче активов. Проект закрывается после утверждения его руководством клиентской организации.

Для оценки деятельности аутсорсингового предприятия предлагается вводить ключевые показатели результативности (КПР) оценки эффективности сервиса (рис.2).

В разных производствах они, скорее всего, будут отличаться друг от друга, но они должны состоять из производственных показателей заказчика (выполнение плана производства, уменьшение количества простоев и времени ремонта оборудования, повышение качества выпускаемой продукции-уменьшения брака).



Рис.2. Порядок выплаты суммы договора аутсорсинговой организации

Fig.2. Order of payment of the contract amount of the outsourcing organization

Выплата суммы договора аутсорсинговой организации должна зависеть на 80% от КПР, и лишь на 20% от выполнения необходимого объема работ, что повышает заинтересованность в осуществлении качественного сервиса.

Вывод. Обобщая приведенные результаты по реализации проекта аутсорсинга, можно выделить ряд особенностей, среди которых ряд новых функций, которые должны быть введены для управления и контроля аутсорсинга после подписания контракта:

1. Реализация аутсорсинга на предприятии требует определенных организационных и административных процедур и согласованности действий со стороны заказчика услуг и аутсорсера и может рассматриваться как проект, поскольку отвечает всем признакам проекта микроуровня.
2. Проект осуществляется в рамках производственной системы предприятия и являет собой процесс организации обслуживания и ремонта на основе данных мониторинга и других сервисных технологий аутсорсера.
3. Исполнение проекта аутсорсинга осуществляется в рамках договора, который содержит организационный, финансово-экономический, правовой аспекты, предусматривает наличие бизнес-плана, границы обслуживания, процедуры работ и оплаты и другие обязательные составляющие контрактных документов.
4. Административный контроль исполнения договора аутсорсинга может выполнять рабочая группа, состав которой будет варьироваться в зависимости от масштаба и сложности проекта.
5. Требования к услугам могут рассматриваться в течение всего срока действия договора. Предусматривается механизм обсуждения изменений в обслуживании и внесение их в договор аутсорсинга.

Резюмируя, можно утверждать, что применение аутсорсинга в организации ремонтных работ способствует развитию промышленного сервиса. Перед нами – новый подход к управлению затратами на ремонт и поддержание работоспособности основного оборудования промышленного предприятия, позволяющий заказчику экономически эффективно эксплуатировать объект сервиса и достигать поставленных целей. Таким образом, передача

непрофильных активов дочерней компании позволит предприятию сконцентрироваться на своем бизнесе.

Библиографический список:

1. Баскакова Н.Т., Дорман В.Н. Проблемы повышения эффективности планирования ремонтов оборудования // *Материалы 67-й н/т конференции: Сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Т. 2. С. 142-144.*
2. Власов Б.В. Повышение эффективности вспомогательного производства/ Б.В. Власов, В.М. Семенов. - М.: Машиностроение, 1983. - 138 с.
3. Дж. Риггс. Производственные системы: планирование, анализ, контроль /Сокращенный перевод с английского. Общая редакция и послесловие А.И.Анчишкина. М.: Прогресс, 1972. 340 с.
4. Жевтяк А.П. Экономика вспомогательного производства/ А.П. Жевтяк. -СПб.: Изд-во СПб ГУЭиФ, 2001. - 46 с.
5. Жиркин Ю.В. Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин: Учебник. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 330 с.
6. Козловский В.А. Ремонт, восстановление, модернизация / В.А.Козловский, В.В. Кобуев, В.М. Макаров // *Организация производства. - 2003.- № 4. - С. 40 - 42.*
7. Куликов СВ., Кадошников В.И., Баскакова Н.Т. Оптимизация планирования ремонтов в условиях металлургического предприятия // *Материалы 66-й н/т конференции: Сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. Т. 2. С. 158-163.*
8. Ловчиновский Э.В. Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий. М.: Российская Академия наук, 2005. 200 с.
9. Ревенко Н.Ф. Совершенствование системы управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования промышленных предприятий/ Н.Ф. Ревенко, В.В. Семёнов, А.Г. Схиртладзе. - М.: Глобус, 2006. - 253 с.
10. Самсонов А.М. Планово-предупредительный ремонт – предпосылка качества изделий машиностроения // *Стандарты и качество. 2006. №10. С.58-62.*
11. Семёнов В.В. Основные организационно-экономические проблемы повышения эффективности технического обслуживания и ремонта оборудования промышленных предприятий на современном этапе/ В.В. Семёнов. – Екатеринбург- Ижевск: Изд-во Института экономики УрОРАН, 2004. - 32 с.
12. Челенков А. Инновационная составляющая сервисных продуктовых предложений / А. Челенков // *Маркетинг. - 2000. - № 3. - С. 115 - 122.*
13. Шмаков А.Г., Борисенко В.А., Барышников С.А. Термин «ремонт» требует уточнения // *Стандарты и качество. 2006. №7. С. 44-45.*
14. Guenther Moeckesch, Founder of SKYVA International «Optimizing Service After Sale Operations», - 2002. - P. 16 - 22.
15. The Balanced Scorecard: translating strategy into action by Robert S.Kaplan, David H. Norton. - 2002. (Harvard Business School).
16. The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing by W. J. Sames, F. A. List, S. Pannala, R. R. Dehoff & S. S. Babu «International Materials Reviews», - 2016 – P. 315 – 360
17. Trends Development of Machines Operation Maintenance in Metallurgical Companies in Poland by Agnieszka Szczotok, Agnieszka Szkliniarz and Jacek Mendala «Solid State Phenomena», - 2016 – P. 284 – 287
18. Models for optimization the preventive maintenance schedules of mechanical systems in metallurgy by Belodedenko, S. V.; Ibragimov, M. S. «Metallurgical & Mining Industry», - 2017, -P. 26 – 37

References:

1. Baskakova N.T., Dorman V.N. Problemy povysheniya effektivnosti planirovaniya remontov oborudovaniya. Materialy 67 n/t konferentsii: Sb.dokl. Magnitogorsk: GOU VPO «MGТУ». 2009. Vol. 2. P. 142-144. [Baskakova N.T., Dorman V.N. Problems of Improving the Efficiency of Plans for the Repair of Equipment. Materials of 67 scientific-technical conference. Magnitogorsk: GOU VPO «MGТУ». 2009. Vol. 2. P. 142-144. (in Russ.)]
2. Vlasov B.V., Semenov V.M. Povyshenie effektivnosti vspomogatel'nogo proizvodstva. Moscow: Mashinostroenie; 1983. 138 s. [Vlasov B.V., Semenov V.M. Increasing the efficiency of auxiliary production. Moscow: Mashinostroenie; 1983. 138 p. (in Russ.)]
3. Dzh. Riggs. Proizvodstvennye sistemy: planirovanie, analiz, kontrol'. Pod.red. Anchishkina A.I. Moscow: Progress; 1972. 340 s. [Dzh. Riggs. Production systems: planning, analysis, control. Anchishkin A.I. (Ed). Moscow: Progress; 1972. 340 p. (in Russ.)]
4. Zhevtyak A.P. Ekonomika vspomogatel'nogo proizvodstva. Sankt-Peterburg: Izd-vo SPb GUEiF; 2001. 46 s. [Zhevtyak A.P. Economics of auxiliary production. St. Petersburg: Izd-vo SPb GUEiF; 2001. 46 p. (in Russ.)]
5. Zhirkin Yu.V. Nadezhnost', ekspluatatsiya i remont metallurgicheskikh mashin: Uchebnik. Magnitogorsk: MGТУ; 2002. 330 s. [Zhirkin Yu.V. Reliability, operation and repair of metallurgical machines: Tutorial. Magnitogorsk: MGТУ; 2002. 330 p. (in Russ.)]
6. Kozlovskiy V.A., Kobuev V.V., Makarov V.M. Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya. Organizatsiya proizvodstva. 2003; 4:40 - 42. [Kozlovskiy V.A., Kobuev V.V., Makarov V.M. Repair, restoration, modernisation. Organizatsiya proizvodstva. 2003; 4:40 - 42. (in Russ.)]
7. Kulikov SV., Kadoshnikov V.I., Baskakova N.T. Optimizatsiya planirovaniya remontov v usloviyakh metallurgicheskogo predpriyatiya. Materialy 66 n/t konferentsii: Sb. dokl. Magnitogorsk: GOU VPO«MGТУ»; 2008. Vol. 2. S. 158-163. [Kulikov SV., Kadoshnikov V.I., Baskakova N.T. Optimisation of the repair planning in the conditions of a metallurgical enterprise. Materials of 66 scientific-technical conference: Magnitogorsk: GOU VPO«MGТУ»; 2008. Vol. 2. S. 158-163. (in Russ.)]
8. Lovchinovskiy E.V. Reorganizatsiya sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya iremonta oborudovaniya predpriyatiy. Moscow: Rossiyskaya Akademiya nauk; 2005. 200 s. [Lovchinovskiy E.V. Reorganization of the system of maintenance and repair of equipment of enterprises. Moscow: Rossiyskaya Akademiya nauk; 2005. 200 p. (in Russ.)]
9. Revenko N.F., Semenov V.V., Skhirtladze A.G. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya tekhnicheskim obsluzhivaniem i remontom oborudovaniya promyshlennykh predpriyatiy. Moscow: Globus; 2006. 253 s. [Revenko N.F., Semenov V.V., Skhirtladze A.G. Improvement of the management system for maintenance and repair of industrial equipment. Moscow: Globus; 2006. 253 p. (in Russ.)]
10. Samsonov A.M. Planovo-predupreditel'nyy remont – predposylka kachestva izdeliy mashinostroeniya. Standarty i kachestvo. 2006; 10:58-62. [Samsonov A.M. Preventive maintenance - precondition of the quality of engineering products. Standards and Quality. 2006; 10:58-62. (in Russ.)]
11. Semenov V.V. Osnovnye organizatsionno-ekonomicheskie problemy povysheniya effektivnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya promyshlennykh predpriyatiy na sovremennom etape. Ekaterinburg- Izhevsk: Izd-vo Instituta ekonomiki UrO RAN; 2004. 32 s. [Semenov V.V. The main organisational and economic problems of increasing the efficiency of maintenance and repair of industrial enterprises equipment at the present stage. Ekaterinburg- Izhevsk: Izd-vo Instituta ekonomiki UrO RAN; 2004. 32 p. (in Russ.)]
12. Chelenkov A. Innovatsionnaya sostavlyayushchaya servisnykh produktovykh predlozheniy. Marketing. 2000; 3:115-122. [Chelenkov A. Innovative component of service product proposals. Marketing. 2000; 3:115-122. (in Russ.)]
13. Shmakov A.G., Borisenko V.A., Baryshnikov S.A. Termin «remont» trebuyet utochneniya. Standarty i kachestvo. 2006; 7:44-45. [Shmakov A.G., Borisenko V.A., Baryshnikov S.A. Termin «remont» trebuyet utochneniya. Standards and Quality. 2006; 7:44-45. (in Russ.)]

14. Moeckesch G. Founder of SKYVA International. Optimizing Service After Sale Operations; 2002. P. 16 - 22.
15. Kaplan R.S., Norton D.H. The Balanced Scorecard: translating strategy into action. Harvard Business School; 2002.
16. Sames W. J., List F.A., Pannala S., Dehoff R.R., Babu S.S. The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing. International Materials Reviews. 2016. 61:315 -360.
17. Szczotok A., Szkliniarz A., Mendala J. Trends Development of Machines Operation Maintenance in Metallurgical Companies in Poland. Solid State Phenomena. 2016; 246:284-287.
18. Belodedenko S. V., Ibragimov M. S. Models for optimization the preventive maintenance schedules of mechanical systems in metallurgy. Metallurgical & Mining Industry. 2017; 2:26-37.

Сведения об авторах.

Козлова Елена Ивановна - кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики.

Лопатина Анна Николаевна - магистр кафедры экономики.

Новак Максим Андреевич - кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики.

Information about the authors.

Kozlova Elena Ivanovna - Cand. Sc.(Economic).

Lopatina Anna Nikolaevna - master department of economics.

Novak Maksim Andreevich - Cand. Sc.(Economic).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.11.2016.

Принята в печать 20.12.2016.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.11.2016.

Accepted for publication 20.12.2016.

Для цитирования: Рамазанова Ф.М., Эсетова А.М. Стратегический подход к продвижению строительной продукции на рынок. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (1):206-216. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-206-216

For citation: Ramazanova F.M., Esetova A.M. Strategic approach to promotion of construction products in the market. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44(1):206-216. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-206-216

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-1-206-216

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОДВИЖЕНИЮ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НА РЫНОК

Рамазанова Ф.М., Эсетова А.М.

^{1,2}Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70,

¹e-mail: fotya776@mail.ru, ²e mail: aidaesetova@rambler.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является разработка системы практических мер, обеспечивающих наиболее эффективное продвижение строительной продукции на рынок. **Метод.** В процессе исследования были использованы методы логического, статистического и сравнительного анализа, методы экспертных оценок. **Результат.** Анализ и оценка конъюнктуры строительного рынка позволили выявить группу факторов, оказывающих влияние на объем продаж строительной продукции, в частности, строительных материалов, что составило эмпирическую основу разработки стратегии их продвижения, ориентированной на максимальное удовлетворение платежеспособного спроса и получение прибыли. Определено, что являясь инструментом коммуникационной политики строительного предприятия, продвижение строительной продукции представляет собой систему побудительных мер и приемов, направленных на стимулирование продаж. Произведена характеристика системы продвижения строительной продукции как инструмента маркетинговых коммуникаций, раскрывающая целевую зависимость мероприятий по стимулированию продаж от стадий жизненного цикла. Систематизированы критерии выбора каналов продвижения, положенные в основу стратегического подхода к организации системы распределительной логистики в строительстве и устойчивому позиционированию строительной продукции на рынке. **Вывод.** Стратегический подход к продвижению строительной продукции на рынок обеспечивает создание системы эффективных интегрированных маркетинговых коммуникаций, реализуемых в форме стратегического партнерства – бриджинга. Реализация стратегии продвижения строительной продукции является надежной основой усиления рыночных позиций строительных предприятий в жестких условиях конкурентной среды.

Ключевые слова: строительная продукция, рынок, продвижение, стратегия, методы

STRATEGIC APPROACH TO PROMOTION OF CONSTRUCTION PRODUCTS IN THE MARKET

Fatima M. Ramazanova, Aida M. Esetova

^{1,2}Dagestan State Technical University
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

¹e-mail: fotya776@mail.ru, ²e mail: aidaesetova@rambler.ru

Abstract. Objectives The aim of the study is to develop a system of practical measures to ensure the most effective promotion of construction products to the market. **Method** During the process of research, methods of logical, statistical and comparative analysis as well as expert

*evaluations were used. **Results** Analysis and assessment of the construction market situation enabled a group of factors that affect the sales of construction products – in particular, building materials – to be identified, which constituted an empirical basis for developing a strategy for their promotion, aimed at maximum satisfaction of solvent demand and profit. It is determined that as an instrument of the communication policy of a construction enterprise, the promotion of construction products is a system of incentive measures and techniques designed to stimulate sales. A characterisation of the promotional system of construction products as an instrument of marketing communications is presented, revealing the target dependence of measures to stimulate sales from stages of the life cycle. The criteria for selecting the promotion channels have been systematised, serving as the basis for the strategic approach to the organisation of the distribution logistic system in construction and the steady positioning of construction products on the market. **Conclusion** A strategic approach to the promotion of construction products in the market ensures the creation of a system of effectively integrated marketing communications, implemented in the form of a strategic bridging partnership. Realisation of the strategy of construction product promotion comprises a reliable basis for strengthening the market positions of construction companies under the harsh conditions of a competitive environment.*

Keywords: construction products, market, promotion, strategy, methods

Введение. В современных условиях возможности долгосрочного эффективного развития строительных предприятий во многом связаны с расширением круга заказчиков и поставщиков; с увеличением объемов продаж; с усилением контроля над затратами в процессе производства. Особое значение приобретает правильный выбор и использование в комплексе методов исследования конъюнктуры рынка, привлечения заказчиков, потребительского спроса, формирования оптимальных каналов и методов продвижения строительной продукции.

Обеспечение данных положений является прерогативой стратегического подхода к увеличению объемов строительного производства и повышению спроса на строительную продукцию, что позволяет конкретизировать понятие «продвижение строительной продукции» как реализации системы методов, приемов и форм, применяемых на протяжении всего жизненного цикла строительной продукции в отношении участников рынка с целью повышения объема продаж.

Постановка задачи. В условиях роста потребительского суверенитета и рыночной ориентации строительного производства в основе формирования стратегии продвижения строительной продукции на рынок лежит принцип бихевиоризма, т.е. «стимул-реакция», предусматривающий создание такого стимулирующего воздействия, который вызвал бы положительную реакцию у потенциальных покупателей и привел к значительному росту продаж [10-14]. Безусловно, объем продаж на рынке строительной продукции помимо других факторов, зависит от объема производства строительной продукции.

Методы исследования. Тенденция снижения объемов строительного производства, начавшаяся с 2014г., наблюдалась в 2015г. и продолжилась в 2016г. [18]. Сокращение объемов строительства обусловило существенное падение объема рынка строительных материалов. Тенденция на стабильный рост строительного рынка в 2011–2014 гг., при среднегодовых показателях роста 18%, сменилась резким падением в 11% в 2015 г.

По официальным данным Росстат в 2016 г. темпы снижения роста рынка строительных материалов оцениваются в 10%. Такая ситуация обусловлена тем, что объем работ, выполненный организациями всех форм собственности по виду деятельности «Строительство», в 2016г. составил 6184,4 млрд. рублей, что ниже уровня 2015г. на 4,3% (в сопоставимых ценах) [18]. Наибольший спад объемов производства в 2016 году по сравнению с 2015 годом наблюдался во втором квартале – на 8,3%.

В 2016 году по большинству (64%) основных видов строительных материалов, подвергающихся статистическому учету, произошло снижение объемов производства по сравнению с 2015 годом (табл.1) [17]. Тревожным сигналом для состояния рынка является снижение объемов производства, прежде всего, по таким видам, как кирпич строительный (включая

камни) из цемента, бетона или искусственного камня – на 30, 7%; блоки стеновые крупные из бетона - на 20,2%; кирпич керамический неогнеупорный – на 16,5%; портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый – на 11,4% .

Таблица 1. Динамика объемов производства строительных материалов*
Table 1. Dynamics of domestic production of building materials *

Виды строительных материалов	2016г.	2015г.	Темп роста, %
Пиломатериалы, млн.м ³	22,8	22,0	104,2
Блоки оконные в сборе, тыс.м ²	711	710	100,5
Блоки дверные в сборе, млн.м ²	11,0	12,1	88,2
Паркет щитовой деревянный прочий, тыс.м ²	2326	2365	96,7
Стекло листовое термически полированное и стекло листовое с матовой, но не обработанное другим способом, млн.м ²	142	139	102,3
Кирпич керамический неогнеупорный, млрд. усл. кирпичей	5,6	6,7	83,5
Кирпич строительный, млрд. усл. кирпичей	2,6	3,8	69,3
Блоки стеновые мелкие из ячеистого бетона, млрд. усл. кирпичей	8,1	9,1	89,1
Блоки стеновые крупные из бетона, млн. усл. кирпичей	474	597	79,8
Портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый и аналогичные цементы, млн. тонн	55,0	62,1	88,6
Конструкции и детали сборные железобетонные, млн.м ³	18,7	22,3	84,4
Листы асбестоцементные волнистые, млн. шт. усл. плиток	453	395	119,3
Материалы кровельные и гидроизоляционные рулонные из асфальта, млн.м ²	477	489	98,3
Линолеум на текстильной основе, млн.м ²	68,0	61,8	110,2

*Источник: [18].

Уменьшение выпуска строительных материалов наблюдалось в большинстве субъектов Российской Федерации. Наиболее значительный спад производства указанной продукции произошел в Брянской, Белгородской, Московской и Кемеровской областях.

В 2016 г., на рынке строительных материалов наблюдалась тенденция к понижению спроса и на ввозимые строительные материалы. В целом, строительные компании снизили на 14% закупку импортных строительных материалов. Объем продаж наиболее популярной позиции на рынке импортируемого цемента сократился на 33%. Аналогичная ситуация наблюдается и по кирпичам строительным - объем импорта снизился на 38, 6%. Такая ситуация не связана с импортозамещением, поскольку потребность в российском цементе и в кирпичах из-за снижения объемов производства не была удовлетворена [18].

Следует обратить внимание, что на рынке России в 2016 г. функционировало 235,4 тыс. строительных организаций, из них 227,5 тыс. субъектов малого предпринимательства, из которых 84,8 % составляют микропредприятия, производящие строительную продукцию.

Обсуждение результатов. При разработке стратегии продвижения строительной продукции на рынок необходимо учитывать ее особенности. Следует обратить внимание, что строительная продукция характеризуется длительным производственным циклом, значительной материалоемкостью и трудоемкостью работ при ее производстве, что, безусловно, предполагает направленность на превентивное формирование гарантированного платежеспособного спроса и авансирование производства строительных работ. Строительство характеризуется высокой капиталоемкостью, что резко ограничивает круг потенциальных покупателей объектов недви-

мости по их платежеспособности. Кроме того, строительная продукция призвана удовлетворять индивидуальные потребности пользователей (защита от воздействия окружающей среды; коммунально-бытовая инфраструктура жизнеобеспечения потребителей: водо-, газо-, энергоснабжение и отведение твердых и жидких отходов; создание благоприятных комфортных экологических и эстетических условий жизнедеятельности). Это, в определенной мере, влияет на консервативность и неэластичность спроса на готовую строительную продукцию [1].

Незначительное разнообразие спроса на строительную продукцию и существующие экономические барьеры на вхождение в отрасль создают условия для ограниченной конкуренции на рынке строительной продукции как между товаропроизводителями и между потребителями, так и в отношениях между заказчиком и подрядчиком.

Спрос конкретных групп потребителей на готовую строительную продукцию стимулирует специализацию строительных организаций, что во многом формирует направление и принципы сегментирования строительного рынка. В совокупности с конструктивной сложностью строительных объектов это детерминирует ограниченные возможности стандартизации строительной продукции, а ее качество зависит от организационно-технического уровня управления строительной организацией и профессионального уровня ее работников. Все это может придавать особую ценность готовой строительной продукции, что в значительной степени облегчает ее позиционирование на рынке и продажу [2].

Кроме того, потребительские характеристики строительной продукции формируют объективные ограничения экстенсивного механического наращивания предложения ее на рынке, поскольку удовлетворение потребности в строительной продукции требует от покупателя мобилизации значительных финансовых ресурсов.

В условиях рыночной экономики для большинства товаров спрос и цена находятся в обратно пропорциональной зависимости, т.е. чем выше цена, тем ниже спрос. Однако со строительной продукцией складывается ситуация, когда повышение цены покупатель трактует как повышение потребительской стоимости товара и его качества, в результате чего спрос возрастает. С этих позиций, при разработке стратегии продвижения строительной продукции на рынок необходимо учитывать конъюнктурообразующие факторы, сгруппированные в ходе исследования в табл.2. [14] С учетом данных факторов, исходным моментом при разработке стратегии продвижения строительной продукции на рынок является проведение поэтапного анализа формирования спроса у потенциальных покупателей.

Таблица 2. Конъюнктурообразующие факторы рынка строительной продукции
Table 2. Conjunctivating factors of the construction products market

Факторы спроса	Факторы предложения	Ресурсный потенциал строительных организаций
Спрос на новые архитектурно-планировочные решения	Качество строительной продукции	Инновационная материально-техническая и производственная база
Потребность в ресурсосберегаемом и экологичном производстве	Ценовая политика строительной организации	Передовая технология строительства
Потребность в сокращении сроков производства и вывода на рынок строительной продукции	Позиционирование на рынке строительной продукции	Квалифицированные кадры и эффективный менеджмент

Для этого, необходимо произвести общую сегментацию потребителей по критериям: социальный уровень потенциальных потребителей; региональная принадлежность заказчиков-потребителей; сегментация потребителей внутри региона; спрос на региональном рынке строительной продукции [3].

Производство строительной продукции осуществляется в соответствии с имеющимся портфелем заказов, заключенными контрактами, подрядами и предварительными соглашения-

ми на строительство объектов и оказание сопутствующих технических услуг (эксплуатация систем теплоснабжения, энергоснабжения, текущего и капитального ремонта и т.д.). Заранее оговариваются сроки строительства, проектно-сметная документация, технико-экономические характеристики объектов, применяемые строительные материалы, изделия, конструкции [4].

Анализируя динамику совокупных операций по реализации строительной продукции, необходимо оценить число заключенных договоров за ряд лет (2-5 гг.) с тем, чтобы установить темп изменения интенсивности продаж. Хотя показатель «число договоров» и не характеризует объем сбыта строительной продукции, но косвенно отражает изменение уровня спроса на нее и может свидетельствовать о понижении конкурентоспособности строительной организации [5].

Аналогичным образом анализируется стоимостный объем контрактов, заключенных строительной организацией, с тем, чтобы определить изменение объема продаж. Если число контрактов характеризует интенсивность сбыта, то их общий объем определяет сбытовой потенциал организации, ее способность не только расширить число контрактов, но и увеличить объем строительных работ по каждому контракту. Тем самым выявляется производственная мощность строительной организации в сравнении с емкостью рынка. Выводы, полученные в результате анализа в целом, должны (в нашем случае) по видам строительных материалов.

Заключительный этап анализа динамики заключенных контрактов состоит в оценке способов их заключения. При этом рекомендуется выделять число и стоимостный объем контрактов, заключенных на основе переговоров с заказчиком (в том числе межправительственные соглашения) — прямой сбыт; а также число и стоимостный объем контрактов, заключенных на основе торгов (с разбивкой на открытые и закрытые торги) — «тендеров» [6].

На основании результатов экспертизы, проведенной Центром конъюнктурных исследований Института статистических исследований и экономики знаний НИУ «Высшая школа экономики», [19] в первом квартале 2017 г. отмечается снижение числа заключенных договоров в строительной отрасли России (табл.3).

Таблица 3. Динамика заключенных договоров в строительной отрасли
Table 3. Dynamics of concluded contracts in the construction industry [19]

Число занятых в строительной организации, чел.	2017 г.		2016 г.	
	Темп роста, % 1 квартал		Темп роста, % 1 квартал 4 квартал	
менее 50	-24		-22	
от 51-100	-19		-22	
от 101 -250	-2		-11	
свыше 250	+3		-1	

В настоящее время недостаток заказов отмечается производителями строительной продукции во всех группах, дифференцированных по числу занятых в них, за исключением крупных, но наиболее критичная ситуация наблюдается в малых подрядных организациях. Около 30% строительных организаций имеет в портфеле договоров на срок от 1 до 3 месяцев, 12% организаций – менее 1 месяца, 12% – более года [19]. Такая ситуация вызывает снижение физического объема производимой строительной продукции, а значит и объема продаж.

Именно поэтому, анализ конъюнктуры рынка, разработка методов продвижения строительной продукции на рынок и расширение объемов ее продаж должны составлять одно из важнейших стратегических направлений в деятельности строительной организации [7].

Продвижение готовой строительной продукции, в отличие от продукции промышленности, принимает форму коммерческо-правовых информационно-финансовых коммуникаций, поскольку сбыт строительной продукции во времени предшествует снабжению и производству строительных работ, а реализация готовой продукции приобретает характер технического исполнения ранее совершенного акта купли-продажи [8]. С учетом этого, главными критериями роста объема продаж являются качество строительной продукции, эффективность маркетинговых мероприятий, в том числе стимулирование ее производства и продаж. Стратегия продви-

жения строительной продукции выражается в создании системы интегрированных маркетинговых коммуникаций и включает: стратегию дифференцирования и позиционирования; PR-стратегию; стратегию выбора каналов сбыта; рекламную стратегию; маркетинговую стратегию; товарную стратегию; стратегию ценообразования; стратегию распространения; корпоративную стратегию; стратегию бизнес-единиц; стратегию бренда [9-11].

Следует обратить внимание, что наличие эффективного канала сбыта и стимулирование его на всем протяжении жизненного цикла строительной организации предусматривает распределение функций и потоков между участниками рынка строительной продукции, что приводит к решению проблемы оптимизации структуры канала.

Но стимулирование конкретного канала сбыта всегда имеет ограничения, накладываемые целевым рынком, поведением покупателей, особенностями продукции.

На наш взгляд, в канале продвижения строительной продукции можно выделить потоки следующих типов:

1. Поток прав собственности на строительную продукцию от одних собственников к другим;
2. Физический поток, т.е. последовательное перемещение строительной продукции (за исключением объектов недвижимости) от изготовителя через посредников к конечному потребителю;
3. Поток заказов, поступающих от покупателей и посредников производителям;
4. Финансовый поток в виде выплат от конечного пользователя к производителю и посреднику;
5. Поток информации о реализуемой продукции.

В основе системного подхода к выбору каналов сбыта строительной продукции находится требование к формированию оптимальной структуры канала в зависимости от планируемых показателей продаж, прибыли, маркетинговых издержек и стратегии позиционирования.

Уровень продаж (P), рассчитанный по формуле 1 позволит строительному предприятию планировать варианты каналов сбыта [11].

$$P = S_1 - S_2 / K_1 - K_2, \quad (1)$$

где S_1 и S_2 – значения маркетинговых издержек при базовом уровне продаж сравниваемых каналов;

K_1 и K_2 – коэффициенты, численно равные изменению маркетинговых издержек при изменении на единицу уровня объема продаж.

Известно, что инструменты маркетинга ориентированы на количественные параметры, к числу которых в первую очередь относятся доходы с оборота и маркетинговые издержки. Строительное предприятие может определить уровень маркетинговых издержек при возможном использовании разных сбытовых каналов. Производитель может взять на себя издержки сбыта полностью, частично или вообще «переложить» их на плечи посредников. Все зависит от распределения между этими субъектами функций по продажам. Так, если производитель собирается использовать косвенный длинный канал продаж, то значительная часть маркетинговых издержек падает на торговых посредников. Если производитель собирается использовать косвенный короткий канал сбыта, то часть сбытовых функций он вынужден взять на себя. В таком случае и финансировать сбытовую работу приходится производителю, следовательно, его затраты возрастают. Самыми значительными являются маркетинговые издержки при использовании прямого сбытового канала, наиболее характерного для строительных организаций.

Последовательный перебор возможных каналов распределения строительной продукции позволяет принимать решения относительно следующих проблем: возможная протяженность канала распределения (количество уровней); типы посредников, с которыми возможно сотрудничество; количество посредников одного типа на каждом уровне (характер охвата рынка); возможные взаимоотношения между участниками сбытового канала (сотрудничество или конкуренция). Эти данные могут быть получены также в результате опроса экспертов, работающих на строительном предприятии или лиц, привлеченных для проведения оценок маркетинговых

издержек для различных каналов распределения на основании функционирования управленческой информационной системы на всех уровнях управления продвижением продукции.

Следует обратить внимание на то, что каналы сбыта строительной продукции характеризуются высоким уровнем специализации, тем более что в условиях строительного комплекса коммерческое посредничество на первичном рынке строительной продукции развито слабо. Здесь наблюдаются непосредственные контакты между подрядчиками и заказчиками, реализуемые в рамках прямого маркетинга. Распределение функций между участниками каналов сбыта строительной продукции определяется закреплением функций заказчика, плательщика, застройщика, потребителя и производителя строительной продукции за конкретными субъектами рынка, т.е. чем выше степень их концентрации и централизации, тем проще и однороднее структура канала сбыта конкретной единицы строительной продукции.

В современных условиях хозяйствования наиболее эффективная организация продвижения строительной продукции обеспечивается с помощью распределительной логистики. Одной из эффективных форм совершенствования сбытовой деятельности строительного предприятия и стимулирования продаж является возможность интеграции маркетинга и распределительной логистики строительного предприятия.

Распределительная логистика представляет собой процесс управления коммерческим, каналным и физическим распределением готовой продукции и услуг с целью удовлетворения спроса потребителей и извлечения прибыли [7]. Распределительная логистика охватывает всю цепь системы распределения – складирование, транспортировку, продажи.

Основная цель логистической системы распределения – доставить товар в нужное место и в нужное время. Специфика готовой строительной продукции как преимущественно объектов недвижимости делает физическое распределение, то есть транспортировку, складирование, погрузочно-разгрузочные работы не характерными. Исследования показывают, что расходы по физическому распределению строительной продукции составляют до 15% выручки от продаж [16]. Поэтому, можно определить распределительную логистику в строительстве как процесс управления экономическими потоками строительного предприятия, связанными с продвижением строительных материалов на рынок и включающими два аспекта: первый – уровень обслуживания, то есть доступность готовой строительной продукции для потребителей; второй – управление ресурсами строительного предприятия для ускорения оборота капитала.

Следует отметить, что в отличие от функции маркетинга по выявлению спроса и стимулированию сбыта, распределительная логистика призвана удовлетворить сформированный маркетингом спрос на строительную продукцию с минимальными затратами. Преобладающим фактором при этом является активное формирование спроса на строительную продукцию, когда строительное предприятие не воспринимает рынок пассивно, а проводит целенаправленную политику завоевания потребительских предпочтений, используя при этом все средства маркетинга и логистики.

Реализацию стратегии продвижения строительной продукции предлагается осуществлять на основе распределения функций по продвижению строительной продукции на рынок (табл.4). При рациональном сопряжении функций распределения между производителем, посредниками и потребителями строительной продукции, можно получить значимый синергетический эффект, выражающийся в росте объемов продаж, снижении расходов на продвижение продукции к потребителям, увеличении доходов всех участников процесса продвижения.

Очевидно, что решение задачи организации стимулирования каналов сбыта строительной продукции играет при этом главную роль. В этом случае вполне допустимо объединение маркетинговых и логистических усилий различных строительных организаций путем создания совместных органов сбыта, то есть единых логистических цепей.

Таблица 4. Функциональная модель продвижения строительной продукции
Table 4. Functional model of promotion of construction products

Функции маркетинга	Функции распределительной логистики	Функции производителя	Функции заказчиков
Маркетинговые исследования	Маркетинговые исследования	Предоставление информации покупателям	Предоставление информации производителю
Разработка программы маркетинга	Установление контактов	Оптимизация хозяйственных связей	Заключение договоров
Стимулирование сбыта	Стимулирование сбыта	Стимулирование покупателей	Инвестирование средств
Управление продвижением	Организация товародвижения	Выбор распределительной сети	Приобретение продукции
Управление риском	Принятие риска	Распределение риска	Передача части риска производителю

С другой стороны, возможны интеграции коммерческих посредников, которые могут создавать договорные компании или товарищества в целях контроля рынка строительной продукции. Главное – соблюдать принципы, среди которых выделяем следующие: соответствие каналов распределения маркетинговой и логистической стратегии строительного предприятия; учет особенностей строительной продукции как товара; учет специфики рынка строительной продукции [13].

Такая интеграция распространена при активном партнерстве с покупателями (бриджинге). Бриджинг позволяет уменьшить неопределенность за счет более тесного взаимодействия между организациями. Партнерские методы позволяют компаниям осуществлять бриджинг с заинтересованными сторонами, преследуя общие цели, в то время как традиционная тактика смягчения негативного воздействия факторов внешней среды уменьшает лишь уровень нежелательных последствий.

Используя тактику активного партнерства, строительная организация может выбрать путь создания более прочных связей с покупателями путем вовлечения их непосредственно в свои программы разработки продукции, программы ее совершенствования, модернизации и развития, в планирование продукции и графики работы [15].

В тесном сотрудничестве с покупателями строительная организация скорее получит более полную информацию о направлении развития рынка, предвидит будущие потребности в продукции, максимизирует вероятность успеха и минимизирует время, необходимое для разработки и представления на рынок новой продукции, формирует отношения доверия и взаимного уважения между группами связанных с ней заинтересованных лиц. Совместное партнерство по продвижению строительной продукции на рынок должно быть направлено, прежде всего, на создание и реализацию общих целей, а не на простое приспособление к инициативам заинтересованных сторон. Для малого бизнеса в строительстве бриджинг является наиболее приемлемой формой, обеспечивающей снятие барьеров для выхода на рынок.

Вывод. В настоящее время рынок все более ориентируется на комфортное строительство и требует применения энергоэффективных технологий и экологически чистых строительных материалов. Именно указанные сегменты ощущают на себе первыми такие потребительские запросы и должны сопровождаться эффективной стратегией продвижения продукции на рынок.

Стратегический подход к продвижению строительной продукции на рынок предопределяет создание системы эффективных интегрированных маркетинговых коммуникаций, реализуемых в форме стратегического партнерства – бриджинга.

Реализация стратегии продвижения строительной продукции является надежной основой для усиления рыночных позиций строительных предприятий в жестких условиях конкурентной среды.

Библиографический список:

1. Портер Майкл. Конкурентная стратегия: Методика анализа отраслей и конкурентов/ Майкл Портер; Пер. с англ. - 3-е изд. - М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. - 453 с.
2. Левицкий Т.Ю., Зинченко Н.В. Стратегическое позиционирование строительной продукции на конкурентном рынке. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015; 37(2): 124-131. DOI:10.21822/2073-6185-2015-37-2-124-131.
3. Calof J., Richards G., Smith J. (2015) Foresight, Competitive Intelligence and Business Analytics — Tools for Making Industrial Programmes More Efficient. Foresight-Russia, vol. 9, no 1, pp. 68–81. DOI: [10.17323/1995-459X.2015.1.68.81](https://doi.org/10.17323/1995-459X.2015.1.68.81).
4. Correia, R.A.F., 2011. Territorial marketing: Interaction between industrial and regional networks International Review on Public and Nonprofit Marketing, 8(1): pp.93-95.
5. Min W. A study on the branded content as marketing communication media in the viewpoint of relational perspective. Indian Journal of Science and Technology. 2015; 8(1):24–9. DOI: [10.17485/ijst/2015/v8iS5/61606](https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8iS5/61606).
6. The Regional Development Strategy Based on Territorial Marketing (The Case of Russia) Nailya Bagautdinova, Ilshat Gafurov, Nataliya Kalenskaya and Aida Novenkova. World Applied Sciences Journal 18 (Special Issue of Economics): 179-184, 2012. DOI: [10.5829/idosi.wasj.2012.18.120030](https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.18.120030).
7. Maryam Parsi Creating Distinct Strategies for Marketing Campaigns Enterprise Dadevarzan Virtual Corp. Indian Journal of Science and Technology. DOI: [10.17485/ijst/2016/v9i27/97588](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i27/97588).
8. The construction sectors and its SMEs in figures [Electronic resource]. – European Builders Confederation, 2011. – Mode of access: <http://www.eubuilders.org/keyfigure.asp?ID=keyfi> (дата обращения – 24.11.2014).
9. The construction sectors and its SMEs in figures [Electronic resource]. – European Builders Confederation, 2011. – Mode of access: <http://www.eubuilders.org/keyfigure.asp?ID=keyfi> (дата обращения – 24.11.2014).
10. The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets. – Bedford MA: McGraw Hill Constructions, Smart Market Report, 2014.
11. Strategy for the Sustainable Competitiveness of the Construction Sector and its Enterprises // Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. COM(2012) 433 final. – Brussels, 31.7.2012.
12. Sidney M. Levy. Project Management in Construction. 6th Edition. – N.Y., 2012.
13. Каминский М.А. Исследование требований к деятельности строительных предприятий в условиях новой модели экономического роста // Экономика и предпринимательство. 2013. №11(40).
14. Эсетова А.М. Проблемы стимулирования сбыта как инструмента управления конкурентоспособным потенциалом строительного предприятия// Проблемы современной экономики. – 2007. – № 2 (22). – С. 243-247.
15. Эсетова А.М. Обоснование стратегии развития строительного предприятия в конкурентной среде // Экономические стратегии. – 2008. – № 3 (61) – С. 118-123.
16. Рой Л.В., Третьяк В.П. Анализ отраслевых рынков. Учебник. Издательство: Инфра-М. 2010. 448 с.
17. Обзор затрат на строительство и строительные материалы в России [Электронный ресурс]. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ru/pf/2017/01/-building-materials-costs.pdf>
18. Бюллетень «Строительный комплекс Российской Федерации в 2016 г.
19. Деловой климат в строительстве в I квартале 2017 года. – М.: НИУ ВШЭ, 2017. – 20 с.

References:

1. Porter Maykl. Konkurentnaya strategiya: Metodika analiza otrasley i konkurentov. Per. s anlg. 3-e izd. Moscow: Al'pina Biznes Buks; 2007. 453 s. [Porter Maykl. Competitive strategy: the analysis of industries and competitors. 3rd edition. Moscow: Al'pina Biznes Buks; 2007. 453 p. (in Russ.)]
2. Levitskiy T.Yu., Zinchenko N.V. Strategicheskoe pozitsionirovanie stroitel'noy produktsii na konkurentnom rynke. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2015; 37(2): 124-131. DOI:10.21822/2073-6185-2015-37-2-124-131 [Levitskiy T.Yu., Zinchenko N.V. Strategic positioning of construction products in a competitive market. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2015; 37(2): 124-131. DOI:10.21822/2073-6185-2015-37-2-124-131 (in Russ.)].
3. Calof J., Richards G., Smith J. Foresight. Competitive Intelligence and Business Analytics — Tools for Making Industrial Programmes More Efficient. Foresight-Russia. 2015; 9(1):68-81. DOI: [10.17323/1995-459X.2015.1.68.81](https://doi.org/10.17323/1995-459X.2015.1.68.81).
4. Correia R.A.F. Territorial marketing: Interaction between industrial and regional networks. International Review on Public and Nonprofit Marketing. 2011; 8(1):93-95.
5. Min W. A study on the branded content as marketing communication media in the viewpoint of relational perspective. Indian Journal of Science and Technology. 2015; 8(1):24–9. DOI: [10.17485/ijst/2015/v8iS5/61606](https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8iS5/61606).
6. Bagautdinova N., Gafurov I., Kalenskaya N., Novenkova A. The Regional Development Strategy Based on Territorial Marketing (The Case of Russia). World Applied Sciences Journal 18 (Special Issue of Economics): 179-184, 2012. DOI: [10.5829/idosi.wasj.2012.18.120030](https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.18.120030).
7. Parsi M. Creating Distinct Strategies for Marketing Campaigns Enterprise Dadevarzan Virtual Corp. Indian Journal of Science and Technology. DOI: [10.17485/ijst/2016/v9i27/97588](https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i27/97588).
8. The construction sectors and its SMEs in figures [Electronic resource]. European Builders Confederation; 2011. Mode of access: <http://www.eubuilders.org/keyfigure.asp?ID=keyfi> (access date – 24.11.2014).
9. The construction sectors and its SMEs in figures [Electronic resource]. European Builders Confederation; 2011. Mode of access: <http://www.eubuilders.org/keyfigure.asp?ID=keyfi> (access date – 24.11.2014).
10. The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets. Bedford MA: McGraw Hill Constructions, Smart Market Report; 2014.
11. Strategy for the Sustainable Competitiveness of the Construction Sector and its Enterprises // Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. COM(2012) 433 final. Brussels, 31.7.2012.
12. Levy S.M. Project Management in Construction. 6th Edition. N.Y.; 2012.
13. Kaminskiy M.A. Issledovanie trebovaniy k deyatelnosti stroi tel'nykh predpriyatiy v usloviyakh novoy modeli ekonomicheskogo rosta. Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2013; 11(40):456-458. [Kaminskiy M.A. Investigation of requirements for the activity of construction enterprises under the conditions of a new model of economic growth. Journal of Economy and entrepreneurship. 2013; 11(40):456-458. (in Russ.)]
14. Esetova A.M. Problemy stimulirovaniya sbyta kak instrumenta upravleniya konkurentosposobnym potentsialom stroitel'nogo predpriyatiya. Problemy sovremennoy ekonomiki. 2007; 2 (22):243-247. [Esetova A.M. Problems of sales promotion as a tool for managing the competitive potential of a construction enterprise. Problems of modern economics. 2007; 2 (22):243-247. (in Russ.)]
15. Esetova A.M. Obosnovanie strategii razvitiya stroitel'nogo predpriyatiya v konkurentnoy srede. Ekonomicheskie strategii. 2008; 3(61):118-123. [Esetova A.M Justification of the development strategy of a construction company in a competitive environment. Economic strategies. 2008; 3(61):118-123. (in Russ.)]

16. Roy L.V., Tret'yak V.P. Analiz otraslevykh rynkov. Uchebnik. Moscow: Izdatel'stvo Infra-M; 2010. 448 s. [Roy L.V., Tret'yak V.P. Analysis of industry markets. Tutorial. Moscow: Izdatel'stvo Infra-M; 2010. 448 p. (in Russ.)]
17. Overview of the cost of construction and building materials in Russia <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ru/pdf/2017/01/ru-ru-building-materials-costs.pdf> (in Russ.)
18. Bulletin «Construction Complex of the Russian Federation in 2016» (in Russ.)
19. Business climate in construction in the I quarter of 2017. - Moscow: NIU HSE, 2017(in Russ.)

Сведения об авторах.

Рамазанова Фатима Мирземагомедовна – аспирантка, кафедра мировой экономики.

Эсетова Аида Махмудовна – доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой мировой экономики.

Information about the authors.

Fatima M. Ramazanova – postgraduate, Department of world economy.

Aida M. Esetova – Dr. Sc. (Economic), Department of world economy.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 18.01.2017.

Принята в печать 1.02.2017.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 18.01.2017.

Accepted for publication 1.02.2017.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Верстка журнала осуществляется с электронных копий. Используется компьютерная обработка штриховых и полутоновых (в градациях серого) рисунков. Журнал изготавливается по технологии офсетной печати. В редакцию журнала необходимо представить:

- распечатку рукописи (2 экз.); распечатка должна представлять собой письменную копию файла статьи;
- электронную копию (допустима передача по электронной почте);
- экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати (1 экз.);
- справку об авторах и ее электронную копию (1 экз.);
- рекомендацию кафедры (отдела) к опубликованию (следует указать предполагаемую рубрику) (1 экз.);
- две рецензии от докторов наук; подписи рецензентов должны быть заверены по месту их работы;
- сопроводительное письмо (1 экз.) для сторонних авторов.

Правила оформления текста

Текст подготавливается в текстовом редакторе MicrosoftWord. Статья должна предусматривать разделы: «Введение», «Постановка задачи», «Методы исследования», «Обсуждение результатов», «Вывод» или «Заключение». Объем статьи не должен превышать 6-7 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий.

Формулы подготавливаются во встроенном редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType.

Шрифтовое начертание обозначений в формулах, в таблицах и в основном тексте должно быть полностью идентичным.

Ссылки на формулы и таблицы даются в круглых скобках, ссылки на использованные источники (литературу) - в квадратных скобках.

Формат бумаги А4. Параметры страницы: поля - левое 3 см, верхнее и нижнее 2 см, правое 1,5 см; колонтитулы отсутствуют.

Элементы заглавия публикуемого материала

- УДК/ББК
- Перечень авторов (разделяется запятыми, инициалы после фамилий, на русском и английском языке); выравнивание справа.
- Название статьи (на русском и английском языке).
- Аннотация (Abstract) – 100-250 слов или 850 знаков, характеризующих содержание статьи (на русском и английском языке).
- Ключевые слова (keywords) 5-10 слов или словосочетаний, отражающих содержание статьи (на русском и английском языке).

Каждый элемент заглавия приводится, начиная с новой строки; выравнивание проводится по центру.

Основной текст

Шрифт TimesNewRoman 12 pt, выравнивание по ширине, первая строка с отступом 1,25 см, межстрочный интервал - 1.

Библиографический список

Строка с текстом «**Библиографический список:**». Библиографический список на русском языке выполняется по ГОСТ Р 7.0.5 -2008.

Библиографический список должен составлять от 20 до 30 наименований источников литературы, среди которых от 40 - 70 % ссылок на иностранные источники. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Обязательно цитирование современных работ, изданных по тематике статьи за последние 5 лет. Доля ссылок на статьи авторов рукописи, изданных ранее, не должна превышать 20% от общего количества ссылок.

Библиографический список обязательно должен быть переведен на английский язык. «References» должен быть составлен в формате Ванкувер на английском языке.

Ссылки на материалы, размещенные на электронных носителях, следует допускать в крайнем случае.

Редакция оставляет за собой право потребовать от автора замены ссылки, если на момент обработки статьи по указанному адресу материал будет отсутствовать.

Справка об авторах

Включает для каждого автора фамилию, имя, отчество (полностью), год рождения, ученую или академическую степень, ученое звание, название и полный адрес места работы. Обязательно указывается адрес электронной почты. Сведения представляются на русском и английском языках.

Верстка формул

Формулы подготавливаются во встроенном редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType; нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи; использование при нумерации букв и других символов не допускается.

Выписанные в отдельную строку формулы выравниваются по середине строки, номер заключается в круглые скобки и выравнивается по правому краю текста. Все впервые встречающиеся в формуле обозначения должны быть расшифрованы сразу после формулы.

Верстка рисунков

Рисунки, представляющие собой графики, схемы и т. п., должны быть выполнены в графических векторных редакторах (встроенный редактор Microsoft Word, CorelDraw, Microsoft Visio и т. п.). Использование точечных форматов (.bmp, .jpeg, .tif, .html) допустимо только для рисунков, представление которых в векторных форматах невозможно (фотографии, копии экрана монитора и т. п.).

Верстка таблиц

Таблица состоит из следующих элементов: нумерационного заголовка (слова «Таблица» и ее номера арабскими цифрами); шапки (заголовочной части), включающей заголовки граф (объясняют значение данных в графах); боковика (первой слева графы) и прографки (остальных граф таблицы).

Требования к рецензированию и хранению рецензий научных статей, поступивших в редакцию журнала

Научная статья, поступившая в редакцию журнала, рассматривается ответственным редактором на соответствие тематике и направлениям журнала, правилам оформления и наличие сопроводительных документов.

Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в редакции издания в течение 5 лет.

При поступлении соответствующего запроса редакция вправе направлять копии рецензий в Министерство образования и науки РФ.

План-график издания журнала

Выпуск 1 (март) – прием статей до 31 декабря предыдущего года;

Выпуск 2 (июнь) – прием статей до 31 марта текущего года;

Выпуск 3 (сентябрь) – прием статей до 30 июня текущего года;

Выпуск 4 (декабрь) – прием статей до 30 сентября текущего года.

Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются. Рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлгией окончательного текста статьи. Рукописи аспирантов публикуются бесплатно.

Адрес редакционного совета: 367030, РД, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «ДГТУ», Учебно-лекционный корпус 2, редакция журнала «Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки». Технические вопросы можно выяснить по электронному адресу: vestnik.dgtu@mail.ru и по телефону 8(8722)62-39-64.

FORMATTING REQUIREMENTS FOR PAPERS

Electronic copies are used when laying out the journal. Computer processing is used for line and halftone (grayscale) graphics. The journal is produced by offset printing technology. Therefore, the following should be submitted to the editor:

- a printout of the manuscript (2 copies.); the printout should be a hard copy of the electronic article file;
- electronic copy (e-mail is acceptable);
- an expert opinion supporting the article's suitability for publication (1 copy.);
- information about the author including electronic copy (1 copy.);
- departmental recommendation for publication on official letterhead (1 copy);
- two reviews by doctors of science; the signature must be certified by the reviewers according to their official academic position;
- cover letter (1 copy for third-party authors).

Guidance for the preparation of texts

The text should be prepared in Microsoft Word. The article must include sections entitled: "**Introduction**", "**Background**", "**Methods**", "**Results and Discussion**", "**Conclusion**". The paper should not exceed 9-10 pages of typescript and 5 images or photos.

Formulae should be prepared in Microsoft Word's built-in equation editor or MathType.

Font symbols used in formulae, tables and in the main text must be completely identical.

References to formulae and tables are given in round brackets; references to the sources referred to (literature) – in square brackets.

Paper size – A4. Page setup: margins – left 3 cm, top and bottom – 2 cm, right – 1.5 cm; no headers or footers.

Elements of the title of the published material

- UDC / LBC
- List of authors (separated by commas; initials after surnames; in Russian and English); alignment right.
- Title of the article (in Russian and English).

- Abstract – 200-250 words or 850 characters describing the content of the article (in Russian and English).
- Keywords – 5-10 words or phrases that reflect the content of the article (in Russian and English). Each title element should start on a new line; aligned centre.

Body text

Font TimesNewRoman 12 pt, full justification, first line with 1.25 cm indentation, line spacing – 1.

Bibliography

Line with text "**Bibliography**": References in Russian prepared according to GOST R 7.0.5 -2008.

References should consist of between 20 and 30 items of source literature, including 40–70% of references to foreign sources. References to unpublished works are not permitted.

Only recent works on the subject of the article published within the past 5 years should be cited. The proportion of references to articles previously published by the authors should not exceed 20% of the total number of references.

The bibliography must be translated into English. "References" should be drawn up according to the "Vancouver" or "Harvard" standard. Please indicate your chosen standard when formulating the bibliography.

Links to material on electronic media shall be allowed as a last resort. The editors reserve the right to require a replacement reference from the author if an item is absent at a specified address at the time of processing of the article.

Information about authors

For each author, the following information should be provided: last name, first name and patronymic (in full), year of birth, scientific or academic degree, academic title, brief academic biography (no more than 5-6 lines), name and full address of place of work. The specification of an email address is mandatory.

Composition of formulas

Formulas should be prepared in the built MicrosoftWord equation editor or MathType Editor; only those formulas that are referenced in the text should be numbered; the use of letters or other characters is not permitted when enumerating equations.

Formulas written out on a separate line are aligned to the middle of the line; their respective numbers shall be in parentheses and right-aligned. All symbols occurring in the formula for the first time must be decoded immediately after the formula.

Layout of figures

Drawings, consisting of graphs, charts, etc. should be prepared in graphic vector editors (the internal editor of MicrosoftWord, CorelDraw, MicrosoftVisio etc.). The use of bitmap formats (.bmp, .jpeg, .tif) is only permissible for graphics whose presentation is not possible in vector formats (photos, screenshots, etc.).

Layout of tables

A table should consist of the following elements: numerical title (the word "Table" and its number in Arabic numerals); title (header section) including column headings (explaining the meaning of the data in the columns); side heading (the first column on the left) and the table body (the other columns of the table).

Reviewing requirements for and saving of scientific article reviews, received by the journal editorial staff

A scientific article received by the editorial office is considered by the responsible editor in terms of its compliance with topics and directions of the magazine, formatting guidelines and availability of supporting documents.

The editorial staff carries out a review of all incoming materials to the editor with a view to peer review. All reviewers are acknowledged experts on the topic of the peer-reviewed material. Reviews are stored at the editorial office for 5 years.

On receipt of a proper request, editorial staff have the right to submit copies of reviews to the RF Ministry of Education and Science.

Publication schedule

Issue 1 (March) – articles accepted until 31 December of the previous year;

Issue 2 (June) – articles accepted until March 31 of the present year;

Issue 3 (September) – articles accepted until 30 June of the present year;

Issue 4 (December) – articles accepted until September 30 of the present year;

The Editorial Board reserves the right to make editorial changes which do not distort the main content of the article.

Articles that do not conform to formatting guidelines will not be taken into consideration. Manuscripts and electronic media will not be returned. The date of acceptance shall be deemed to be the date of receipt of the final text by the editorial board. The manuscripts of graduate students are published free of charge.

Address of the editorial board: pr. Imama Shamilya, 70, Makhachkala, Dagestan, 367030, Dagestan State Technical University, Tutorial-Lecture Building 2, Editorial Board «Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences». Technical questions can be clarified by e-mail: vestnik.dgtu@mail.ru or by telephone 8 (8722) 62-39-64.

Министерство образования и науки РФ



ВЕСТНИК
ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
Махачкала, Том 44– №1 – 2017.

HERALD
OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY.
TECHNICAL SCIENCES
Makhachkala, Volume 44, No.1, 2017.

Верстка: Рамазанова Ф.М.

Адрес редакции:

367026, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

Тел./факс(8722)623715
(8722)623964

E-mail: vestnik.dgtu@mail.ru Website: <http://vestnik.dgtu.ru>

Layout: Fatima M.Ramazanova

Editorial address: 70 I. Shamil Ave., Makhachkala, the Republic of Daghestan 367026, Russia.

FSBEE HE «DSTU»
Tel./fax (8722)623715
(8722)623964

«БЕСПЛАТНО»

Подписано в печать 29.03.2017 г. Сдано в печать 30.03.2017 г.

Формат 60x84 ¹/₈. Гарнитура «Times». Бумага офсетная

Тираж 500. Усл. п.л. 27,06 Уч. изд.л. 26,55

Заказ № _____

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Лотос»
367018. Республика Дагестан, г. Махачкала, пр-кт Петра I, 61.