

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, №3, 2017.

ВЕСТНИК

**ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Volume 44, No.3, 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 Т 71366 в федеральном каталоге периодических изданий ОАО Агентства «Роспечать».

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).

Журнал включен в российские и международные открытые репозитории научной информации; подключен к международной системе библиографических ссылок и находится в директории журналов открытого доступа: CrossRef; Google Scholar; Ulrich's Periodicals Directory; Open Archives; Research Bible; Directory of Open Access Journals (DOAJ); Соционет, КиберЛенинка.

© 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 T71366 is in the federal catalogue of periodicals of the JSC Rospechat Agency.

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).

The journal is included in the Russian Citing Systems (RCS) and in the open repositories of scientific information connected with international system of bibliographic references: CrossRef; Google Scholar; Ulrich's Periodicals Directory; Open Archives; Research Bible; Directory of Open Access Journals (DOAJ); Socionet; CyberLeninca.

© 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, № 3, 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. Былалов 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., профессор 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 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.</p> <p>Члены редакционного совета 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. Бабанлы М.Б.-О., д.т.н., профессор, ректор Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджанская республика. Давидюк 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. 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, №3 Махачкала, 2017 – 236с.</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

К ЮБИЛЕЮ	8
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ	
МЕХАНИКА	14
<i>Ахмедова М.Р., Гусейнов Р.В.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ	14
<i>Мурадова С.Ш., Федосеева Л.В.</i> ВОЗДЕЙСТВИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА СТЕНКИ ЩЕЛЕВЫХ БУНКЕРОВ	24
<i>Родионов В.П., Уколов А.И.</i> ЗАКОНОМЕРНОСТИ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	39
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ	48
<i>Ахмедов Г.Я., Курбанисмаилова А.С.</i> ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНЫХ С ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ВОДОЙ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ	48
<i>Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Давыдова К.М., Магомедова П.А., Челушкина Т.А.</i> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ОПРЕСНИТЕЛЬ	61
<i>Макеев А.Н.</i> ВЫБОР СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ АБОНЕНТОВ К ТЕПЛОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ИМПУЛЬСНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОБОРУДОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ	72
<i>Передков С.А., Рамазанов Р.К., Юсуфов Ш.А.</i> ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОТВОДА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	83
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	93
<i>Абдуллаева З.М.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СУДНА НА МЕЛКОВОДЬЕ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЕ	93
<i>Васева Е.С., Кашин С.В.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА НОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	103
<i>Ветров А.Н.</i> БЛОК ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ В АДАПТИВНОЙ СРЕДЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ	112
<i>Пыльский В.А., Якунин А.Г.</i> ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ Е-СЛОЯ	126

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА	136
<i>Абрамкина Д.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ С ТЕПЛОВЫМ ПОБУЖДЕНИЕМ	136
<i>Гаджиев А.М., Курбанов Р.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А.</i> ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ЖАРОСТОЙКОГО БАЗАЛЬТОВОГО БЕТОНА	146
<i>Инжутов И.С., Мезенцев В.В., Рожков А.Ф., Хованский М.Е.</i> УЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ ДРЕВЕСИНЫ В РАСЧЕТАХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ ЛИНЗООБРАЗНОЙ БЛОК-ФЕРМЫ	156
<i>Коллеганов А.В., Коллеганов Н.А., Маилян Д.Р., Несветаев Г.В.</i> К РАСЧЕТУ СЕЧЕНИЙ, УСИЛЕННЫХ РЕМОНТНЫМИ СОСТАВАМИ	165
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ	174
<i>Гулиев М.Е.</i> РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЦЕПОЧКИ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ КООПЕРАЦИИ	174
<i>Иванов Н.А., Кожушкина И.В., Оборин М.С., Шерешева М.Ю.</i> РАЗРАБОТКА ХАРАКТЕРИСТИК ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ С ЦЕЛЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ	185
<i>Исмаилов Р.Т., Магомедов А.Г.</i> УПРАВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В НЕСТАБИЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ	199
<i>Исмаилова Ш.Т., Мелехин В.Б., Хачумов В.М.</i> ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПО СТЕПЕНИ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ	210
<i>Эмирбекова Д.Р.</i> ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ	222
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ	232

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. 3, 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; Abdulgalim M. Abdulgalimov, 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. Batdalov, 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, 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, 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; Gadzhimurad 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 NII ZHB, 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, Berlin, Germany /Deutschland. Magomed Kh. Magomedov, Doctor of Mathematics and Physics, General Director, "SAUNO" Ltd. Moscow, Russia. Gregory V. Nesvetayev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Construction Technologies Department, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia. 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 align="center">Herald of Daghestan State Technical University.</p> <p>Technical Science Volume 44, No.3 Makhachkala, 2017 –236p.</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

TO ANNIVERSARY	8
PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE MECHANICS	14
<i>Milena R. Akhmedova, Rasul V. Guseynov</i> DETERMINATION OF OSCILLATOR CIRCUIT PARAMETERS OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS OF THE CUTTING PROCESS WITH A METAL CUTTING TOOL ...	14
<i>Safura Sh. Muradova, Lyudmila V. Fedoseeva</i> IMPACT OF LOOSE MATERIALS ON TRACK HOPPER WALLS	24
<i>Victor P. Rodionov, Alexey I. Ukolov</i> THE LAWS OF CAVITATION EROSION OF CONSTRUCTION MATERIALS	39
TECHNICAL SCIENCE POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING	48
<i>Ganapi Ya. Akhmedov, Azha S. Kurbanismailova</i> THE OPERATION OF POWER EQUIPMENT DURING THE DISPOSAL OF COMBUSTIBLE GASES ASSOCIATED WITH GEOTHERMAL WATER	48
<i>Tagir A. Ismailov, Khadzhimurat M. Gajiyev, Kistaman M. Davidova, Tatyana A. Chelushkina, Patimat A. Magomedova</i> ENERGY EFFICIENT DESALINATOR	61
<i>Andrey N. Makeev</i> SELECTING THE SCHEME OF TECHNOLOGICAL CONNECTION OF SUBSCRIBERS TO THE HEAT NETWORK UNDER CONDITIONS OF TRANSITION TO PULSE CIRCULATION OF THE HEATER IN THE EQUIPMENT OF HEAT SUPPLY UNITS	72
<i>Sergey A. Peredkov, Rustam K. Ramazanov, Shirali A. Yusufov</i> THE RMOELECTRIC HEAT REMOVAL SYSTEM FOR THE OPERATIONAL STABILISATION OF HEAT PIPES IN A SYSTEM FOR PROVIDING THE THERMAL REGIME OF RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT	83
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT	93
<i>Zalina M. Abdullaeva</i> MODELING OF SHIP MOVEMENT IN SHALLOW WATER ACCORDING TO A SPECIFIC TRAJECTORY AT VARIABLE DEPTH	93
<i>Elena S. Vaseva, Sergey V. Kashin</i> AUTOMATION OF ACCOUNTING THE NUMERIC PARTS AND UNITS AT MANUFACTURING ENTERPRISES	103
<i>Anatoly N. Vetrov</i> BLOCK OF PARAMETRIC COGNITIVE MODELS FOR SYSTEM ANALYSIS OF INFORMATIONAL EXCHANGE EFFICIENCY IN AN ADAPTIVE AUTOMATED TRAINING ENVIRONMENT	112
<i>Vadim A. Pylsky, Alexey G. Yakunin</i> PROGRAM COMPLEX FOR THE CALCULATION AND DESIGN OF ACTIVE FILTERS BASED ON THE E-LAYER MODEL	126

BUILDING AND ARCHITECTURE	136
<i>Darya V. Abramkina</i> SIMULATION OF FREE CURRENT FLOWS IN BUOYANCY-DRIVEN VENTILATION SYSTEMS	136
<i>Abdulla M. Gadzhiev, Ramazan M. Kurbanov, Khaji N Khadzhishalapov, Tolya A. Hejev</i> THE INFLUENCE OF THE FILLER GRAIN COMPOSITION ON THE PROPERTIES OF THE HEAT-RESISTANT BASALTIC CONCRETE	146
<i>Ivan S. Inzhutov, Vladislav V. Mezentsev, Alexander F. Rozhkov, Maxim E. Khovansky</i> THE CALCULATION OF WOODEN CONSTRUCTIONS TAKING INTO ACCOUNT THE CREEP OF WOOD ON THE EXAMPLE OF A STATICALLY INDETERMINATE LENTICULAR BLOCKED TRUSS	156
<i>Aleksey V. Kolleganov, Nikita A. Kolleganov, Dmitry R. Mailyan, Grigory V. Nesvetaev</i> ON THE CALCULATION OF SECTIONS REINFORCED BY REPAIR COMPOUNDS	165
ECONOMIC SCIENCE	174
<i>Mushfig E. Guliyev</i> REGIONAL CHAINS OF ADDED VALUE AS A TOOL OF INDUSTRIAL COOPERATION-COMPETITIVENESS	174
<i>Nikolay A. Ivanov, Irina V. Kozhushkina, Matvey S. Oborin, Marina Yu. Sheresheva</i> DEVELOPMENT OF THE CHARACTERISTICS OF THE INSTITUTIONAL ENVIRONMENT FOR THE MODELING OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS	185
<i>Rustam T. Ismailov, Arbuli G. Magomedov</i> MANAGEMENT AND EVALUATION OF EFFICIENCY OF USING THE PRODUCTION POTENTIAL OF A CONSTRUCTION ORGANISATION IN AN UNSTABLE ECONOMIC ENVIRONMENT	199
<i>Shani T. Ismailova, Vladimir B. Melekhin, Vyacheslav M. Khachumov</i> INFORMATION-ANALYTICAL MODEL FOR THE SELECTION OF MANAGEMENT METHODS ACCORDING TO THE DEGREE OF THEIR INFLUENCE ON EFFICIENCY OF PRODUCTION ACTIVITY OF CONSTRUCTION ORGANISATIONS	210
<i>Jaminat R. Emirbekova</i> INCREASED COMPETITIVENESS OF CONSTRUCTION ENTERPRISES ON THE BASIS OF ORGANISATIONAL-ECONOMIC DECISIONS OF PERSONNEL POTENTIAL MANAGEMENT	222
FORMATTING REQUIREMENTS FOR PAPERS	232

К ЮБИЛЕЮ!

ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ – 45 ЛЕТ!

Дагестанский государственный технический университет – учреждение высшего образования инновационного типа, обладающее высоким интеллектуальным и научным потенциалом. С момента создания университет подготовил более 50 тысяч специалистов востребованных инженерных профессий, обеспечив кадрами высшей квалификации многие отрасли республики и страны.

Решение об организации Дагестанского политехнического института было принято на основании Постановления Совета Министров СССР от 24 декабря 1970 г., № 1021. Приказом Министра высшего и среднего специального образования РСФСР от 17 августа 1971 г., №330 были утверждены структура Дагестанского политехнического института, перечень кафедр, лабораторий и кабинетов, а также совещательных органов института. Приказом Министра высшего и среднего специального образования РСФСР от 24 февраля 1972 г., №71 были окончательно решены все организационные вопросы и создан Дагестанский политехнический институт. Приказом Государственного комитета РФ по высшему образованию от 5 июня 1995 г., №852 Дагестанский политехнический институт был преобразован в Дагестанский государственный технический университет.

Первым ректором Дагестанского политехнического института был назначен Магомедов Камиль Магомедович, доктор физико-математических наук, профессор. В 1985г. институт возглавил Аминов Маил Султанович, доктор технических наук, профессор. С 2002 года вузом руководит Тагир Абдурашидович Исмаилов, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ.

Опираясь на исторические традиции, наращивая интеллектуальный капитал, используя современные методики и стратегии инновационного развития, непрерывно совершенствуя направления деятельности, университет сегодня вышел на передовые позиции в науке, образовании и воспитательной сфере.

В структуре вуза 12 факультетов, 54 кафедры, 5 научно-исследовательских институтов, 3 филиала, 24 специализированных центра, в том числе крупнейший в СКФО Центр современных информационных технологий, где установлен и используется в учебном процессе и научных исследованиях суперкомпьютер (вычислительный кластер HPProliant); Международный учебно-научный центр ДГТУ; Учебно-научный центр «Современные электронные элементы и технологии», созданный совместно с компаниями Analog Devices, Inc.; Всероссийский инженеринговый центр микроспутниковых компетенций и др.

В 2017 году с целью выявления и поддержки одаренных детей на уровне довузовского образования, обеспечения соответствующих условий для их образования и творческого развития в интересах личности, общества и государства создан и функционирует Центр для одаренных детей ДГТУ «Сириус-Альтаир». В вузе функционирует «Центр повышения квалификации и переподготовки руководящих работников и специалистов». На профильных предприятиях и в организациях республики создана 21 базовая кафедра университета.

Подготовку специалистов осуществляет высококвалифицированный научно-педагогический коллектив, состоящий из докторов наук и профессоров, кандидатов наук и доцентов, членов-корреспондентов РАН и РААСН, академиков и членов-корреспондентов российских и международных общественных академий.

Деятельность университета лицензирована по 49 направлениям бакалавриата, 11 – специалитета, 40 – магистратуры, 24 – аспирантуры и 7 специальностям среднего профессионального образования.

С целью реализации государственной политики в области подготовки национальных кадров для зарубежных стран, поддержки и развития академической мобильности образовательных услуг в университете ведется обучение иностранных граждан из стран дальнего и ближнего зарубежья, в том числе из Азербайджана, Афганистана, Белоруссии, Камеруна, Казахстана, Кот-д'Ивуара, Марокко, Украины, Узбекистана и Южной Кореи.

В университете проводится системная научно-исследовательская работа по 52 научным направлениям; функционируют 3 диссертационных совета по защите докторских и кандидатских диссертаций по техническим наукам, а также объединенный диссертационный совет по научной специальности «Экономика и управление народным хозяйством», созданный совместно с ФГБУН «Институт социально-экономических исследований ДНЦ РАН» и ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова».

Плодотворная изобретательская деятельность ученых университета находит подтверждение соответствующими патентами, свидетельствами и сертификатами. За последние 10 лет университетом получено более 2000 патентов и положительных решений на изобретения и полезные модели, а также 102 свидетельства на ЭВМ и базы данных, что является одним из лучших показателей среди вузов и научных учреждений РФ.

Передовые разработки университета экспонируются на крупнейших выставках научных достижений, среди которых: Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед», Международный Салон исследований и технологического трансфера «INVENTICA» (Румыния), Российско-Британский Форум изобретений и инновационных технологий (Великобритания), Весенняя ярмарка в г. Лейпциг (Германия), Международная выставка в г. Пекин (Китай), Международная научно-техническая выставка в г. Ганновер (Германия), Международный Салон изобретений и новых технологий «Новое Время» (Республика Крым), Всероссийская выставка-ярмарка научно-исследовательских работ и инновационной деятельности «ИННОВ» (г. Новочеркасск), Международная ярмарка изобретений SIFF в г. Сеул (Южная Корея), Международная техническая ярмарка «International Technical Fair 2016» (Болгария), Дагестанский экономический форум, выставки «Деловой Дагестан» и «Дагпродэкспо» и др.

С 2005 г. сотрудники университета принимают активное участие в программе «СТАРТ», организованной Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, в рамках которой создано 11 малых предприятий, занимающихся разработкой наукоемкой продукции. Создан бизнес-инкубатор, функционирующий в составе Технологического парка ДГТУ и обеспечивающий эффективную интеграцию образования, науки и производства.

Коллектив вуза активно участвует в выполнении научно-исследовательских работ по научно-техническим программам и грантам Президента РФ, Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), Российского гуманитарного научного фонда (РГНФ), а также по государственному заданию Министерства образования и науки РФ.

В университете реализуются проекты федеральных целевых программ: «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»; «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники»; «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», а также аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы».

На протяжении многих лет университет является победителем в конкурсе проектов по совершенствованию содержания и технологий целевого обучения студентов в интересах организаций оборонно-промышленного комплекса.

Преподаватели, студенты и аспиранты принимают также участие в Первом Республиканском конкурсе молодежных IT-проектов «DagITstan»; в Республиканском конкурсе молодежных инновационных проектов; в конкурсе «Лучшая научная статья» (г. Кельн, Германия); в конкурсе на соискание медалей Российской академии наук с премиями для молодых ученых РАН и т.д.

В ДГТУ традиционно проводятся внутривузовские конкурсы: «Молодой изобретатель», «Молодой программист», «Лучшая монография ДГТУ», «Гранты ректора ДГТУ», «Инновационный потенциал молодежи ДГТУ», победители которых получают грантовую поддержку.

Разработки ученых ДГТУ за последнее время дважды удостоивались государственной премии Республики Дагестан в области науки, техники, литературы, публицистики, искусства и архитектуры. За последние пять лет победителями программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (УМНИК) стали 58 студентов, аспирантов и молодых ученых.

Университет является соорганизатором 3 масштабных мероприятий регионального уровня, которые прошли на базе ДГТУ: II Форум промышленников и предпринимателей РД, Каспийский энергетический форум и Налоговый форум РД.

В университете имеется научно-техническая библиотека, ежегодно пополняемый фонд которой, составляет свыше 1 млн. экземпляров литературы.

В университете развита система организации участия студентов в олимпиадах и конкурсах различных уровней. Ежегодно проводится региональный этап Всероссийской олимпиады школьников по информатике, физике, экономике; Всероссийский конкурс выпускных квалификационных работ, Всероссийские предметные интернет-олимпиады и олимпиады по специальностям среди студентов. ДГТУ на протяжении многих лет является лидером по количеству победителей в олимпиадах и конкурсах, проводимых Молодежным союзом экономистов и финансистов Российской Федерации.

Одним из приоритетных направлений деятельности вуза является воспитательная работа, которая направлена на разностороннее развитие личности, формирование высокого уровня культуры, активной гражданской позиции и социальной активности.

В целях реализации молодежных инициатив, развития творческого и интеллектуального потенциала в университете функционируют: объединенный Совет обучающихся, Комитет по делам молодежи, Совет молодых ученых, студенческое научное общество, студенческий Совет общежитий, Студенческий клуб, спортивный клуб, футбольный клуб «Политех», волонтерский отряд «Твори добро», добровольческий отряд «Надежда», экологическое движение «Здоровое поколение», туристический отряд «Наследники ДГТУ», строительный отряд «Политех», Команда КВН «Сборная ДГТУ», интеллектуальный клуб «Технари» и хореографический ансамбль ДГТУ «Вершины Кавказа», ячейки Дагестанских региональных отделений ООМД «Ассоциация студентов и студенческих объединений России» и ООМО «Студенты России».

ДГТУ – пятикратный победитель Республиканского конкурса студенческой весны. Представляя Республику Дагестан на Всероссийской студенческой весне, ДГТУ одержал триумфальную победу в г. Челябинск, завоевав 3 первых, 2 вторых и 2 третьих места. Войдя в сборную Российской Федерации, ДГТУ стал обладателем Гран-при Международного фестиваля студенческой весны стран СНГ на Кавказе. Сборная команда КВН университета является победителем региональных турниров, занимает призовые места на Всероссийском конкурсе «Веселые! Здоровые! Удачливые!».

ДГТУ располагает двумя футбольными полями, современными тренажерными залами для занятий тяжелой атлетикой, гиревым спортом и фитнесом, залом для настольного тенниса, летней спортивной площадкой для занятий баскетболом и волейболом.

Особой гордостью университета является собственный плавательный бассейн – «Политех», построенный в рамках проекта «500 бассейнов для вузов России» ВПП «Единая Россия» и современный пятисекторный скалодром. На берегу Каспийского моря функционирует спортивно-оздоровительный лагерь «Политехник».

Иницилируя новые социально-экономические и инновационные проекты, ДГТУ успешно реализует приоритетные задачи системы высшего образования Российской Федерации.

TO ANNIVERSARY!

DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY – 45 YEARS!

Daghestan State Technical University is a higher educational establishment of innovative type, possessing high intellectual and scientific potential. Since its creation the university has trained more than 50 thousand experts of demanded engineering professions thus having provided many branches of the republic and country.

The decision on the organization of Daghestan Polytechnic institute was made on the basis of the Resolution of Council of ministers of the USSR of December 24, 1970, No.1021.

By Order of the Minister of higher and secondary vocational education of RSFSR of August 17, 1971, No. 330 the structure of the Daghestan Polytechnic Institute, list of departments, laboratories and offices and advisory bodies of the institute were approved. By Order of the Minister of higher and secondary vocational education of RSFSR of February 24, 1972, No.71 all organizational issues were finally resolved and Daghestan Polytechnic Institute was set up. The order of the State Committee of the Russian Federation on Higher Education of June 5, 1995, No.852 Daghestan Polytechnic Institute was transformed into Daghestan State Technical University.

Kamil Magomedovich Magomedov, Doctor of Physical and Mathematical Science, professor was appointed as the first rector of Daghestan Polytechnic Institute. In 1985 the institute was headed by Mail Sultanovich Aminov, Doctor of Technical Science, professor. Since 2002 Tagir Abdurashidovich Ismailov, Doctor of Technical Science, professor, Honored worker of science of the Russian Federation has run the University.

Relying on historical traditions, accumulating intellectual capital, using modern techniques and innovative development strategy, continuously improving activities, today the University has leading positions in science, education.

There are 12 faculties, 54 departments, 5 research institutes, 3 branches, 24 specialized centers, including the largest in North Caucasus Federal District Center of Modern Information Technologies where a supercomputer (computing cluster (HPProliant) is established and used in educational process and scientific research; International Educational Scientific Center of DSTU; Educational Scientific Center «Modern electronic elements and technologies», created together with the companies Analog Devices, Inc.; All-Russian Engineering Center of Microsatellite Capacities, etc.

In 2017 with the purpose to identify and support talented children at the pre-university level and provide corresponding conditions for their education and creative and artistic development for the benefit of the personality, society and the state Center for Talented Children of DSTU «Sirius-Altair» was created.

There is a «Centre of administrative workers and specialists' training and retraining» functioning in the University. At the line enterprises and organizations of the republic 21 base departments of the university are created.

Training of specialists is carried out by highly skilled scientific and pedagogical staff consisting of doctors of science and professors, candidates of science and associate professors, corresponding members of RAS and RAAB, academicians and corresponding members Russian and International Social Academies.

DSTU holds a license in 49 bachelor's programs, 11 specialist's programs, 40 Master's programs, 24 postgraduate programs and 7 vocational programs.

The University trains foreign citizens from near and far abroad, including Azerbaijan, Afghanistan, Belorussia, Cameroon, Kazakhstan, Côte d'Ivoire, Morocco, Ukraine, Uzbekistan and South Korea, to realize state politics in the sphere of training national staff for foreign countries, support and development of the students' exchange programs. Scientific and research work in 52 programs is systematically held at the university.

There are 3 Councils for Thesis Defense operating in the fields of engineering science as well as the United Council for Thesis Defense on scientific program «National Economy and Management» created together with Institute of Social and Economic Investigations of the DAS RAS and Dzhambulatov Daghestan State Agrarian University.

Fruitful inventive activity of scientists of the University finds its approval by the corresponding patents and certificates. In the last 10 years the University received more than 2000 patents and positive decisions on inventions and useful models as well as 102 certificates on the COMPUTER and databases that is one of the best indicators among higher education institutions and scientific institutions of the RF.

The advanced developments of the University are exhibited at the largest exhibitions of scientific achievements, among which are Moscow International Salon of Inventions and Innovative Technologies 'Archimedes', International Salon of Researches and Technological Transfer «INVENTICA» (Romania), Russian-British Forum Inventions and Innovative Technologies (Great Britain), Spring Fair in Leipzig (Germany), International Exhibition in Beijing (China), International Scientific and Technical Exhibition in Hanover (Germany), International Salon of Inventions and New Technologies «Modern times» (Republic of Crimea), All-Russian Trade Fair of Research Works and Innovative Activity 'INNOV' (Novocherkassk), International Fair of Inventions of SIIF in Seoul (South Korea), «International Technical Fair 2016» (Bulgaria), Daghestan Economic Forum, Business Daghestan Exhibitions and Dagprodexpo, etc.

Since 2005 the University staff has taken an active part in the program «START», organized by Fund on support and development of small businesses in the scientific and technical sphere in the framework of which 11 small enterprises were created, engaged in development of the knowledge-intensive production. The business incubator was created, functioning as a part of the DSTU Technological Park, providing effective integration of education, science and production.

The University staff actively participates in research work on scientific and technical programs and grants of the Russian President, Russian fund Fundamental Researches (Russian Federal Property Fund), Russian Humanitarian Scientific Fund (RHSF) as well as the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

The following federal target programs are implemented at the university: «Scientific and research and pedagogical staff of innovative Russia», «Development of electronic component base and radio electronics», «Research and development on priority directions of scientific and technological complex of Russia with in 2014-2020» as well as analytical target program «Development of scientific potential of a Higher School».

For many years, the university has been the prizewinner in a competition of projects on contents and technologies improvement of the students' target training for benefit of the defense industry organizations. Teachers, students and postgraduate students take also part in the First Republican competition of the youth «DagITstan IT projects»; in Republic competition of youth innovative projects; in the competition «The Best Scientific Article» (Cologne, Germany); in the competition for medals of the Russian Academy of Sciences with awards for young scientists of RAS, etc.

In DSTU university competitions are traditionally held such as: «Young Inventor» «Young Programmer», «The Best Monograph of DSTU», «Rector's Grants of DSTU», «Innovative Potential of the DSTU Youth» the winners of which get grants. Lately, the Republic of Daghestan awarded the DSTU scientific workers development twice in the field of science, technology, literature, journalism, art and architecture.

In the last five years 58 students, graduate students and young scientists have become the winners of the program «Participant of a Youth Scientific and Innovative Competition» (SMART).

The university is a co-organizer of 3 large-scale events of the regional level which were held on the base of DSTU: II Forum of Industrialists and Entrepreneurs of the RD, Caspian Energy Forum, and Tax forum of the RD.

The University has a scientific and technical library, annually enriched fund of which makes over 1 million copies of literature.

An organizational system of student's participation in the competitions and contests is developed at the University. The regional stage All-Russian competition is annually carried out among school students on informatics, physics, economy as well as All-Russian competition final qualification works, All-Russian subject Internet competitions and subject competitions among students.

For many years DSTU has been the leader in the number of winners in the contests and competitions held by Youth Union of Economists and Financiers of the Russian Federation.

One of priority activities of the University is educational work which is aimed at the versatile development of the personality, high level culture reformation, active civic stand and social activity. In order to realize the youth initiatives, artistic and intellectual potential development there are different youth groups and clubs functioning at the University: Students Council, Youth Affairs Committee, Young Scientists Council, Students Scientific Organization, Students Hostel Council, Students Club, Sports Club, Football Club «Polytekhn», Volunteer Group «Do Good», Volunteer group «Nadezhda», Ecological Movement «Healthy Generation», Tourist Group «DSTU Successors», Construction Group «Politekhn» Theatre studio «DSTU KVN», Intellectual Club «Techies», DSTU Dance Band «Caucasian Peaks», Daghestan regional offices units «Association of students and student's reunification of Russia» and «Students of Russia». DSTU is the five-time winner of the Republic competition «Students Spring».

Representing the Republic of Daghestan on the All-Russian Students Springs, DSTU gained triumphal victory in Chelyabinsk, having won 3 first, 2 second and 2 third places. Having entered into the national team of the Russian Federation, DSTU became the owner of the Grand Prix of the International Festival Students Spring of the CIS countries in the Caucasus. National team of the university theatre studio KVN is the winner of regional tournaments, takes prize-winning places at the All-Russian competition «Cheerful! Healthy! Successful!».

DSTU has two football fields, modern gyms for working out, weightlifting, and fitness, a hall for table tennis, a summer sports ground for basketball and volleyball. The University is proud of having its own swimming pool – «Polytekhn» constructed under the «500 pools for higher education institutions of Russia» project of the United Russia Party and modern five-sector rock climbing wall. On the seashore of the Caspian Sea there is the sports camp «Politekhn» functioning.

Initiating new social and economic and innovative projects, DSTU successfully realizes priority problems of system of the Higher education of the Russian Federation.

Для цитирования: Ахмедова М.Р., Гусейнов Р.В. Определение параметров колебательных контуров математической модели динамики процесса резания мерным инструментом. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44(3):14-23. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-14-23

For citation: Akhmedova M.R., Guseynov R.V. Determination of oscillator circuit parameters of a mathematical model of the dynamics of the cutting process with a metal cutting tool. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44(3):14-23. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-14-23

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК 621. 923

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-14-23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕРНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Ахмедова М.Р.², Гусейнов Р.В.¹

¹Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

²Кубанский государственный университет,
350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, Россия,

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

Резюме: *Цель.* Цель исследования – получить расчетные зависимости, удовлетворяющие указанным требованиям, и определить границы их применимости для различных диапазонов диаметров мерного инструмента. Для анализа колебательного движения при резании металлов необходимо составить математическую модель динамической системы. Математическая модель динамической системы считается заданной, если известны параметры системы, определяющие однозначно ее состояние, и указан закон изменения состояния во времени. С учетом этого, каждому исследованию колебательных движений должно предшествовать определение параметров колебательных контуров математической модели. Рабочая часть мерного инструмента представляет собой стержень сложного профиля, что значительно затрудняет проведение таких расчетов. В литературе отсутствуют достаточно строгие и, в то же время, приемлемые для инженерной практики формулы. Поэтому данные по характеристикам мерного инструмента, в частности, жесткости, момента инерции дают значительный разброс. **Метод.** Для расчетов используются методы теории упругости. **Результат.** Получены инженерные формулы для расчета жесткости и полярного момента инерции мерного инструмента, в частности, трехперых и четырехперых метчиков с прямыми стружечными канавками и сверл. Установлено, что для повышения динамической устойчивости мерного инструмента необходимо увеличивать момент инерции сечения. Это можно осуществить путем увеличения диаметра сердцевины. С ростом угла наклона стружечных канавок значительно уменьшается жесткость инструмента. Выполняя стружечную канавку с переменным углом наклона можно добиться высокой жесткости мерного инструмента. **Вывод.** Полученные расчетные зависимости позволяют с приемлемой точностью задать параметры системы «станок-приспособление-инструмент-деталь» (СПИД) при анализе динамики процесса обработки металлов мерными инструментами. Доказано влияние углов заточки на момент инерции, учет которого значительно повысит достоверность результатов анализа динамики процесса резания.

Ключевые слова: динамика резания; мерный инструмент; автоколебания; математическая модель динамической системы; жесткость инструмента; момент инерции

PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE
MECHANICS

DETERMINATION OF OSCILLATOR CIRCUIT PARAMETERS
OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS OF THE CUTTING
PROCESS WITH A METAL CUTTING TOOL

Milena R. Akhmedova², Rasul V. Guseynov¹

¹Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Kuban State University,
149 Stavropolskaya Str., Krasnodar 350040, Russia,

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

Abstract Objectives. The development of a mathematical dynamic system model is necessary for analysing vibrational motion during the metal cutting processes. The mathematical model of the dynamic system is considered to be defined if the system parameters that unambiguously determine its state are known and the alteration of its state over time is specified. Considering the above mentioned, each study of vibrational motion must be preceded by a determination of the parameters of the oscillator circuits of the mathematical model. The working part of the metal cutting tool consists in a shank having a complex profile, which makes such calculations very difficult to carry out. There are no sufficiently rigorous and, at the same time, acceptable formulae for engineering practice in the literature data. Therefore, data on the characteristics of the metal cutting tool – in particular, its stiffness and moment of inertia – scatter significantly. The aim of the study is to obtain calculated dependences that meet these requirements and determine the limits of their applicability for different cutting tool diameter ranges. **Methods.** Approaches referring to the theory of elasticity are used for the calculations. **Results.** Engineering formulae for the calculation of stiffness and polar moment of inertia of the metal cutting tool are obtained; in particular, three- and four-blade taps with straight flutes as well as drills. It is established that to increase the dynamic stability of the metal cutting tool, it is necessary to increase the moment of inertia of the section. This can be achieved by increasing the diameter of the core. As the flute helix angle increases, the stiffness of the tool decreases significantly. High stiffness of the metal cutting tool can be achieved by employing a flute with a variable helix angle. **Conclusion.** The calculated dependences allow the parameters of the Machine-Device-Tool-Part (MDTP) system to be set with an acceptable accuracy when analysing metal processing dynamics using metal cutting tools. The influence of the sharpening angles on the moment of inertia is demonstrated; the account given for the latter will significantly increase the reliability of the results of the analysis of the process dynamics.

Keywords: cutting dynamics; metal cutting tool; self-oscillations; mathematical model of dynamic system; tool stiffness; moment of inertia

Введение. Как известно, процесс резания сопровождается автоколебаниями. Для объяснения природы автоколебаний можно использовать математическую модель системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД). Математическая модель динамической системы считается заданной, если известны параметры системы, определяющие однозначно ее состояние, и указан закон изменения состояния во времени.

При составлении математической модели можно, как это показано в теории колебаний, пренебречь некоторыми степенями свободы, если эти степени связаны с частотами, значительно отличающимися по величине от основных (доминирующих) частот системы [1]. Поэтому каждому исследованию колебательных движений должно предшествовать определение параметров колебательных контуров математической модели.

Детальное ознакомление с опытом работы многих промышленных предприятий показывает, что машинная обработка отверстий мерными инструментами является узким местом в

технологии обработки деталей. К мерным инструментам относятся сверла, зенкеры, развертки, метчики и др.

Если сравнивать такие процессы как сверление, зенкерование, развертывание, резбонарезание метчиками, то можно заметить, что эти процессы и инструменты, которыми они осуществляются, имеют много общих характерных черт, а именно [2]: все инструменты являются многолезвийными, имеют несколько стружечных канавок; режущая часть инструмента имеет неправильное поперечное сечение и на него распространяется известное положение Сен-Венана о кручении некруглых стержней [12].

Согласно этому положению все точки поперечного сечения некруглого стержня при закручивании кроме поворота вокруг оси кручения, получают еще соответствующее перемещение вдоль оси, что вызывает изменение толщины среза при резании. Кроме того, это значительно затрудняет проведение прочностных, технологических и вибрационных расчетов.

Рабочая часть инструмента имеет две части: режущую и калибрующую. Режущая часть обеспечивает основное резание, т.е. удаляет большую часть стружки и формирует предварительно внутреннюю поверхность. Калибрующая часть осуществляет окончательное формирование поверхности. Рабочая часть мерного инструмента из-за малого поперечного сечения, ограниченного размерами обрабатываемого отверстия, имеет малую прочность.

В силу этих обстоятельств можно говорить о том, что принципиально может быть создана единая теория динамики процесса резания.

Основное влияние на процесс резания оказывают относительные колебания инструмента и изделия [4]. От этих колебаний, в конечном счете, зависят стойкость инструмента и качество обработанной поверхности.

При изучении динамики обработки отверстий мерным инструментом малых и средних диаметров систему инструмента можно считать доминирующей колебательной системой как наиболее нежесткого звена системы СПИД.

При крутильных колебаниях мерного инструмента в соответствии с принципом Даламбера справедливо равенство [2-5]

$$\bar{M}_{ин} + \bar{M}_{ден} + \bar{M}_y + \bar{M} = 0, \quad (1)$$

где, $\bar{M}_{ин}$, $\bar{M}_{ден}$, \bar{M}_y , \bar{M} – моменты сил, соответственно инерции, сопротивления, упругости, резания.

Или иначе,

$$I\ddot{\theta}(t) + \eta\dot{\theta}(t) + c\theta(t) = M, \quad (2)$$

где, I – приведенный момент инерции осевого инструмента; η – обобщенный коэффициент сопротивления; C – коэффициент жесткости; $\theta(t)$ – угловая деформация.

Для решения данного дифференциального уравнения необходимо рассчитать следующие параметры колебательных контуров математической модели: J – приведенный момент инерции инструмента; η – обобщенный коэффициент сопротивления (демпфирования); C – коэффициент жесткости.

Поэтому аналитическое определение указанных параметров является актуальной задачей. В работе [2] получена зависимость влияния параметров режима резания конструкции инструмента и свойств обрабатываемого материала на амплитуду автоколебаний инструмента. Одним из важнейших показателей, характеризующих долговечность работы инструмента, а также качество обработки, является его жесткость [4,15,18].

В этой связи задача оценки жесткости осевого режущего инструмента на начальных этапах проектирования операции металлообработки является актуальной и требует детальной проработки.

Исследованию жесткости и других прочностных свойств осевого инструмента посвящено множество работ. Зависимости определения жесткости и деформации спиральных сверл получены в работах [7,13,16]. В этих работах изложены аналитические методы расчета, экспериментально-аналитические и экспериментальные. Однако из-за сложности расчетов и из-за плохой сходимости результатов, полученных различными методами, они широко не используются. Кроме того, в этих работах жесткость инструмента исследовалась в условиях статических нагрузок.

Определение жесткости инструментов в условиях динамических нагрузок существенно повысит точность полученных результатов. Так, в работах [9,11,13] указано на целесообразность использования в моделях динамики обработки отверстий мерным инструментом уравнений, учитывающих переменную жесткость инструмента.

Учет переменной жесткости особенно важен при исследовании динамики сверления. Дело в том, что при упругих деформациях инструмента при сверлении возможно возникновение нежелательных изгибных вибраций, возбуждаемых по механизму «резания по следу» (регенеративный эффект) [10,14,17]. Однако в литературе отсутствуют достаточно строгие и в то же время приемлемые для инженерной практики формулы для определения жесткости и момента инерции в условиях динамических нагрузок, поэтому данные по указанным параметрам поперечных сечений дают значительный разброс.

Постановка задачи. Цель исследования состоит в определении расчетных зависимостей, удовлетворяющих указанным требованиям, и границ их применимости для различных диапазонов диаметров мерного инструмента.

Методы исследования. Мерный инструмент представляет собой упругий стержень, который состоит из двух участков: режущего, имеющего в поперечном сечении сложную конфигурацию, и хвостовика. Хвостовик имеет круглое сечение и служит для базирования и закрепления инструмента в патроне или цанге, а также для передачи крутящего момента от шпинделя станка.

Колебательная система мерного инструмента может быть представлена как два диска (массы) с моментом инерции J_1 рабочей части и J_2 хвостовика, соединенных упругим валом с жесткостью при кручении C и поворачивающихся относительно общей оси вращения на некоторые углы φ_1 и φ_2 .

Моменты, действующие в сечениях вала

$$M_1^{кр} = C(\varphi_1 - \varphi_2);$$

$$M_1^{кр} = C\varphi_2. \quad (3)$$

Уравнения колебательного движения приведенных масс соответственно запишутся

$$J_1\ddot{\varphi}_1 = -C(\varphi_1 - \varphi_2); \quad J_1\ddot{\varphi}_2 = -C\varphi_2 + C(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (4)$$

Введя обозначения

$$a = \frac{C}{J_1}; \quad b = \frac{C}{J_2} \quad (5)$$

представим уравнение в таком виде:

$$\ddot{\varphi}_1 + a(\varphi_1 - \varphi_2) = 0;$$

$$\ddot{\varphi}_2 - b\varphi_1 + 2b\varphi_2 = 0 \quad (6)$$

Исследования показали [4], что мерный инструмент в процессе работы совершает автоколебания с частотой, эквивалентной собственной частоте системы w_c , и они характеризуются синусоидальным законом, т.е.

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= A \sin(w_c t + \psi_H); \\ \varphi_2 &= B \sin(w_c t + \psi_H) \end{aligned} \quad (7)$$

После подстановки общих решений в дифференциальные уравнения движения, получим два однородных алгебраических уравнения. Приравнивая детерминант этих уравнений к нулю, составляем квадратичное уравнение для определения частот собственных колебаний системы

$$(a^2 - w_c^2) A - ab = 0;$$

$$-bA + (2b - w_c^2) B = 0 \quad (8)$$

или

$$(a^2 - w_c^2) (2b - w_c^2) - ab = 0;$$

$$w_c^4 - 9a + 2b)w_c^2 + ab = 0. \quad (9)$$

Квадраты частот собственных колебаний соответственно будут

$$w_{c1,2}^2 = \frac{a+2b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a+2b}{2}\right)^2 - ab}. \quad (10)$$

Подставляя в (10) значения а и b из (5) получим

$$w_c^2 = C\left(\frac{1}{2J_1} + \frac{1}{J_2}\right) \pm C\sqrt{\left(\frac{1}{4J_1^2} + \frac{1}{J_2^2}\right)}. \quad (11)$$

Отсюда находим величину C

$$C = \frac{w_c^2}{\left(\frac{1}{2J_1} + \frac{1}{J_2}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{1}{4J_1^2} + \frac{1}{J_2^2}\right)}}. \quad (12)$$

Анализ формулы (12) показывает, что жесткость мерного инструмента имеет переменный характер и зависит не только от геометрических характеристик поперечного сечения, но и частоты собственных колебаний инструмента.

Для увеличения величины C, значит динамической устойчивости мерного инструмента, необходимо увеличить значения J_1, J_2 и w_c .

Для расчета величины C требуется определить три параметра: J_1, J_2 и w_c . Значения w_c , как правило, находятся экспериментально по осциллограммам собственных колебаний инструмента. По величине w_c можно определить и η – обобщенный коэффициент сопротивления (демпфирования).

Для хвостовика полярный момент инерции J_2 находится по общеизвестной формуле

$$J_2 = \frac{\pi d_x^4}{32}, \quad (13)$$

где, d_x – диаметр хвостовика.

Полярный момент инерции используется для прогнозирования способности инструмента оказывать сопротивление кручению.

В рамках теории упругости полярный момент инерции сечения сложной конфигурации определяется по формуле:

$$J_1 = \iint_S (x^2 + y^2) dx dy, \quad (14)$$

причем двойной интеграл берется по площади поперечного сечения S режущей части инструмента. Применяя формулу Остроградского-Грина для решения двойного интеграла получим

$$J_1 = \iint_S \left\{ \frac{\partial}{\partial y} (x^2 y + \frac{\partial}{\partial x} x y^2) \right\} dx dy = - \int_L xy(x dx - y dy) \quad (15)$$

Из (15) видно, что для расчета J_1 необходимо иметь форму кривой L контура поперечного сечения.

На рис.1 показан профиль фасонной фрезы для формирования поперечного сечения инструмента. Размеры, обозначенные буквами на рис.1, зависят от назначения, диаметра, обрабатываемого материала и ряда других факторов.

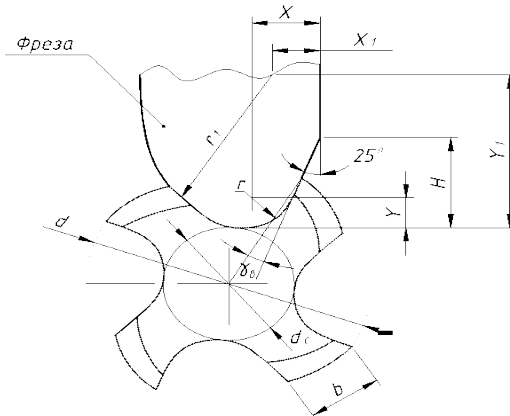


Рис.1. Профиль фасонной фрезы для формирования поперечного сечения мерного инструмента

Fig. 1. Profile of the shaped cutter for forming the cross section of the measuring tool

Профиль сечения стружечных канавок у стандартных инструментов образуется двумя сопряженными дугами окружностей r и r_1 и прямолинейным участком по передней поверхности зуба. Размеры канавок должны быть достаточными для свободного размещения и удаления стружки. Канавки должны обеспечивать рациональную геометрию зубьев и быть простыми в изготовлении. Для получения таких канавок необходимы специальные фасонные фрезы.

Имея форму кривой L и координаты точек, интегрируя по (15) после небольших преобразований для J_1 получим выражение [2]

$$J_1 = \frac{\pi R_1^4}{2} - Z (J_a + J_b + J_c), \quad (16)$$

причем,

$$J_a = F_1(t_2) - F_1(t_1) \quad (17)$$

$$F_1(t_i) = \frac{R_1^4}{4} \left(\frac{\sin 2t_i}{3} - \frac{\sin 4t_i}{12} + t_i \right),$$

$$t_1 = \arcsin \frac{x_1}{R_1}; \quad t_2 = \arcsin \frac{x_3}{R_1}.$$

$$J_b = F_2(t_2) - F_2(t_1). \quad (18)$$

$$F_2(t_i) = \left[-\frac{1}{6} (t_i + 4a_1) \sqrt{T_1^3} + \frac{1}{4} [R_3^2 + 2a_1(1+p^2)] t_i \sqrt{T_1} + R_3^2 \arcsin \frac{t_i}{R_3} \right] - a_1 p t_i \left(a_1 t_i + R_3^2 + a_1 \left(1 + \frac{p^2}{3} \right) \right);$$

$$t_1 = x_2 - a_2; \quad t_2 = x_3 - a_2.$$

$$J_c = F_3(t_2) - F_3(t_1) \quad (19)$$

$$F_3(t_i) = \left[-\frac{1}{6} (t_i + 4a_2) \sqrt{T_1^3} + \frac{1}{4} [R_4^2 + 2a_2^2(1+p^2)] t_i \sqrt{T_1} + R_4^2 \arcsin \frac{t_i}{R_4} \right] - a_2 p t_i \left(a_1 t_i + R_4^2 + a_2^2 \left(1 + \frac{p^2}{3} \right) \right);$$

$$t_1 = x_2 - a_2; t_2 = x_3 - a_2.$$

В формулах принято обозначение: $T_1 = R_3^2 - t_i^2$; Z – число перьев.

Для расчета момента инерции сверла необходимо выделить дополнительные характерные конструктивные элементы поперечного сечения, а именно, ленточки.

Для построения профиля поперечного сечения сверла проводим окружности наружного диаметра D и диаметра ленточки D_L , выделяя ленточки [6].

Параллельно оси O_y проводим прямую $x = -0,5d$ во втором и $x = 0,5d$ в четвертом квадрантах до пересечения с осью O_x . Радиусом $0,25(D_L - d)$ в первом и третьем квадранте проводим дуги с центрами, соответственно в точках $(\pm 0,25(D_L - d), 0)$.

Для определения геометрических характеристик при вычислении учитывается симметрия интегрированием по области S , ограниченной диаметром окружности d , прямой $x = -0,5d$, профилем ленточки и дугами окружностей

$$x^2 + y^2 = 0,25D_L^2 \quad \text{и} \quad \left(x - \frac{D_L + d}{4}\right)^2 + y^2 = \frac{(D - d)^2}{16}.$$

Полярный момент инерции рабочей части J_1 сверла удобно определить через моменты инерции относительно осей x и y

$$J_1 = J_x + J_y, \quad (20)$$

где J_x, J_y – моменты инерции относительно осей x и y , соответственно.

Момент инерции относительно оси x в соответствии с (14)

$$J_x = 2 \iint_S y^2 dx dy. \quad (21)$$

Выполнив интегрирование, получим

$$J_x = \left(\frac{10D^2}{364}d - \frac{d^3}{48}\right)\sqrt{D^2 - d^2} + \frac{\pi D^4}{128} - \frac{\pi(D-d)^4}{1024} + \frac{D^4}{64} \arcsin \frac{d}{D}. \quad (22)$$

Момент инерции относительно оси y в соответствии с (14)

$$J_y = 2 \iint_S x^2 dx dy. \quad (23)$$

Подставляя соответствующие пределы и выполнив интегрирование для J_y имеем

$$J_y = \frac{\pi D_L^4}{64} + \frac{\pi(D_L - d)^4}{1024} + \frac{4\pi(D_L^2 - d^2)^2}{1024} + \frac{D_L^4}{64} \arcsin \frac{d}{D_L} + \left(\frac{2d^3}{64} - \frac{dD_L^2}{64}\right)\sqrt{D_L^2 - d^2}. \quad (24)$$

Суммируя выражения (22) и (24) получим

$$J_1 = \frac{\pi D_L^4}{64} + \frac{\pi(D_L - d)^4}{512} + \frac{2\pi(D_L^2 - d^2)^2}{512} + \frac{D_L^4}{32} \arcsin \frac{d}{D_L} + \left(\frac{dD_L^2}{96} + \frac{d^3}{96}\right)\sqrt{D_L^2 - d^2}. \quad (25)$$

Подставляя численные значения параметров для рассматриваемого диапазона диаметров обрабатываемых отверстий, получим инженерные формулы для расчета полярного момента инерции сверла

$$J_1 = 0,368D^4 \quad (26)$$

$$J_1 = 0,0342D^4 \quad (27)$$

для сверл диаметром более 12 мм.

Для трехперого инструмента (в частности, метчика стандартного исполнения с прямыми стружечными канавками)

$$J_1 = 0,019d_1^4, \quad (28)$$

где d_1 – внутренний диаметр резьбы метчика.

Для четырехперого метчика стандартного исполнения с прямыми стружечными канавками

$$J_1 = 0,021d^4. \quad (29)$$

Обсуждение результатов. Одним из важных путей совершенствования инструментов и повышения производительности обработки является создание оптимальных геометрических параметров на режущей части.

Инструменты затачивают по передней и задней поверхностям, причем задний угол образуется путем затылования задней поверхности по архимедовой спирали. Затылование зубьев инструмента уменьшает поперечное сечение инструмента, соответственно, момент инерции.

В табл.1 приведена зависимость процента уменьшения момента инерции метчика $F(\alpha)$ от величины заднего угла α .

Таблица 1. Зависимость процента уменьшения момента инерции метчика $F(\alpha)$ от величины заднего угла α

Table 1. Dependence of the percent decrease in the moment of inertia of the tap $F(\alpha)$ on the value of the rear angle α

Процент уменьшения J_1	α°	2	3	4	5	6	7	8	10	12
$F(\alpha)$	3	4,08	6,04	7,94	9,80	11,63	13,36	15,07	18,35	21,44
$F(\alpha)$	4	2,85	4,24	5,80	6,94	8,26	9,56	10,83	13,31	15,71

Анализ данных табл.1 дает представление о влиянии заточки на момент инерции сечения. Так, увеличение угла заточки зубьев метчика до 10° приводит к уменьшению момента инерции сечения на 13,30% – для трехперого метчика и 18,35% – для четырехперого. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе геометрических характеристик инструмента.

Проведенные теоретические исследования и их экспериментальная проверка показали, что для повышения динамической устойчивости мерного инструмента необходимо увеличивать момент инерции сечения. Это можно осуществить путем увеличения диаметра сердцевины. Так, например, для сверл за счет плавного увеличения d_c по направлению к хвостовику на (1,4...1,5) мм на 100 мм длины для сверл из быстрорежущей стали и на (1,7..1,8) мм – для твердосплавных сверл.

При выборе угла наклона стружечных канавок необходимо иметь в виду, что с ростом угла наклона стружечных канавок заметно уменьшается жесткость инструмента [1]. Выполняя стружечную канавку с переменным углом наклона можно добиться высокой жесткости мерного инструмента.

Вывод. Полученные инженерные формулы жесткости и момента инерции мерного инструмента достаточно просты, и они могут быть использованы в расчетах при исследовании динамики процесса резания.

Определено, что жесткость мерного инструмента имеет переменный характер и зависит не только от геометрических характеристик поперечного сечения, но и частоты собственных колебаний инструмента.

Доказано существенное влияние угла заточки зубьев на момент инерции инструмента, которое необходимо учитывать при расчете прочностных характеристик инструмента.

Полученные аналитические зависимости основных параметров колебательных контуров математической модели динамики процесса резания мерным инструментом можно использовать при решении практических задач, в частности, для получения безвибрационных режимов работы инструмента.

Разработаны новые технические и технологические решения повышения динамической устойчивости мерного инструмента за счет увеличения жесткости.

Библиографический список:

1. Арутюнян Н.Х. Кручение упругих тел / Н.Х. Арутюнян, Б.М. Абромян. - М. : ГИФМЛ, 1963. – 688 с.
2. Гусейнов Р.В. Интенсификация технологических процессов обработки труднообрабатываемых материалов путем управления динамическими параметрами системы. Автореферат дисс. - докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 1998. 23 с.

3. Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р. Математическая модель процесса обработки отверстий сверлами на основе нелинейной динамики. Ч.1. Постановка задачи//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011. №3. Том 22. С.64-68.
4. Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р. Совершенствование обработки отверстий небольшого диаметра//Вестник машиностроения. 2012. №9. С.50-52.
5. Гусейнов Р.В., Рустамова М.Р. Исследование процесса обработки отверстий на основе нелинейной динамики//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2012. №26. С.77-80.
6. Гусейнова М.Р., Гусейнов Р.В. Обоснование базы данных для исследования динамических процессов при резании//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2014. № 4. Т.35. С.36-44.
7. Денисенко В.И. Жесткость спиральных сверл и их эксплуатационные характеристики. – Вильнюс, 1974. – 14 с.
8. Емельянов Д.В. Анализ прочностных характеристик спиральных сверл//Электронный научно-практический журнал «Современная техника и технология». 2017. URL: <http://technolog.y.snauka.ru/2015/01/5617> (дата обращения: 20.08.2017)
9. Кирсанов С.В. Влияние конструкции развертки на огранку обработанных отверстий // Станки и инструмент. 2000. № 4. С. 22-23.
10. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 357 с.
11. Малышко И.А. Основы проектирования осевых комбинированных инструментов: Диссертация д-ра техн. наук: 05.03.01. – Киев, 1996. – 430 с.
12. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.:Наука, 1966. – 192 с.
13. Холмогорцев Ю.П. Оптимизация процессов обработки отверстий. – М: Машиностроение, 104. – 128 с.
14. Altintas Y. Manufacturing Automation. New York: Cambridge University Press; 2012. 366 p.
15. Badrawy S. Cutting Dynamics of High Speed Machining. Technology Update. 2001; 8(1):24-26.
16. Ema S., Fujii H., Marui E. Whirling vibration in drilling. Part 3: Vibration analysis in drilling workpiece with a pilot hole. Journal of Engineering for Industry. 1998; 110:315-321.
17. Schmitz T.L., Smith K.S. Machining Dynamics. Frequency Response to Improved Productivity. Springer US; 2009. 303 p. DOI: 10.1007/978-0-387-09645-2.
18. Systeme d'outilequilibre multi-fonctions. TraMetal; Revue techniquemensuelle du travail des metaux. 2000; 51:14-16.

References:

1. Arutyunyan N. Kh., Abromyan B.M. Kruchenieuprugikhtel. M.: GIFML, 1963. 688 s. [ArutyunyanN.Kh., AbromyanB.M. torsion of elastic bodies. M.: GIFML, 1963. 688 p. (In Russ.)]
2. 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 hard-ly processed materials by the management of system's dynamic parameters. Published summary of Doctor of Technical Sciences thesis. St. Petersburg; 1998. (In Russ.)]
3. Guseinov R.V., Rustamova M.R. Matematicheskayamodel' protsessaoabrotkiotverstiiisverlaminaosnovenelineinoidinamiki. Ch.1. Postanovka zadachi. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki. 2011; 3(22):64-68. [Guseinov R.V., Rustamova M.R. Mathematical model of the holeprocessing with drills based on nonlinear dynamics. Part 1. Formulation of the problem. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2011; 3(22):64-68. (In Russ.)]
4. Guseinov R.V., Rustamova M.R. Sovershenstvovanie obrabotki otverstii nebol'shogo diametra. Vestnikmashinostroeniya. 2012; 9:50-52. [Guseinov R.V., Rustamova M.R. The improvement of processing the holesof small diameter. Russian Engineering Research. 2012; 9:50-52. (In Russ.)]
5. Guseinov R.V., Rustamova M.R. Issledovanie protsessa obrabotki otverstii na osnove nelineinoi dinamiki. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskienauki. 2012; 26:77-80. [Guseinov R.V., Rustamova M.R. Investigation of the process of hole processing on the basis of nonlinear dynamics. Herald of Dahgestan State Technical University. Technical Sciences. 2012; 26:77-80. (In Russ.)]
6. Guseynova M.R., Guseynov R.V. Obosnovanie bazy dannykh dlya issledovaniya dinamicheskikh protsessov pri rezanii. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki. 2014; 4(35):36-44. [Guseynova M.R., Guseynov R.V. Justification of the database for the study of dynamic processes during cutting. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2014; 4(35):36-44. (In Russ.)]
7. Denisenko V.I. Zhestkost' spiral'nykh sverl i ikh ekspluatatsionnye kharakteristiki. Vil'nyus: 1974. 14 s. [Denisenko V.I. Stiffness of twist drills and their performance characteristics. Vil'nyus: 1974. 14 p. (In Russ.)]
8. Emel'yanov D.V. Analiz prochnostnykh kharakteristik spiral'nykh sverl. Elektronnyi nauchno-prakticheskii zhur-

- nal "Sovremennaya tekhnika i tekhnologiya". 2015; 1(41):87-92. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/01/5617> (data obrashcheniya: 20.08.2017) [Emel'yanov D.V. Analysis of the strength characteristics of twist drills. Electronic Scientific & Practical Journal "Modern Technics and Technologies". 2015; 1(41):87-92. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/01/5617> (accessdate: 20.08.2017) (In Russ.)]
9. Kirsanov S.V. Vliyanie konstruktsii i razvertki na ogranku obrabotannykh otverstii. Stanki i instrument. 2000; 4:22-23. [Kirsanov S.V. Influence of the reamer design on the facet of the treated holes. Machines and Tooling. 2000; 4:22-23. (In Russ.)]
 10. Kudinov V.A. Dinamika stankov. M.: Mashinostroenie; 1967. 357 s. [Kudinov V.A. Dynamics of machine tools. M.: Mashinostroenie; 1967. 357 p. (In Russ.)]
 11. Malyshko I.A. Osnovy proektirovaniya osevykh kombinirovannykh instrumentov. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni dokt. tekhn. nauk. Kiev; 1996. 430 s. [Malyshko I.A. Basics of design of axial combined tools. Published summary of Doctor of Technical Sciences thesis. Kiev; 1996. 430 p. (In Russ.)]
 12. Muskhelishvili N.I. Nekotorye osnovnye zadachi matematicheskoi teorii uprugosti. M.: Nauka; 1966. 192 s. [Muskhelishvili N.I. Some basic problems of the mathematical theory of elasticity. M.: Nauka; 1966. 192 p. (In Russ.)]
 13. Kholmogortsev Yu.P. Optimizatsiya protsessov obrabotki otverstii. M: Mashinostroenie; 1984. 128 s. [Kholmogortsev Yu.P. Optimisation of the holes processing. M: Mashinostroenie; 1984. 128 p. (In Russ.)]
 14. Altintas Y. Manufacturing Automation. New York: Cambridge University Press; 2012. 366 p.
 15. Badrawy S. Cutting Dynamics of High Speed Machining. Technology Update. 2001; 8(1):24-26.
 16. Ema S., Fujii H., Marui E. Whirling vibration in drilling. Part 3: Vibration analysis in drilling workpiece with a pilot hole. Journal of Engineering for Industry. 1998; 110:315-321.
 17. Schmitz T.L., Smith K.S. Machining Dynamics. Frequency Response to Improved Productivity. Springer US; 2009. 303 p. DOI: 10.1007/978-0-387-09645-2.
 18. Systeme d'outilequilibre multi-fonctions. TraMetal; Revue technique mensuelle du travail des metaux. 2000; 51:14-16.

Сведения об авторах:

Гусейнов Расул Вагидович – доктор технических наук, профессор, кафедра организации и безопасности движения.

Ахмедова Милена Расуловна – кандидат экономических наук, старший преподаватель.

Information about the authors:

Rasul V. Guseynov – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Traffic Safety and Management.

Milena R. Akhmedova – Cand. Sci. (Technical), Senior Lecturer.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.08.2017.

Принята в печать 20.09.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 20.08.2017.

Accepted for publication 20.09.2017.

Для цитирования: Мурадова С.Ш., Федосеева Л.В. Воздействие сыпучих материалов на стенки целевых бункеров. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (3):24-38. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-24-38

For citation: Muradova S.Sh., Fedoseeva L.V. Impact of loose materials on track hopper walls. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3):24-38. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-24-38

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК 62-405.6

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-24-38

ВОЗДЕЙСТВИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА СТЕНКИ ЩЕЛЕВЫХ БУНКЕРОВ

Мурадова С.Ш.¹, Федосеева Л.В.²

¹Южный университет (Институт управления бизнеса и права),
344068, г. Ростов-на-Дону, пр. Михаила Нагибина, 33а/47, Россия,

²Донской государственный технический университет,

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия,

¹e-mail: ssh.muradova@mail.ru, ²e-mail: fedoseevvb@gmail.com

Резюме. Цель. При конструировании различного вида устройств важно знать распределение давления, как по их стенкам, так и величину давления на уровне выпускного устройства. В статье выводятся дифференциальные уравнения для равновесного и стационарного состояний сыпучей среды с учётом сил сухого трения между её частицами. **Метод.** Полагая, что вертикальная компонента давления P_z , соответственно и градиент этой компоненты по оси OZ , зависят от радиуса. Следовательно, на соседние элементарные кольца по вертикали будут действовать разные силы. Это приведет к тому, что соседнее внешнее элементарное кольцо, по отношению к рассматриваемому, будет смещаться вниз, а соседнее внутреннее кольцо относительно рассматриваемого элементарного кольца будет смещаться вверх. Поэтому силы сухого трения, действующие на внутреннюю и внешнюю боковую поверхность рассматриваемого элементарного кольца, будут направлены в разные стороны. Результирующая сила будет определяться градиентом по координате ρ компоненты давления P_ρ . Предположение о зависимости компонент давления, действующего в сыпучем материале, от координат, ведет к необходимости учитывать эту силу. **Результат.** Полученные дифференциальные уравнения интегрируются путём последовательного приближения в граничных условиях, соответствующих протяжённому щелевому бункеру; выведенные аналитические выражения для компонент давления сыпучего материала в бункере иллюстрируются с помощью графиков для реальных параметров бункеров; анализируется распределение давления сыпучего материала по стенкам щелевых бункеров, на основе представлений о сыпучем материале, как о легкодеформируемой анизотропной среде, по своим свойствам отличающейся от жидкости и не подчиняющейся закону Паскаля. **Вывод.** Стенки бункера берут на себя всю нагрузку. Для экономии материала стенки можно принять не постоянной, а переменной величиной, обеспечивая максимальную прочность на уровне 2/3 от высоты, на которой необходимо расположить вибраторы для обеспечения непрерывного истечения сыпучего материала из бункера.

Ключевые слова: давление, давление сыпучего материала, анизотропия давления, давление на дно и стенки бункеров

PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE
MECHANICS
IMPACT OF LOOSE MATERIALS ON TRACK HOPPER WALLS

*Safura S. Muradova*¹, *Lyudmila V. Fedoseeva*²

¹*Southern University (Institute of Management, Business and Law),*

¹*33a/4 Nagibina Ave., Rostov-on-Don 344068, Russia,*

²*Don State Technical University,*

²*1 Gagarina Square, Rostov-on-Don 344000, Russia,*

¹*e-mail: ssh.muradova@mail.ru,* ²*e-mail: fedoseevvb@gmail.com*

Abstract Objectives. During the design of different types of devices it is important to obtain reliable information concerning both the pressure distribution along the device's walls and the pressure at the level of the eduction gear. Differential equations for the equilibrium and stationary states of the loose medium accounting for the forces of dry friction between its particles are provided in the article. **Methods.** Both the vertical pressure component P_z and its gradient along axis OZ are assumed to depend on the respective radius. Consequently, different forces will act vertically on the neighbouring elementary rings. This leads to the neighbouring outer ring being shifted downwards relative to the one under consideration; conversely the neighbouring inner ring, relative to the latter, will be shifted upwards. Therefore, the forces of dry friction acting on the inner and outer lateral surfaces of the elementary ring under consideration will be directed in opposite directions. The resultant force will be determined by the gradient of the pressure component along the coordinate ρ P_ρ . The assumption that the components of the pressure acting on the loose material depend on the coordinates leads to the need to take this force into account. **Results.** The resulting differential equations are integrated by successive approximation in the boundary conditions corresponding to an extended track hopper; the derived analytical expressions for the pressure components of loose material in the hopper are illustrated with the help of graphs for the actual parameters of the hoppers; the distribution of loose material pressure along the walls of track hoppers is analysed on the basis of loose material concepts as an easily deformed anisotropic medium, which differs in its properties from a liquid and does not obey Pascal's law. **Conclusion.** The walls of the hopper take on all the load. To save the wall's material, its thickness can be considered not as a constant, but rather as a variable, providing maximum strength at a level of 2/3rds of the height at which vibrators are to be positioned to ensure a continuous flow of loose material from the hopper.

Keywords: pressure, loose material pressure, pressure anisotropy, pressure on the bottom and walls of hoppers

Введение. Как известно, к целевым коническим бункерам относятся различного рода дозаторы, погрузчики, разгрузчики, которые находят широкое применение в АПК, а также в технических отраслях. При конструировании различного вида этих устройств чрезвычайно важно знать распределение давления, как по их стенкам, так и величину давления на уровне выпускного устройства. Здесь очевидна важность аналитического, а не численного решения. Однако до сих пор не сформирована системная, законченная и общепризнанная теория сыпучих сред.

В настоящее время при создании такой теории рассматривают в основном два направления.

Первое направление – модель сыпучего тела на основе представлений сплошной среды. Основоположник данной модели и теории французский физик и инженер Coulomb [1] еще в 1783 году сформулировал основные положения предельного равновесия. Второе направление предусматривает создание строгой теории предельного равновесия, так называемая модель сыпучего материала. Здесь необходимо отметить работы М.В.Малышева [2] и Г.К.Клейна [3].

Обобщением и развитием работ по статике сплошной среды занимался В.В.Соколовский [4]. Дальнейшее развитие модель сплошной среды получила в работах [5-8] и др.

Дискретную модель зернового материала впервые предложил английский инженер С. Дженкин [9] в 1931 г.

Отечественный ученый Л. В. Гячев развил идеи Coulomb и С. Дженкина, предложив дискретную модель сыпучего тела с сухим трением [10, 11]. Развитием модели, предложенной Л.В. Гячевым, занимались и за рубежом [12 - 14].

Постановка задачи. В данной работе под сыпучим материалом будем понимать вещество, состоящее из частиц различной величины и формы, взаимодействующих между собой и стенами ограждающей емкости посредством электромагнитных сил, сил сухого и вязкого трения, а также сил сцепления. Если электромагнитные силы, силы вязкого трения и силы сцепления отсутствуют, а проявляются лишь силы сухого трения, то такое состояние вещества будем называть идеальным сыпучим материалом.

Рассмотрим насыпь идеального сыпучего материала, некоторой высоты H , находящуюся в цилиндрической емкости (рис.1).

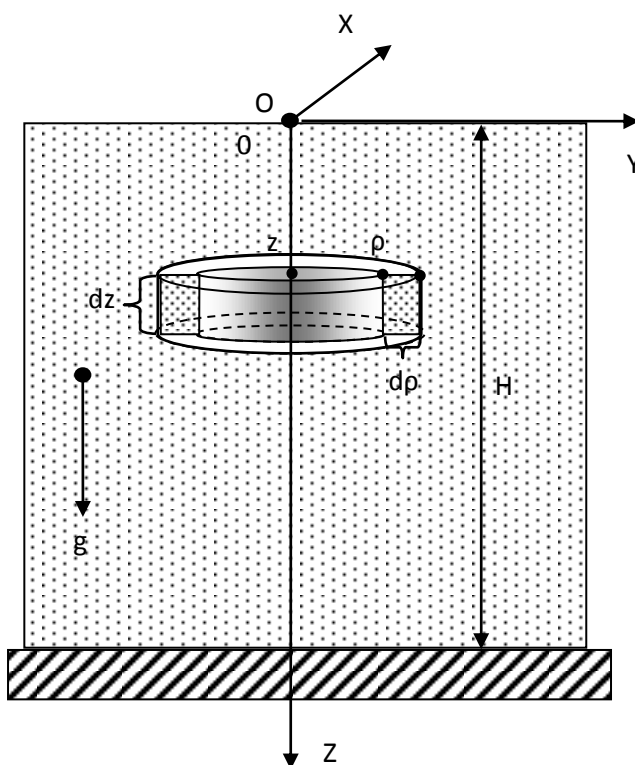


Рис. 1. Схема насыпи, элементарного объема и координатных осей
Fig. 1. The scheme of a mound, an elementary volume and coordinate axes

В этом случае можно выделить лишь два преимущественных направления: вертикальное, совпадающее с направлением действия силы тяжести, и горизонтальное, перпендикулярное действию силы тяжести. Поэтому для описания состояния идеального сыпучего материала, целесообразно воспользоваться цилиндрической системой координат.

В массе сыпучего материала выделим элементарное кольцо (рис. 1), объем которого в этой системе будет равен: $2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot dz$.

Вращательное движение мы пока не рассматриваем, поэтому второй закон Ньютона для элементарного кольца будет иметь вид:

$$\frac{d(m \cdot \vec{V})}{dt} = \sum \vec{F} \quad (1)$$

где, m – масса элементарного кольца \vec{V} – скорость его движения, \vec{F} – силы, действующие на это элементарное кольцо.

При равновесном и стационарном состояниях сыпучего материала, уравнение (1) распадется на два самостоятельных уравнения:

$$\frac{d(m \cdot \vec{V})}{dt} = 0 \quad (2)$$

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (3)$$

Под равновесным состоянием сыпучего материала будем понимать такое состояние, когда все его части находятся в равновесии и покое (импульс любого выделенного элемента равен нулю).

Под стационарным состоянием будем понимать такое состояние, при котором все его части движутся с постоянной скоростью, оставаясь при этом в равновесии (импульс любого выделенного элемента не зависит от времени, постоянен).

Методы исследования. Рассмотрим уравнение (3). Мы полагаем, что в массе сыпучего материала существует давление, компоненты которого P_z и P_ρ , и эти компоненты в общем случае не равны друг другу, как в случае идеальной жидкости (закон Паскаля). Также мы полагаем, что эти компоненты зависят от координат z и ρ , и не зависят от координаты φ .

В проекции на вертикальную ось OZ (рис. 1), уравнение (3) будет иметь вид:

$$0 = \gamma \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot dz \cdot g - 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz - \mu_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot dz \cdot \frac{\partial P_\rho}{\partial \rho} \cdot d\rho \quad (4)$$

В этом уравнении первое слагаемое – сила тяжести элементарного кольца, направленная вниз, вдоль положительного направления оси OZ .

Второе – сила сопротивления движению на горизонтальных поверхностях элементарного кольца за счет градиента вертикальной компоненты давления P_z по вертикали, направленного вверх, вдоль отрицательного направления оси OZ .

Третье – сила внутреннего, сухого трения на боковых поверхностях кольца за счет градиента радиальной компоненты давления по радиусу, также направленная вверх. Эта сила возникает именно за счет градиента радиальной компоненты давления по радиусу. Если бы отсутствовал этот градиент, то все элементарные кольца разного диаметра двигались бы по вертикали одинаково, инужно было бы рассматривать элементарный слой, как в модели Янсена, Гячева [11], а не элементарное кольцо, как в нашем случае.

Действительно, мы полагаем, что вертикальная компонента давления P_z , соответственно и градиент этой компоненты по оси OZ , зависят от радиуса. Следовательно, на соседние элементарные кольца по вертикали будут действовать разные силы. Это приведет к тому, что, например, соседнее внешнее элементарное кольцо, по отношению к рассматриваемому, будет смещаться вниз, а соседнее внутреннее кольцо будет смещаться (относительно рассматриваемого элементарного кольца) вверх.

Поэтому силы сухого трения, действующие на внутреннюю и внешнюю боковую поверхность рассматриваемого элементарного кольца, будут направлены в разные стороны. И результирующая сила будет определяться градиентом по координате ρ компоненты давления P_ρ . Таким образом, предположение о зависимости компонент давления, действующего в сыпучем материале, от координат, ведет к необходимости учитывать эту силу.

Далее: γ – плотность сыпучего материала; μ_i – коэффициент внутреннего, сухого тре-

ния; P_z – давление по вертикали или вертикальное давление, P_ρ – по горизонтали или горизонтальное давление в сыпучем материале.

В проекции на радиальную ось уравнение (3) будет иметь вид:

$$0 = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot dz \cdot \frac{\partial P_\rho}{\partial \rho} \cdot d\rho - \mu_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz \quad (5)$$

Здесь первое слагаемое – сила сопротивления сжатию (или растяжению) элементарного кольца, обусловленная градиентом горизонтального давления по радиальной координате. То есть, элементарное кольцо может сжиматься или расширяться. Второе – сила трения на горизонтальных поверхностях кольца, возникающая при таком сжатии (растяжении).

Из уравнения (5) вытекает, что горизонтальное давление P_ρ действительно распределено неравномерно по площади горизонтального сечения (т.е. $\frac{\partial P_\rho}{\partial \rho} \neq 0$). В противном случае и вертикальное давление не изменялось бы по высоте насыпи, что противоречит практическим наблюдениям. Из (5) также следует, что если градиент вертикального давления равномерно распределено по площади поперечного, горизонтального сечения, (т.е. $\frac{\partial P_z}{\partial z} = f(\rho)$), то горизонтальное давление будет линейно зависеть от координаты ρ .

Предположим, что мы рассматриваем не сыпучее тело, а идеальную жидкость, для которой коэффициент внутреннего, сухого трения – $\mu_i = 0$.

В этом случае, согласно уравнению (5), горизонтальное давление P_ρ не зависело бы от горизонтальной координаты ρ . Поскольку, согласно закону Паскаля, давление в жидкости передается во все стороны одинаково, т.е. горизонтальное давление равно вертикальному давлению, то и вертикальное давление также не будет зависеть от горизонтальной координаты ρ .

В этом случае уравнение (4) приняло бы вид:

$$0 = \gamma \cdot g - \frac{dP_z}{dz} \quad (6)$$

Вместо частной производной записана полная производная, поскольку давление зависит только от одной координаты z .

Решение уравнения (6) имеет вид:

$$P_z = \gamma \cdot g \cdot z + C$$

В плоскости $z = 0$ давление равно нулю, отсюда константа интегрирования равна нулю $C = 0$, и получаем известное уравнение гидростатики:

$$P_z = \gamma \cdot g \cdot z \quad (7)$$

При этом и горизонтальное давление, согласно закону Паскаля, будет определяться аналогичным выражением:

$$P_\rho = \gamma \cdot g \cdot z$$

Необходимо отметить, что этот результат ($P_\rho = \gamma \cdot g \cdot z$) непосредственно из дифференциальных уравнений (4) и (5) не следует. Он вытекает из экспериментального закона Паскаля для жидкостей.

Для идеального сыпучего материала также существует эмпирическое соотношение, подобное закону Паскаля, установленное на основании практических наблюдений.

Согласно этому соотношению горизонтальное давление прямо пропорционально вертикальному:

$$P_\rho(\rho, z) = k \cdot P_z(\rho, z) \quad (8)$$

Здесь k – так называемый, боковой коэффициент. Мы будем полагать, что этот коэффициент не зависит от координат, т.е. $k = const$.

Можно попытаться обобщить соотношение (8) следующим образом:

$$P_{\beta} = P_z \cdot (1 - (1 - k) \cdot \sin \beta) \quad (9)$$

где P_{β} – давление в сыпучей среде по некоторому произвольному направлению, β – угол между этим направлением и осью OZ .

Множитель перед первой скобкой – вертикальное давление. Это естественно, так как мы рассматриваем состояние движения сыпучего материала под действием сил гравитации. Следовательно, вертикальное давление будет основным, ведущим фактором, под действием которого формируется все поле давления в сыпучем материале.

Если направление, вдоль которого определяется давление, совпадает с осью OZ , то угол $\beta = 0$ и $P_0 = P_z$. Если это направление совпадает с осью OY , либо OX , т.е. находится в горизонтальной плоскости, то угол $\beta = \pi/2$ и $P_{\pi/2} = P_y = k \cdot P_z$.

То есть, на основании экспериментальных данных, сыпучую среду приходится считать анизотропной средой.

Формулу (9) можно считать универсальной. Для идеальной жидкости $k = 1$ и давление не зависит от направления.

Для идеально твердого тела $k = 0$ и давление по разным направлениям будет определяться выражением:

$$P = P_z \cdot (1 - \sin \beta)$$

В частности для идеально твердого тела $P_y = 0$ (если действует внешнее давление, направленное только по вертикали, т.е. $\beta = \frac{\pi}{2}$).

Для сыпучего тела коэффициент k заключен в пределах от нуля до единицы. Очевидно, что этот коэффициент зависит от свойств самого сыпучего материала. Однако до сих пор для него не получено аналитического выражения, применимого для любого сыпучего материала. С использованием (9), для определения давления в сыпучем материале получается следующая система уравнений:

$$\begin{cases} 0 = \gamma \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot dz \cdot g - 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz - \mu_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot dz \cdot \frac{\partial P_{\rho}}{\partial \rho} \cdot d\rho \\ 0 = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot dz \cdot \frac{\partial P_{\rho}}{\partial \rho} \cdot d\rho - \mu_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz \\ P_{\beta} = P_z \cdot (1 - (1 - k) \cdot \sin \beta) \end{cases} \quad (10)$$

Фактически, первые два уравнения системы (10) представляет собой уравнения Эйлера в гидродинамике идеальной жидкости, записанные применительно к нашей задаче, в случае равенства нулю левой части (ускорения).

Эту систему, с использованием (8), можно разрешить и представить в виде:

$$\begin{cases} 0 = \gamma \cdot g \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho - (1 + \mu_i^2) \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \\ k \cdot \frac{\partial P_z}{\partial \rho} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho = \mu_i \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \\ P_{\rho}(\rho, z) = k \cdot P_z(\rho, z) \end{cases} \quad (11)$$

Первое уравнение системы (11) можно использовать для нахождения зависимости вертикального давления от координаты z . Второе уравнение – для нахождения его зависимости от координаты ρ . Третье – для нахождения горизонтального давления.

Обсуждение результатов. Необходимо отметить, что данный подход является дальнейшим развитием теоретических исследований, опубликованных в работах [15 - 18]. Похожий подход для получения основных уравнений был использован в работах [19 - 20].

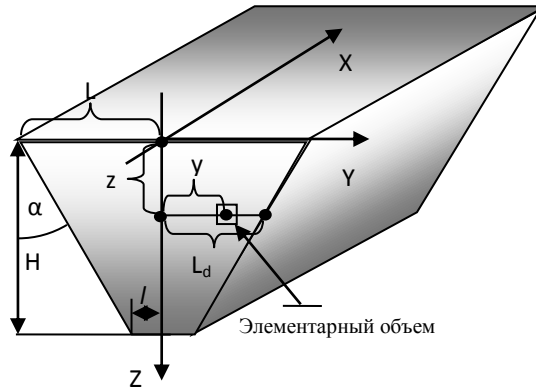


Рис. 2. Щелевой бункер по оси координат
Fig. 2. Slot bunker along the coordinate axis

Рассмотрим щелевой бункер, достаточно протяженный вдоль оси OX , с углом наклона стенки к вертикали $-\alpha$ (рис. 2).

Первое уравнение системы (11) примет вид $\gamma \cdot g \cdot dy \cdot dz = (1 + \mu_i^2) \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dy \cdot dz$

Проинтегрируем это уравнение по координате y от $-L_d$ до $+L_d$.

Перейдем от элементарного объема к элементарному горизонтальному слою толщиной dz .

$$\gamma \cdot g \cdot dz \cdot 2 \cdot L_d = (1 + \mu_i^2) \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz \cdot 2 \cdot L_d + C \quad (12)$$

Константа интегрирования C по физическому смыслу будет представлять собой вертикальную компоненту силы, действующей на две боковые поверхности элементарного слоя. Для ее нахождения рассмотрим контакт элементарного, горизонтального слоя с боковой поверхностью щелевого бункера (рис. 3).

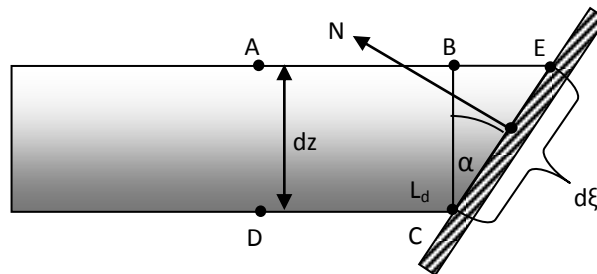


Рис. 3. Контакт элементарного слоя с боковой поверхностью бункера
Fig. 3. Contact of the elemental layer with the side surface of the hopper

В этом случае на боковую поверхность элементарного слоя будет действовать только сила трения, которую определим как силу сухого трения $F_{TP} = \mu_e N$, где μ_e – коэффициент внешнего трения. Очевидно, что сила реакции стенки $-N$ будет определяться давлением, действующим на боковую стенку.

В этом случае константа интегрирования C (вертикальная компонента силы трения) будет равна (рис. 3):

$$C = 2 \cdot \mu_e \cdot N \cdot \cos \alpha = 2 \cdot P \cdot d\xi \cdot \mu_e \cdot \cos \alpha = 2 \cdot P \cdot \frac{dz}{\cos \alpha} \cdot \mu_e \cdot \cos \alpha = 2 \cdot P \cdot \mu_e \cdot dz \quad (13)$$

Подставляя в (13) выражение для давления согласно (9), получим:

$$C = 2 \cdot P_z \cdot \mu_e \cdot (1 - (1 - k) \cdot \cos \alpha) \cdot dz \quad (14)$$

Здесь использовано то обстоятельство, что угол между направлением силы реакции N и осью OZ равен $\pi/2 - \alpha$ (рис. 2), а в (9) входит угол между вертикальным давлением и давлением по данному направлению.

С учетом (14) уравнение (12) преобразуется следующим образом:

$$\gamma \cdot g \cdot dz \cdot 2 \cdot L_d = (1 + \mu_i^2) \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz \cdot 2 \cdot L_d + 2 \cdot P_z \cdot \mu_e \cdot (1 - (1 - k) \cdot \cos \alpha) \cdot dz$$

Приведем это уравнение к стандартному виду:

$$\frac{\partial P_z}{\partial z} + \frac{P_z \cdot \mu_e \cdot (1 - (1 - k) \cdot \cos \alpha)}{(1 + \mu_i^2) \cdot (L - z \cdot \operatorname{tg} \alpha)} - B = 0 \quad (15)$$

Здесь использовано соотношение:

$$L_d = L - z \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (16)$$

Решение уравнения (15) имеет вид:

$$P_z = C \cdot (-L + b \cdot z)^{\frac{A}{b}} - \frac{B}{A - b} \cdot (-L + b \cdot z)$$

Здесь для сокращения записи введены обозначения:

$$b = \operatorname{tg} \alpha \quad A = \frac{\mu_e \cdot (1 - (1 - k) \cdot \cos \alpha)}{1 + \mu_i^2} \quad (17)$$

На поверхности давление должно равняться нулю. Из этого условия получим выражение для константы интегрирования:

$$C = \frac{B}{A - b} \cdot (-L)^{1 - \frac{A}{b}}$$

При этом решение будет иметь вид:

$$P_z(z) = \frac{B \cdot L}{A - b} \cdot \left(1 - \frac{b \cdot z}{L}\right) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{b \cdot z}{L}\right)^{\frac{A}{b} - 1}\right) \quad (18)$$

При переходе к равновесному состоянию $\mu_i \rightarrow 0$, $k \rightarrow 1$, $A \rightarrow \mu_e$.

В этом случае давление в щелевом бункере будет определяться выражением:

$$P_0(z) = \frac{\gamma \cdot g \cdot L}{\mu_e - b} \cdot \left(1 - \frac{b \cdot z}{L}\right) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{b \cdot z}{L}\right)^{\frac{\mu_e}{b} - 1}\right) \quad (19)$$

Таким образом, выражение (18) описывает давление в щелевом бункере в стационарном состоянии (при движении сыпучего материала), а выражение (19) в равновесном состоянии (при неподвижном сыпучем материале).

Из выражения (19) видно, что при $b = \mu_e$ ($\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi$) возникает неопределенность типа $0/0$. Раскрыв ее с помощью правила Лопитала, получим:

$$P_{0KP}(z) = -\frac{\gamma \cdot g \cdot L}{b} \cdot \left(1 - \frac{b \cdot z}{L}\right) \cdot \ln \left(1 - \frac{b \cdot z}{L}\right) \quad (20)$$

На рис.4 приведены кривые равновесного давления в щелевом бункере (сплошные линии), рассчитанные по формуле (19), и кривая критического равновесного давления (линия из точек $b = \mu_e$), рассчитанная по формуле (20). Как видно из рис.4, никаких разрывов не наблюдается.

На рис. 5 приведены кривые вертикального (сплошная линия) горизонтального (пунктирная линия) в стационарном состоянии и давление в равновесном состоянии (линия из точек) для щелевого бункера.

Как видим, также как и в траншее, вертикальное давление в стационарном состоянии больше давления в равновесном состоянии.

В то же время горизонтальное давление в стационарном состоянии меньше давления в равновесном состоянии указывает на то, что в стационарном состоянии давление на стены меньше, чем в равновесном состоянии.

Это не противоречит физическому смыслу задачи, особенно если провести аналогию с гидродинамикой. А так как происходит непрерывное уплотнение сыпучего материала, то будут наблюдаться пульсации давления на стенке щелевого бункера.

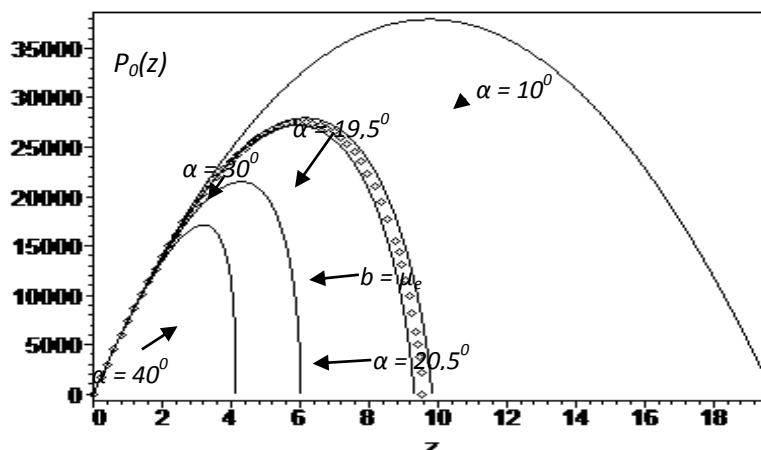


Рис. 4. Кривые равновесного давления в щелевом бункере (сплошные линии) при разных углах наклона стенки и кривая критического равновесного давления ($b = \mu_c$) в том же бункере (кривая из точек) $L = 3,5$ м, $\psi = 16^\circ$, $\phi = 20^\circ$, $\chi = 30^\circ$, $\gamma = 800$ кг / м³

Fig. 4. Equilibrium pressure curves in the slit bin (solid lines) at different angles of the wall inclination and the curve of the critical equilibrium pressure ($b = \mu_c$) in the same bin (curve from the points) $L = 3.5$ m, $\psi = 16^\circ$, $\phi = 20^\circ$, $\chi = 30^\circ$, $\gamma = 800$ kg / m³

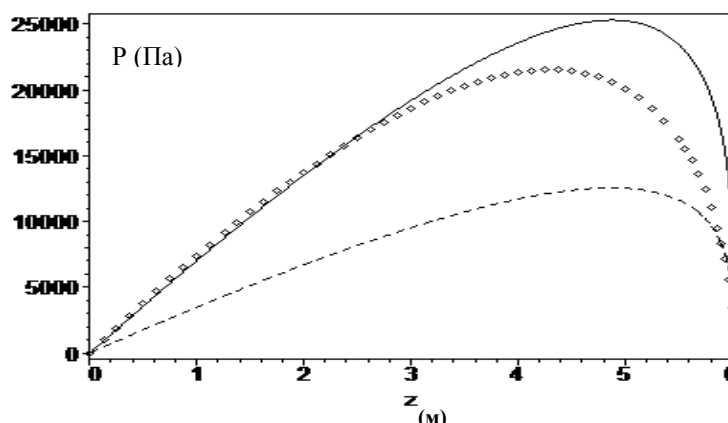


Рис. 5. Вертикальное (сплошная линия) и горизонтальное (пунктирная линия) давление в щелевом бункере в стационарном случае и давление в равновесном состоянии (линия из точек) $L = 3,5$ м, $\psi = 16^\circ$, $\phi = 20^\circ$, $\chi = 30^\circ$, $\gamma = 800$ кг / м³

Fig. 5. Vertical (solid line) and horizontal (dotted line) pressure in the slot hopper in the stationary case and pressure in the equilibrium state (line of points)

$L = 3.5$ m, $\psi = 16^\circ$, $\phi = 20^\circ$, $\chi = 30^\circ$, $\gamma = 800$ kg / m³

На рис. 6 представлены кривые зависимости вертикального давления от координаты z при разных углах наклона стенки бункера (сплошные линии). Для сравнения на этом же графике приведена кривая зависимости вертикального давления от координаты z для прямоугольной траншеи (линия из точек).

При этом горизонтальный размер, ширина в верхней части L , для них одинаков - $L = 3,5$ м. Как видно по рис.6, при уменьшении угла наклона стенки бункера к вертикали, различие между кривыми для щелевого бункера и прямоугольной траншеи уменьшаются.

Ведем теперь в полученное решение зависимость от координаты y . С этой целью, все пространство, занятое щелевым бункером разобьем на две области, как показано на рис.7. Ре-

шение в области I представим в виде: $P_z^I = B \cdot z$. Решение в области II будем искать в виде:

$$P_z^{II}(y, z) = \frac{B \cdot L}{A - b} \cdot \left(1 - \frac{b \cdot z}{L} \cdot \left(1 - \frac{L_d - y}{L_d - L_b} \right) \right) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{b \cdot z}{L} \cdot \left(1 - \frac{L_d - y}{L_d - L_b} \right) \right)^{\frac{A}{b} - 1} \right) + B \cdot \frac{L_d - y}{L_d - L_b} \cdot z \quad (21)$$

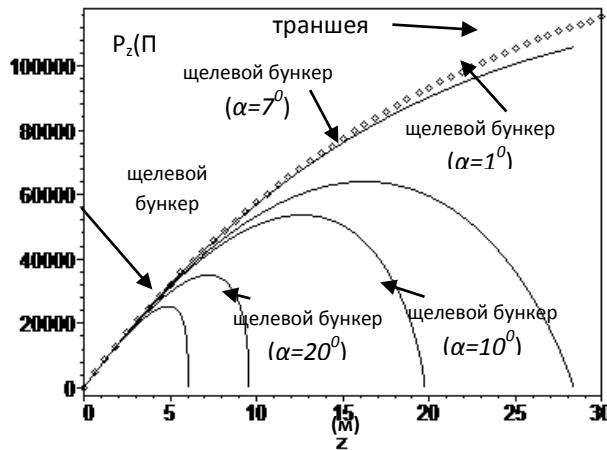


Рис. 6. Зависимость вертикального давления от координаты z для различных углов наклона стенки щелевого бункера ($\psi=16^\circ$, $\phi=20^\circ$, $\chi=30^\circ$, $\gamma=800 \text{ кг/м}^3$, $W=3,5 \text{ м}$)

Fig. 6. Dependence of the vertical pressure on the z coordinate for different slope angles of the slit-bin wall ($\psi = 160$, $\phi = 200$, $\chi = 300$, $\gamma = 800 \text{ kg / m}^3$, $W = 3.5 \text{ m}$)

При этом (рис. 7):

$$L - L_b = \frac{z}{\text{tg } \chi}; \quad L - L_d = b \cdot z \quad (22)$$

На границе областей, определяемой уравнением: $y = L_b$ (рис. 7), первое слагаемое решения (21) обращается в нуль, а второе слагаемое переходит в P_z^I . На боковой поверхности щелевого бункера, определяемой уравнением $y = L_d$, второе слагаемое (21) обращается в нуль, а первое переходит в (18).

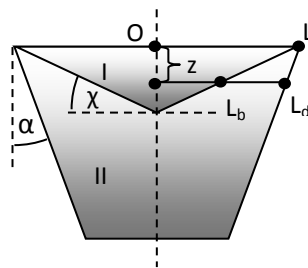


Рис. 7. Разделение пространства щелевого бункера на области

Fig. 7. Split the space of the slot hopper into areas

Таким образом, решения (18), (19) и (21) удовлетворяют граничным условиям и предельному переходу к идеальной жидкости. Посмотрим, удовлетворяет ли решение (21) второму уравнению системы (11). Для этого формулу (21) представим в виде явной зависимости от координат:

$$P_z^{\mu}(y, z) = \frac{B \cdot L}{A - b} \cdot \left(\left(1 - \frac{b}{L} \cdot \frac{z - (L - y) \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \right) - \left(1 - \frac{b}{L} \cdot \frac{z - (L - y) \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \right)^{\frac{A}{b}} \right) + \quad (23)$$

$$+ B \cdot \frac{L - b \cdot z - y}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \cdot \operatorname{tg} \chi$$

Найдем теперь первые производные по координатам:

$$\frac{\partial P_z}{\partial z} = \frac{B \cdot L}{A - b} \cdot \frac{b}{L} \cdot \frac{1}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \left(\frac{A}{b} \cdot \left(1 - \frac{b}{L} \cdot \frac{z - (L - y) \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \right)^{\frac{A}{b} - 1} - 1 \right) - B \cdot \frac{b \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi}$$

$$\frac{\partial P_z}{\partial y} = \frac{B \cdot L}{A - b} \cdot \frac{b}{L} \cdot \frac{\operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \cdot \left(\frac{A}{b} \cdot \left(1 - \frac{b}{L} \cdot \frac{z - (L - y) \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \right)^{\frac{A}{b} - 1} - 1 \right) - B \cdot \frac{\operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi}$$

Подставим теперь найденные значения производных во второе уравнение системы (11):

$$k \cdot \frac{B \cdot L}{A - b} \cdot \frac{b}{L} \cdot \frac{\operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \cdot \left(\frac{A}{b} \cdot \left(1 - \frac{b}{L} \cdot \frac{z - (L - y) \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \right)^{\frac{A}{b} - 1} - 1 \right) - B \cdot \frac{\operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} =$$

$$= \mu_i \cdot \frac{B \cdot L}{A - b} \cdot \frac{b}{L} \cdot \frac{1}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \left(\frac{A}{b} \cdot \left(1 - \frac{b}{L} \cdot \frac{z - (L - y) \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \right)^{\frac{A}{b} - 1} - 1 \right) - B \cdot \frac{b \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi}$$

Преобразовав это выражение, получим:

$$(k \cdot \operatorname{tg} \chi - \mu_i) \cdot \frac{b}{A - b} \cdot \left(\frac{A}{b} \cdot \left(1 - \frac{b}{L} \cdot \frac{z - (L - y) \cdot \operatorname{tg} \chi}{1 - b \cdot \operatorname{tg} \chi} \right)^{\frac{A}{b} - 1} - 1 \right) = (1 - b) \cdot \operatorname{tg} \chi$$

Если, как и раньше, считать, что $k = \frac{\mu_i}{\operatorname{tg} \chi}$, то для удовлетворения получившегося выражения необходимо положить, что $\operatorname{tg} \chi = 0$. Но если $\operatorname{tg} \chi = 0$, то и $\mu_i = 0$, а отсюда следует $k = 1$.

В этом случае область I вообще исчезает, параметр B примет значение $B = \gamma g$, параметр A примет значение $A = \mu_e$, а решение в области II примет вид, совпадающий с (19).

Решение (19), будем считать решением задачи для равновесного состояния, а решения, (21) и (23) решениями задачи для стационарного состояния.

На рис. 8 представлены графики зависимости вертикального давления от координаты z для трех случаев.

Давление у стенки щелевого бункера (сплошная линия), давление в центре щелевого бункера (линия из точек) и давление у стенки прямоугольной траншеи (штриховая линия). На рис. 8.а для угла наклона стенки щелевого бункера к вертикали $\alpha = 30^\circ$ и на рис. 8.б для $\alpha = 15^\circ$.

Как видно из графиков, давление, с ростом z , растет, достигает экстремума, а затем спадает до нуля. Кроме того, давление в центре траншеи несколько превышает давление вдоль стенки.

Относительное положение максимума давления зависит от параметров бункера. Расхождение между графиками для траншеи и щелевого бункера, как отмечалось, имеют существенные значения в нижней части бункера.

Давление на стенку в щелевом бункере определяется выражением (18) и соотношением (9):

$$P_{\perp} = \frac{a \cdot B \cdot L}{A - b} \cdot \left(\left(1 - \frac{b \cdot z}{L} \right) - \left(1 - \frac{b \cdot z}{L} \right)^{\frac{A}{b}} \right) \quad (24)$$

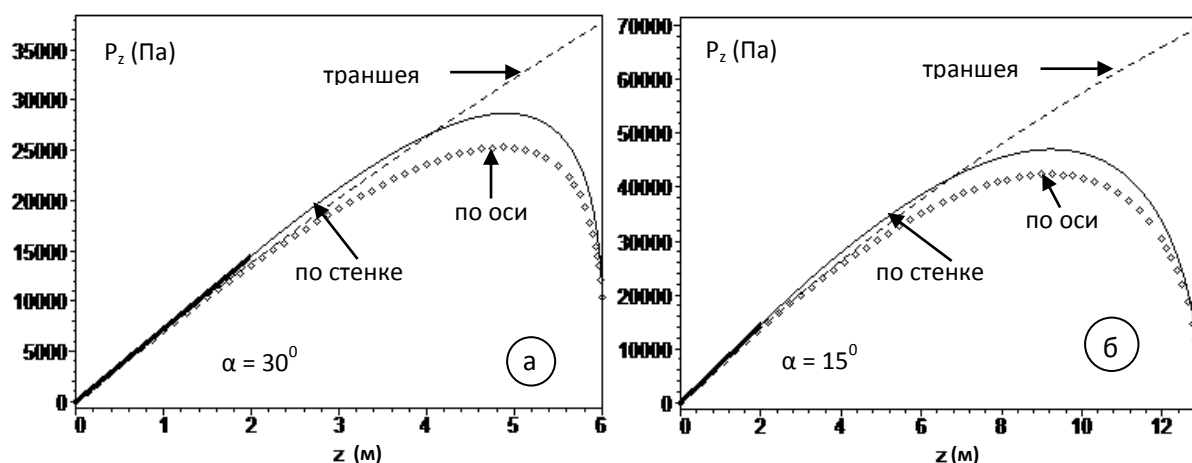


Рис. 8. Зависимости вертикального давления от координаты z для трех случаев: у стенки щелевого бункера (сплошная линия), в центре щелевого бункера (линия из точек) и у стенки прямоугольной траншеи (штриховая линия) ($\gamma = 800 \text{ кг / м}^3$, $\psi = 16^\circ$, $\varphi = 20^\circ$, $\chi = 30^\circ$, $L = 3,5 \text{ м}$, $a - \alpha = 30^\circ$, $b - \alpha = 15^\circ$)

Fig. 8. Dependences of the vertical pressure on the coordinate z for three cases: at the wall of the slot hopper (solid line), at the center of the slot hopper (line of points) and at the wall of the rectangular trench (dashed line) ($\gamma = 800 \text{ kg / m}^3$, $\psi = 16^\circ$, $\varphi = 20^\circ$, $\chi = 30^\circ$, $L = 3.5 \text{ m}$, and $a - \alpha = 30^\circ$, $b - \alpha = 15^\circ$)

где для сокращения записи введено обозначение $a = \left(1 - \left(1 - \frac{\mu_i}{\text{tg} \chi} \right) \cdot \cos \alpha \right)$.

На рис. 9 представлен трехмерный график зависимости вертикального давления в щелевом бункере от переменных y и z , составленный из решений в областях I и II , с нанесенными изолиниями вертикального давления.

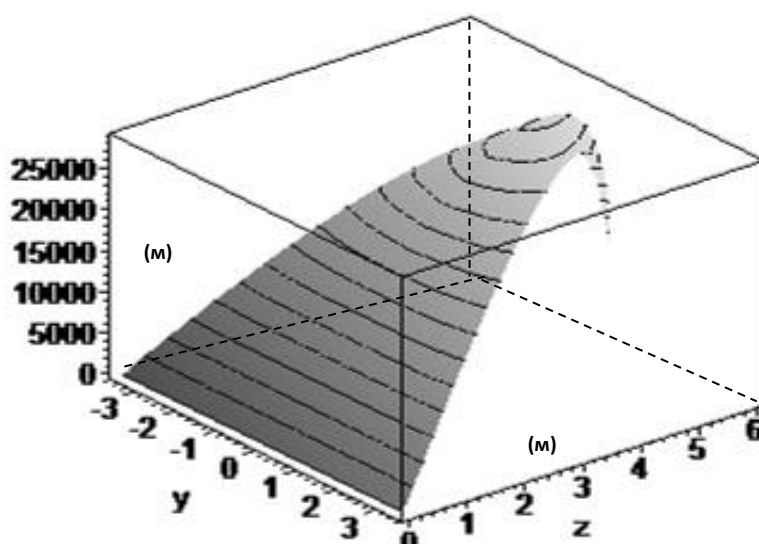


Рис. 9. Трехмерный график изолиний вертикального давления в щелевом бункере ($L = 3,5 \text{ м}$, $\alpha = 30^\circ$) от координат y и z ($\gamma = 800 \text{ кг / м}^3$, $\psi = 16^\circ$, $\varphi = 20^\circ$, $\chi = 30^\circ$)

Fig. 9. Three-dimensional plot of vertical pressure isolines in a slotted silo ($L = 3.5 \text{ m}$, $\alpha = 30^\circ$) from the coordinates y and z ($\gamma = 800 \text{ kg / m}^3$, $\psi = 16^\circ$, $\varphi = 20^\circ$, $\chi = 30^\circ$)

Как видно, давление достигает максимума на глубине порядка $2/3$ высоты щелевого бункера, что согласуется с экспериментальными данными.

Вывод. Давление в щелевом бункере достаточно сложно меняется по высоте. На поверхности бункера оно равно нулю, затем давление возрастает и достигает максимума примерно на расстоянии 2/3 от поверхности, а далее стремительно падает вплоть до нуля (если выпускная щель имеет достаточно малую ширину).

Следовательно, стенки бункера берут на себя всю нагрузку. Но для экономии материала эти стенки можно делать не постоянной, а переменной величиной, обеспечивая максимальную прочность на уровне 2/3 от высоты. Кроме того, на этой же высоте необходимо ставить различного рода вибраторы для обеспечения непрерывного истечения сыпучего материала из бункера.

Библиографический список:

1. Coulomb. Application des regles de maximis et minimis a quelques problemes de statiqu relatifs a J'architecture. Mem des Savants Etrangers de J'dcad d / Coulomb // Sc. de Paris, 1773.
2. Малышев М.В. Об определении угла внутреннего трения и сцепления предельно напряженной сыпучей среды / М.В. Малышев // Изв. АН СССР. Сер. ОТН. – 1954.- № 7. – С. 18-21.
3. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн. - М.: Госстройиздат, 1956. – 252 с.
4. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М.: Физматгиз, 1960. – 186 с.
5. Соловых С.Ф. О связи напряженного состояния сыпучего тела с формой движения его в силосе / С.Ф. Соловых // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1962. - № 5. - С. 22-25.
6. Ехансон. А.И. Поля напряжений и скоростей при гравитационном течении масс / А.И. Ехансон // Прикладная механика. – 1964. - № 3. – С. 149.
7. Гениев Г.А. Об одном варианте течения сыпучей среды / Г.А. Гениев // Строительная механика. – 1965. - № 6. – С. 23-26.
8. Дерсевич Г. И. Механика зернистой среды / Г.И. Дерсевич // Проблемы механики. – М., 1961. - Вып. III. – 368 с.
9. Jenkin C.F. Pressure Exerted by Granular Material an Application of the Principles of Dilatancy / C.F. Jenkin // Proceedings pf Royal Society of London. Ser. A. - 1931. - Vol. 131. - P. 53-89.
10. Гячев Л.В. О механической модели сыпучего тела / Л.В. Гячев // Механика сыпучих материалов: тез. докл. Всесоюз. конф. – Одесса, 1975. – С. 3-4.
11. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л.В. Гячев. - М.: Машиностроение, 1968. - 184 с.
12. Keller H. Das Schuttgutmodell von L.V.Gjachev zur Beschreibung der Gesetzmabigkeiten der Bunkerung kohasionsloser Schuttgutter und seine experimentelle Uberprufung / H. Keller . - Weimer, 1982. – 76 s.
13. Keller H. Korrekturformeln zur Theorie des Schuttgutausflusses aus Bunkern von L.V.Gjachev / H. Keller // Wissenschaftlice Zeitschrift der Hochschule fur Architektur und Bauwessen. – Weimar, 1987. – Raie B.h. 5/6. – S. 292-295.
14. Keller H. Beitrage zum Schuttgutausflub aus Behaltern: Dissertationen / H. Keller. – Weimar, 1989. - 238 s.
15. Федосеев В.Б., Шполянский А.Я. Связь между компонентами давления в сыпучем материале. // Научная мысль Кавказа. Междисциплинарные и специальные исследования. – 2007. - №1. – С. 70-76.
16. Федосеев В.Б., Кунаков В.С. Угол естественного откоса идеального сыпучего материала. // Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Естеств. науки. – 2008. - №1. – С. 47-53.
17. Федосеев В.Б., Гордеева А.Б. Боковой коэффициент и давление в пристеночной насыпи сыпучего материала // Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Естеств. науки. – 2010. - №2. – С. 58-60.
18. Федосеев В.Б., Серченко О.Н., Грошев Л.М. Давление сыпучего материала в круглом силосе // Вестник Донского государственного технического университета. – ФГОУ ВПО ДГТУ, 2011. – т. 11, №10(61) 185 С. – С. 1843-1849.
19. Федосеев В.Б., Гордеева А.Б., Зацаринная И.А. Теоретический расчёт давления в ёмкостях, заполненных дискретной средой // Вестник Донского государственного технического университета. – ФГОУ ВПО ДГТУ, 2011. – т. 11, № 2 (53). С. 163-168.
20. Федосеев В.Б., Зацаринная И.А. Стохастический характер образования динамических сводов при установившемся режиме истечения сыпучих материалов из бункеров // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск: ФГОУ ВПО МичГАУ, 2011. – №1, Ч. 1. С. 196-199.

References:

1. Coulomb C.-A. Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture. Mémoires de mathématique & de physique, présentés à l'Académie Royale des Sciences par divers savans. vol. 7. Paris: De l'Imprimerie Royale, 1776.
2. Malyshev M.V. Ob opredelenii ugla vnutrennego treniya i stsepleniya predel'no napryazhennoi sypuchei sredy. Izv. AN SSSR. Ser. OTN. 1954; 7:18-21. [Malyshev M.V. On the determination of the angle of internal friction and the adhesion of an extremely stressed loose medium. Izv. AN SSSR. Ser. OTN. 1954; 7: 18-21. (In Russ.)]
3. Klein G.K. Stroitel'naya mekhanika sypuchikh tel. M.: Gosstoriizdat; 1956. 252 s. [Klein G.K. Construction mechanics of loose bodies. M.: Gosstoriizdat; 1956. 252 p. (In Russ.)]
4. Sokolovskii V.V. Statika sypuchei sredy. M.: Fizmatgiz; 1960. 186 s. [Sokolovskii V.V. Statistics of the loose medium. M.: Fizmatgiz; 1960. 186 p. (In Russ.)]
5. Solovykh S.F. O svyazi napryazhennogo sostoyaniya sypuchego tela s formoi dvizheniya ego v silose. Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1962; 5:22-25. [Solovykh S.F. On the relationship between the stressed state of a loose body and the form of its movement in a silage. News of higher educational institutions. Construction. 1962; 5:22-25. (In Russ.)]
6. Ekhanson A.I. Polya napryazhenii i skorostei pri gravitatsionnom techenii mass. Prikladnaya mekhanika. 1964; 3:149. [Ekhanson A.I. Fields of stresses and velocities in the gravitational flow of masses. International Applied Mechanics. 1964; 3:149. (In Russ.)]
7. Geniev G.A. Ob odnom variante techeniya sypuchei sredy. Stroitel'naya mekhanika. 1965;6:23-26. [Geniev G.A. About a version of the loose medium flow. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 1965; 6:23-26. (In Russ.)]
8. Dersevich G. I. Mekhanika zernistoi sredy. Problemy mekhaniki. Vyp. III. M.: 1961. 368 s. [Dersevich G. I. Mechanics of a granular medium. Issues of Mechanics. Vol. III. M.: 1961. 368 p. (In Russ.)]
9. Jenkin C.F. Pressure Exerted by Granular Material an Application of the Principles of Dilatancy. Proceedings of Royal Society of London. Ser. A. 1931; 131:53-89.
10. Gyachev L.V. O mekhanicheskoi modeli sypuchego tela. Tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferentsii "Mekhanika sypuchikh materialov". Odessa; 1975. S. 3-4. [Gyachev L.V. On the mechanical model of a loose body. Materials of All-Union conference "Mechanics of loose materials". Odessa; 1975. P. 3-4. (In Russ.)]
11. Gyachev L.V. Dvizhenie sypuchikh materialov v trubakh i bunkerakh. M.: Mashinostroenie; 1968. 184 s. [Gyachev L.V. Motion of loose materials in pipes and hoppers. M.: Mashinostroenie; 1968. 184 p. (In Russ.)]
12. Keller H. Das Schuttgutmodell von L.V.Gjachev zur Beschreibung der Gesetzmäßigkeiten der Bunkerung kohasionsloser Schuttgutter und seine experimentelle Überprüfung. Weimar; 1982. 76 p.
13. Keller H. Korrekturformeln zur Theorie des Schuttgutausflusses aus Bunkern von L.V.Gjachev. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen. Raie B.h. 5/6. Weimar; 1987. P. 292-295.
14. Keller H. Beiträge zum Schuttgutausflug aus Behaltern: Dissertationen. Weimar; 1989. 238 p.
15. Fedoseev V.B., Shpolyanskii A.Ya. Svyaz' mezhdru komponentami davleniya v sypuchem materiale. Nauchnaya mysl' Kavkaza. Mezhdistsiplinarnye i spetsial'nye issledovaniya. 2007;1:70-76. [Fedoseev V.B., Shpolyanskii A.Ya. The relationship between the pressure components in the bulk material. Scientific Thought of Caucasus. Interdisciplinary and Special Research. 2007;1:70-76. (In Russ.)]
16. Fedoseev V.B., Kunakov V.S. Ugol estestvennogo otkosa ideal'nogo sypuchego materiala. Izvestiya VUZov. Severo - Kavkazskiy Region. Estestvennye nauki. 2008;1:47-53. [Fedoseev V.B., Kunakov V.S. The angle of the natural slope of an ideal loose material. Universities' News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series. 2008;1:47-53. (In Russ.)]
17. Fedoseev V.B., Gordeeva A.B. Bokovoi koeffitsient i davlenie v pristenochnoi nasypi sypuchego materiala. Izvestiya VUZov. Severo - Kavkazskiy Region. Estestvennye nauki. 2010;2:58-60. [Fedoseev V.B., Gordeeva A.B. Lateral coefficient and pressure in the wall mound loose material. Universities' News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series. 2010; 2:58-60. (In Russ.)]
18. Fedoseev V.B., Serchenko O.N., Groshev L.M. Davlenie sypuchego materiala v kruglom silose. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011;10(61):1843-1849. [Fedoseev V.B., Serchenko O.N., Groshev L.M. Pressure of loose material in a round silo. Vestnik of Don State Technical University. 2011;10(61):1843-1849. (In Russ.)]

19. Fedoseev V.B., Gordeeva A.B., Zatsarinnaya I.A. Teoreticheskii raschet davleniya v emkostyakh, zapolnennykh diskretnoi sredoi. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011;2(53):163-168. [Fedoseev V.B., Gordeeva A.B., Zatsarinnaya I.A. Theoretical calculation of the pressure in tanks filled with a discrete medium. Vestnik of Don State Technical University. 2011;2(53):163-168. (In Russ.)]
20. Fedoseev V.B., Zatsarinnaya I.A. Stokhasticheskii kharakter obrazovaniya dinamicheskikh svodov pri ustanovivshemsya rezhime istecheniya sypuchikh materialov iz bunkerov. Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011;1:196-199. [Fedoseev V.B., Zatsarinnaya I.A. Stochastic character of the formation of dynamic arches under steady-state conditions for the flow of loose materials from hoppers. Vestnik Michurinsk State Agrarian University. 2011;1:196-199. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Мурадова Сафура Шиховна - кандидат педагогических наук, доцент.

Федосеева Людмила Владимировна - старший преподаватель.

Information about the authors.

Safura S. Muradova - Cand. Sci. (Pedagogical), Assoc.Prof.

Lyudmila V. Fedoseeva - Senior Lecturer.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.08.2017.

Принята в печать 08.09.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.08.2017.

Accepted for publication 08.09.2017.

Для цитирования: Родионов В.П., Уколов А.И. Закономерности кавитационной эрозии конструкционных материалов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):39-47. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-39-47

For citation: Rodionov V.P., Ukolov A.I. The laws of cavitation erosion of construction materials. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (3):39-47 (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-39-47

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК 532.5, 620.16

ББК 22.251, 30.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-39-47

ЗАКОНОМЕРНОСТИ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Родионов В.П.², Уколов А.И.¹

¹ Керченский государственный морской технологический университет,
298309, г. Керчь, Республика Крым, ул. Орджоникидзе, 82, Россия,

² Армавирский механико-технологический институт (филиал),

² Кубанский государственный технологический университет,

² 352905, ул. Кирова, 127, Армавир, Россия,

² 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, Россия,

¹ e-mail: ukolov_aleksei@mail.ru, ² e-mail: vik-rodio@yandex.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является поиск путей использования кавитационных эффектов в создании новых технологий и способов применения уникальных возможностей, возникающих в условиях развитой пузырьковой кавитации. В данной работе экспериментально исследовано эрозийное разрушение бетона, вызванное затопленной кавитационной струей, с целью выявления закономерностей глубины повреждения при различных режимах истечения.

Метод. Испытания проведены на специально изготовленном экспериментальном стенде, содержащем приемный бак, из которого вода поступала в плунжерный насос с электродвигателем, и нагнеталась через шланг высокого давления в кавитатор. Критериями оценки интенсивности воздействия кавитации были выбраны зависимость глубины эрозионной зоны от времени испытаний и относительного расстояния до среза кавитатора ϵ при различных значениях входного давления P_0 . **Результат.** Представлены экспериментальные зависимости и аналитическая функция, полученные методом регрессионного анализа, скорости проникновения эрозии от времени и относительного расстояния между образцом и срезом кавитатора. Для выбранных параметров струйного истечения оптимальное расстояние от разрушаемой поверхности до кавитатора находится в диапазоне (10-40) ϵ и достигает максимального эффекта в интервале давлений 2,5-12,5 МПа в среднем за 30 с. Соотношения значений глубины и скорости проникновения эрозии при заданных параметрах давления P_0 , противодействия P_k , расстояния от среза кавитатора до поверхности, диаметра кавитатора, соответствуют максимальному эрозионному воздействию кавитации. **Вывод.** Исследование кавитационной эрозии открывает широкие возможности для оценки срока эксплуатации гидротехнических объектов, находящихся под активным воздействием затопленных кавитационных струй. Изменяя параметры струйного истечения можно получить различную интенсивность эрозионного разрушения материала для применения этого явления при очистке и измельчении бетона.

Ключевые слова: кавитация, эрозия, затопленная струя, глубина разрушения, бетон

PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE
MECHANICS

THE LAWS OF CAVITATION EROSION OF CONSTRUCTION MATERIALS

Victor P. Rodionov², Alexey I. Ukolov¹

¹Kerch State Marine Technological University,

¹82 Ordzhonikidze Str., Kerch 298309, Russia,

²Armavir Institute of Mechanics and Technology (Affiliated Branch)
of Kuban State Technological University,

²127 Kirova Str., Armavir 352905, Russia,

²2 Moskovskaya Str., Krasnodar 350072, Russia,

¹e-mail:ukolov_aleksei@mail.ru, ²e-mail:vik-rodio@yandex.ru

Abstract Objectives. The aim of the research is to find ways to use cavitation effects in the creation of new technologies and means of applying unique opportunities arising under conditions of developed bubble cavitation. Erosive destruction of concrete caused by a submerged cavitation jet is experimentally investigated in the present work in order to reveal the regularities of the extent of damage under different flow regimes. **Methods.** The tests were carried out using an specially constructed experimental bench, containing a receiving tank from which water was supplied to the plunger pump with an electric motor and pumped through a high-pressure hose into the cavitator. The criteria for assessing the intensity of cavitation impact were the dependence of the erosion zone depth on the test time and the relative distance to the cavitator's cut-off ε for different values of the inlet pressure P_0 . **Results.** Experimental dependences and the analytical function of erosion penetration rate over time, as well as the relative distance between the sample and the cavitator's cut-off, obtained using the regression analysis method, are presented. For the selected parameters of jet flow, the optimum distance from the surface to be destroyed to the cavitator lies across the range of (10-40) ε and reaches maximum effect across the pressure interval of 2.5-12.5 MPa on the average for 30 seconds. The relationship between the depth and the erosion penetration rate for given pressure parameters P_0 , the back pressure P_{10} , the distance from the cavitator's cut-off to the surface, as well as the cavitator's diameter, correspond to the maximum erosive effect of cavitation. **Conclusion.** The study of cavitation erosion opens up wide possibilities for estimating the service life of hydrotechnical facilities under the active influence of submerged cavitation jets. By varying the parameters of jet flow, it is possible to obtain a different intensity of erosive destruction of material for the application of this phenomenon in the purification and crushing of concrete.

Keywords: cavitation, erosion, submerged jet, depth of destruction, concrete

Введение. В настоящее время изучению кавитационной эрозии конструкционных материалов уделяется недостаточно внимания. Бетонные конструкции, естественные скальные породы, а также керамика, которая применяется в гидравлических устройствах, часто подвергаются воздействию кавитации [1-4]. Многим специалистам еще неизвестны материалы, способные противостоять воздействию кавитации, поэтому предпринимаются попытки прогнозирования кавитационного разрушения и увеличения их кавитационной стойкости [1,2, 5-11].

Другим важным аспектом исследования эрозийного разрушения конструкционных материалов является рециркуляция и повторное использование отходов строительного сноса [12]. Основные затраты при переработке бетона связаны с механическим измельчением для освобождения отдельных агрегатных частиц. Наиболее распространенные способы измельчения – роликовое или ударное дробление. Однако рассматривается и возможность немеханического воздействия за счет звуковых импульсов, генерируемых под водой [13], или ударных волн [14].

Кавитационная затопленная струя является эффективным инструментом разрушения. Даже кратковременного кавитационного воздействия (5-10 с) достаточно для заметного повре-

ждения бетона [1,15]. Влияние кавитации на материал связано с генерацией ударных волн из-за симметричной имплозии пузырьков, образованием микроструй вследствие несимметричной имплозии, образованием микроструй из-за ударно-индуцированного разрушения пузырьков. Возможна суперпозиция нескольких отдельных механизмов, в результате которой давление, создаваемое во время имплозии и коллапса кавитационных пузырьков, составляет порядка 10^2 МПа [12].

Постановка задачи. Долгое время исследования были направлены на борьбу с кавитацией, так как эффекты, связанные с ней, крайне нежелательны в технике. Разрушение деталей насосов, двигателей, гидротурбин, корабельных винтов, вибрация оборудования, износ трубопроводов и гидроарматуры и многое другое заставляло принимать кавитацию как неуправляемое и опасное явление. Однако в последнее время интерес к этому явлению вызван поиском путей использования кавитационных эффектов в создании новых технологий, способов применения уникальных возможностей, возникающих в условиях развитой пузырьковой кавитации [16-21].

В данной работе экспериментально исследовано эрозийное разрушение бетона, вызванное затопленной кавитационной струей, с целью выявления закономерностей глубины повреждения при различных режимах истечения.

Методы исследования. Для испытаний на стойкость к кавитационному воздействию конструкционных материалов был спроектирован и изготовлен специальный экспериментальный стенд.

Вода из водопроводной сети заполняла приемный бак и поступала в плунжерный насос с электродвигателем, из которого нагнеталась через шланг высокого давления в кавитатор.

Рабочий участок установки представлял собой металлический бак размерами $2 \times 1,5 \times 1,2$ м. На его дне было смонтировано специальное устройство для закрепления испытываемых образцов.

В опытах использовались кавитаторы с наименьшим внутренним диаметром проходного сечения, равным: $d_o = 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ мм.

Набор кавитаторов позволял насосной установке обеспечивать стабильное давление струйного истечения от 2,5 до 12,5 МПа. Относительное расстояние ϵ между кавитатором и поверхностью испытываемого образца к диаметру проходного отверстия кавитатора изменялось в диапазоне от 10 до 200. Избыточное давление в зоне расположения конструкционных материалов поддерживалось постоянным в пределах $P_k = 0,01$ МПа.

Эрозийное разрушение вызывалось струями воды при кавитационных режимах, истекающих из генераторов кавитации перпендикулярно поверхности образцов, число которых на один параметр измерения варьировалось от 6 до 10. Время воздействия струи изменялось от 10 до 600 с. Этот диапазон времени испытаний позволял получить максимальную глубину проникновения эрозийного разрушения в образцах конструкционного материала, выполненного из цементно-песчаного раствора марки цемента 500 до их разрушения.

Образцы бетона, состоящие из цемента с песком, гальки или щебня имеют неоднородную структуру с различным размером гранул и испытанию не подвергались ввиду невозможности определения закономерностей разрушения. Глубина эрозии у партии образцов после испытаний измерялась микрометром.

Критериями оценки интенсивности воздействия кавитации были выбраны зависимость глубины эрозийной зоны от времени испытаний и относительного расстояния до среза кавитатора ϵ при различных значениях входного давления P_o .

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований, а также графики зависимости изменения глубины зоны эрозии h от времени воздействия кавитации на образец для различных значений величины входного давления P_o представлены на рис. 1. С увеличением продолжительности воздействия струи на образец глубина зоны эрозии h экспоненциально возрастает до максимального значения (рис.1), величина которого зависит от давления P_o . С увеличением P_o максимально достигаемая глубина h очага эрозии для каждого ϵ увеличивается.

В диапазоне изменения времени воздействие струи на образец от 10 до 60 с зависимость $h = f(\tau)$ изменяется с достаточным приближением к линейному закону. С увеличением P_0 тангенс угла наклона линейных зависимостей возрастает.

При $\tau > 60$ с изменение h отклоняется от линейного закона. При этом темп изменения h с увеличением τ уменьшается.

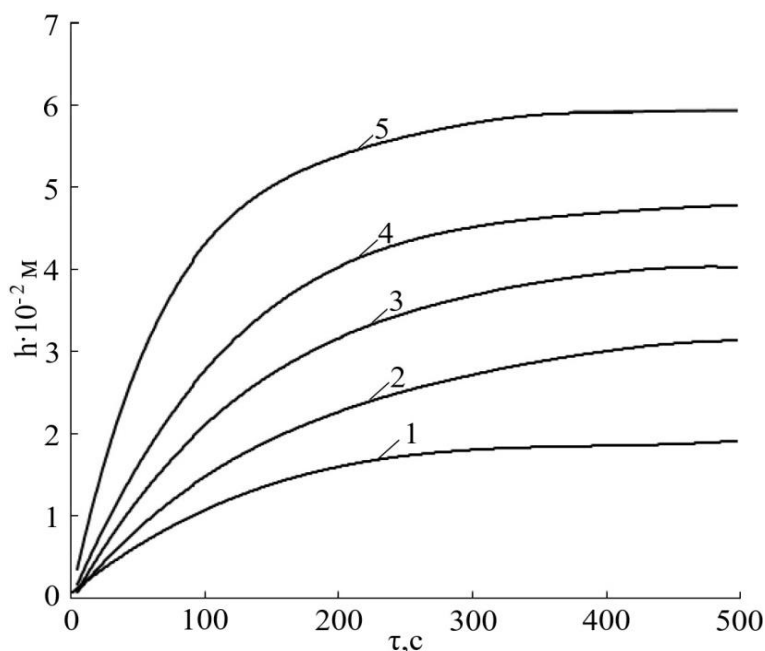


Рис.1. Глубина эрозии при $\varepsilon=40$: 1. $P_0=2,5$ МПа; 2. $P_0=5,0$ МПа; 3. $P_0=7,5$ МПа; 4. $P_0=10$ МПа; 5. $P_0=12,5$ МПа

Fig.1. Depth of erosion at $\varepsilon = 40$: 1. $P_0=2,5$ MPa; 2. $P_0=5,0$ MPa; 3. $P_0=7,5$ MPa; 4. $P_0=10$ MPa; 5. $P_0=12,5$ MPa

Графическое дифференцирование зависимостей $h = f(\tau)$, представленных на рис.1, позволяет получить численные значения скорости проникновения эрозии при фиксированных значениях времени воздействия струи на образец ($h' = \frac{dh}{d\tau}$). Вычисленные зависимости $h' = f(\tau)$ отмечены точками на рис.2.

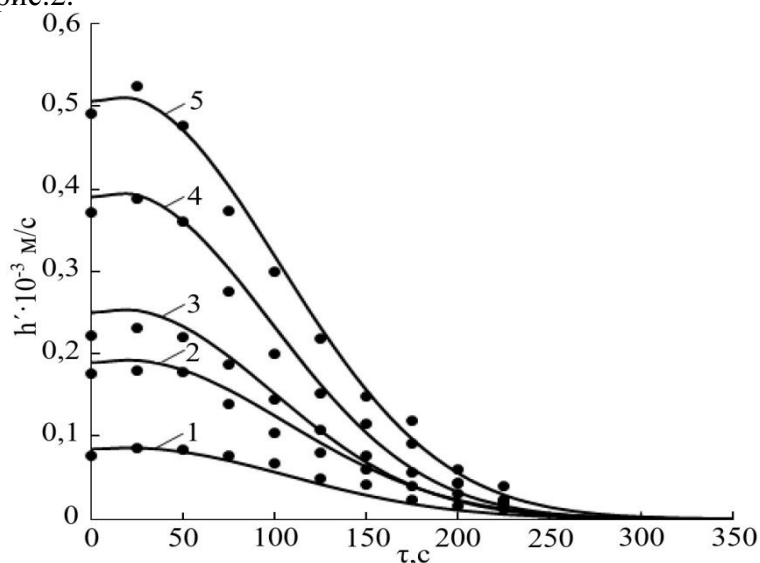


Рис.2. Скорость проникновения эрозии $h'=f(\tau)$: 1. $P_0=2,5$ МПа; 2. $P_0=5,0$ МПа; 3. $P_0=7,5$ МПа; 4. $P_0=10,0$ МПа; 5. $P_0=12,5$ МПа

Fig. 2. Rate of penetration of erosion $h' = f(\tau)$: 1. $P_0=2,5$ MPa; 2. $P_0=5,0$ MPa; 3. $P_0=7,5$ MPa; 4. $P_0=10,0$ MPa; 5. $P_0=12,5$ MPa

Определим аналитическую функцию $h' = f(\tau)$ методом регрессионного анализа. Зависимости на рис. 2 могут быть представлены выражением:

$$h' = Ae^{-(C\tau - B)^2} \quad (1)$$

Построение уравнения регрессии сводится к оценке ее параметров.

Прологарифмируем (1):

$$\ln h' = \ln A + C^2\tau^2 + 2BC\tau - B^2 \quad (2)$$

Введем замену в уравнении (2)

$$\ln h' = \bar{h}, \quad \ln A - B^2 = a_0, \quad 2BC = a_1, \quad -C^2 = a_2$$

и представим его в виде полинома второй степени

$$\bar{h} = a_0 + a_1\tau + a_2\tau^2 \quad (3)$$

Нахождение неизвестных в (3) связано с решением системы линейных уравнений:

$$\begin{aligned} y_0 &= x_{00}a_0 + x_{01}a_1 + x_{02}a_2 \\ y_1 &= x_{10}a_0 + x_{11}a_1 + x_{12}a_2 \\ y_2 &= x_{20}a_0 + x_{21}a_1 + x_{22}a_2 \end{aligned} \quad (4)$$

Коэффициенты системы (4) соответственно находятся как:

$$\begin{aligned} x_{00} &= \sum_{k=1}^m \tau_k^0 = m & x_{01} &= \sum_{k=1}^m \tau_k & x_{02} &= \sum_{k=1}^m \tau_k^2 & y_0 &= \sum_{k=1}^m \bar{h}_k \\ x_{10} &= \sum_{k=1}^m \tau_k & x_{11} &= \sum_{k=1}^m \tau_k^2 & x_{12} &= \sum_{k=1}^m \tau_k^3 & y_1 &= \sum_{k=1}^m \tau_k \bar{h}_k \\ x_{20} &= \sum_{k=1}^m \tau_k^2 & x_{21} &= \sum_{k=1}^m \tau_k^3 & x_{22} &= \sum_{k=1}^m \tau_k^4 & y_2 &= \sum_{k=1}^m \tau_k^2 \bar{h}_k \end{aligned} \quad (5)$$

где, m – число экспериментальных измерений.

Подставляя численные данные, полученные в результате графического дифференцирования зависимости $h=f(\tau)$ (рис.1) в соотношения (5)

$$\begin{aligned} -28,65 &= 10a_0 + 1125a_1 + 178125a_2 \\ -3491,4 &= 1125a_0 + 178125a_1 + 31640625a_2 \\ -576987,64 &= 178125a_0 + 31640625a_1 + 5989453125a_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Решив систему уравнений (6), получим коэффициенты для квадратичной аппроксимации (3)

$$\bar{h} = -2,51 + 0,00167\tau - 3,05 \cdot 10^{-5}\tau^2 \quad (7)$$

С учетом замены, зависимость скорости проникновения эрозии может быть представлена в виде:

$$h' = 0,0837e^{-(0,0055\tau - 0,151)^2} \quad (8)$$

Величина максимальной скорости эрозии и время до наибольшего эффекта кавитационной эрозии бетона линейно зависят от входного давления P_0 .

Подставив эти зависимости в предэкспоненциальный множитель и степень экспоненты окончательно получаем функцию $h' = f(\tau)$

$$h' = (0,043P_0 - 0,025)e^{-(0,008\tau + 0,0042P_0 - 0,163)^2} \quad (9)$$

где, τ – время, с; P_0 – давление, МПа.

Полученные кривые, согласно (9), изображены на рис. 2 сплошными линиями. Из их анализа следует, что весь процесс образования очагов эрозии на исследуемой поверхности можно разделить по времени на три периода.

В первый период, исчисляемый несколькими секундами, с увеличением τ скорость изменения глубины h' возрастает. Во втором периоде, соответствующем стабилизированному

процессу, скорость изменения глубины зоны эрозии остается постоянной, а в третьем периоде с увеличением τ она уменьшается до нулевого значения, когда активное воздействие струи на образец прекращается.

На рис.3 точками указаны результаты экспериментального исследования скорости проникновения эрозии от относительного расстояния ε до образца при различных значениях P_0 .

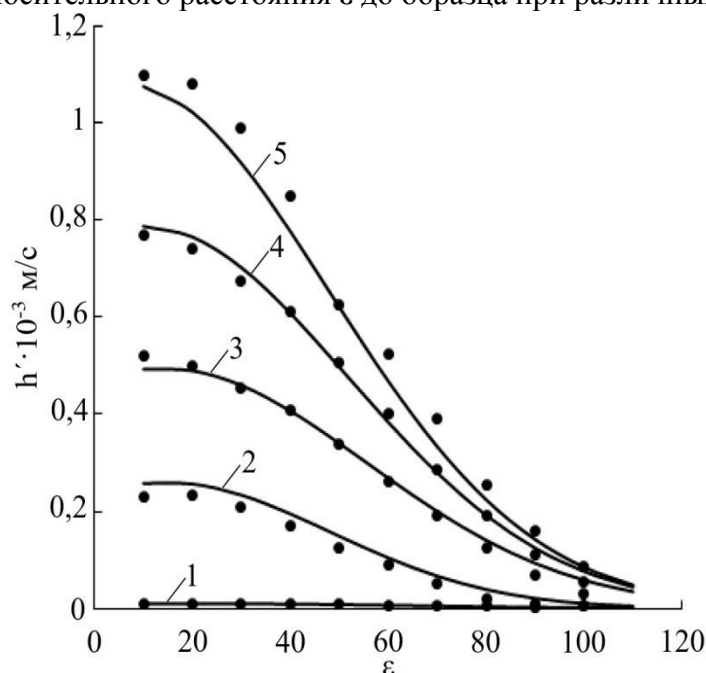


Рис.3. Скорость проникновения эрозии $h' = f(\varepsilon)$: 1. $P_0 = 2,5 \text{ МПа}$; 2. $P_0 = 5,0 \text{ МПа}$; 3. $P_0 = 7,5 \text{ МПа}$; 4. $P_0 = 10,0 \text{ МПа}$; 5. $P_0 = 12,5 \text{ МПа}$

Fig.3. Rate of penetration of erosion $h' = f(\varepsilon)$: 1. $P_0 = 2,5 \text{ МПа}$; 2. $P_0 = 5,0 \text{ МПа}$; 3. $P_0 = 7,5 \text{ МПа}$; 4. $P_0 = 10,0 \text{ МПа}$; 5. $P_0 = 12,5 \text{ МПа}$

Обработка опытных данных в исследованном диапазоне изменения параметров струйной кавитации, проведенная методом регрессивного анализа по формулам (1)–(5), позволила найти обобщенную зависимость для определения скорости проникновения эрозии (сплошные линии на рис.3), имеющую вид:

$$h' = (0,117P_0 - 0,383)e^{-(0,017\varepsilon + 0,0264P_0 - 0,436)^2}, \quad (10)$$

где, $\varepsilon = l/d_0$ – относительное расстояние; P_0 – давление, МПа.

Как видно (рис. 3) при $\varepsilon < 20$ величина h' практически остается неизменной.

При значениях $\varepsilon > 20$ происходит уменьшение скорости проникновения эрозии. Чем выше давление P_0 , тем быстрее темп снижения h' . При увеличении P_0 эрозионная способность струи увеличивается.

Сопоставление зависимостей $h' = f(\varepsilon)$, полученных по экспериментальным данным для кавитаторов с различным диаметром проходного сечения, позволяет заключить, что увеличение его диаметра сопровождается рост h' . Из сравнения опытных данных для конических сопел и кавитаторов вытекает, что применение последних при прочих равных условиях приводит к увеличению скорости проникновения эрозии h' .

Вывод. Исследование кавитационной эрозии открывает возможности для оценки срока эксплуатации гидротехнических объектов, находящихся под активным воздействием затопленных кавитационных струй. С другой стороны, способствует расширению области применения кавитации при очистке и вторичной переработке конструкционных материалов.

Из анализа полученных данных вытекает, что для выбранных параметров струйного истечения оптимальное расстояние от разрушаемой поверхности до кавитатора находится в диапазоне (10-40) ε и достигает максимального эффекта в интервале давлений 2,5-12,5 МПа в среднем за 30 с. Соотношения значений глубины и скорости проникновения эрозии при заданных параметрах давления P_0 , противодействия P_k , расстояния от среза кавитатора до поверхно-

сти, диаметра кавитатора, вычисленные по формулам (9) и (10), соответствуют максимальному эрозионному воздействию кавитации. Изменяя параметры струйного кавитационного истечения, можно получить различную интенсивность эрозионного разрушения материала и сделать процесс управляемым, тем самым, контролировать скорость и величину эрозионного разрушения.

Данные результаты свидетельствуют об эффективном применении новейших струйно-кавитационных технологий в производстве аппаратов для очистки и измельчения бетонных конструкций.

Библиографический список:

1. Родионов В.П. Струйная суперкавитационная эрозия / В. П. Родионов. – Краснодар: ГОУВПО КубГТУ, 2005. – 223 с.
2. Родионов В. П. Использование гидравлических струй при эксплуатации и обслуживании объектов добычи нефти / В. П. Родионов, А. А. Ладенко. – Краснодар: ГОУВПО КубГТУ, 2014. – 163 с.
3. Pavlović, M. Non destructive monitoring of cavitation erosion of cordierite based coatings / M. Pavlović, M. Dojčinović, S. Martinović, M. Vlahović, Z. Stević, H. T. Volkov // *Composites Part B*. – 2016. – Vol.97. – №15. – P.84-91. doi:10.1016/j.compositesb.2016.04.073.
4. Pedzich Z., Jasionowski R., Ziabka M. Cavitation wear of structural oxide ceramics and selected composite materials. *Journal of the European Ceramic Society*. 2014; 34:3351–3356. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2014.04.022.
5. Лунаци Э.Д. Отечественный метод прогнозирования кавитационной эрозии лопастных насосов с применением легко разрушающихся от кавитации материалов и характеристик их относительной стойкости // *Инженерный вестник*. 2015. – №8. – С. 53-65. URL: <http://engsi.ru/doc/799918.html>.
6. Прис К. Эрозия / К.Прис. – М.: Мир, 1982. – 465 с.
7. Шестоперов В.Ю. Кавитационное разрушение материалов и критерии оценки их эрозионной стойкости / В.Ю. Шестоперов // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева*. – 2013. – Т.102. – № 5. – С. 79-83. URL: <http://www.nntu.ru/trudy/2013/05/079-083.pdf>.
8. Martinovic S., Vlahovic M., Boljanac T., Dojcinovic M., Volkov-Husovic T. Cavitation resistance of refractory concrete: Influence of sintering temperature. *Journal of the European Ceramic Society*. 2013; 33(1):7–14. doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2012.08.004.
9. Martinovic S., Dojcinovic M., Dimitrijevic M., Devacerski A., Matovic B., Volkov-Husovic T. Implementation of image analysis on thermal shock and cavitation resistance testing of refractory concrete. *Journal of the European Ceramic Society* 2010; 30(16):3303–3309. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2010.07.041.
10. Bourne N.K., Field J.E. A high-speed photographic study of cavitation damage. *Journal of Applied Physics*. 1995;78(7):4423-4427. <http://dx.doi.org/10.1063/1.359850>.
11. Hutli E.F., Nedeljkovic S.M., Radovic N.A. Mechanics of submerged jet cavitating action: material properties, exposure time and temperature effects on erosion. *Archive of Applied Mechanics*. 2008;78(5):329-341. doi.10.1007/s00419-007-0163-8.
12. Momber A.W. Aggregate liberation from concrete by flow cavitation. *International Journal of Mineral Processing*. 2004;74(1–4):177-187. doi:10.1016/j.minpro.2003.10.004.
13. Linß E., Muller A. High performance sonic impulses – a new method for crushing of concrete. *International Journal of Mineral Processing*. 2004;74(10):199-208. doi.org/10.1016/j.minpro.2004.08.016.
14. Zange R., Hoyer B., Wollenberg G., Scheibe H.P. Shock waves for liberation comminution of mineral materials. Proc. 9th Europ. Symp. on Comminution. Europ. Fed. of Chem. Engng. Albi, 1998. P. 185– 192.
15. Momber A.W. Short-time cavitation erosion of concrete. 2000; 241(1):47–52. doi.org/10.1016/S0043-1648(00)00348-3.
16. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М. А. Промтов // *Вестник ТГТУ*. – 2008. – Т. 14.– № 4. – С. 861–869. URL: <http://www.tstu.ru/structure/inst/pdf/mo/pma2.pdf>
17. Ладенко А. А. Супергидрокавитационная технология очистки систем водоотведения / А. А. Ладенко В.П. Родионов, Н. В. Ладенко // *Научно-технический журнал «Энергосбережение и водоподготовка»*. – 2016. – Т. 103. – №5. – С. 77-79. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27265667>.
18. Гимранов Ф.М. Перспективы использования кавитационной эрозии в получении водных суспензий металлов / А. Н. Беляев, И. В. Флегентов, Е. В. Куц // *Вестник казанского технологического университета*. – 2014. – Т. 17.– № 23. – С. 65-67. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22671002>.
19. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности: Ч. 2 / И. М. Федоткин, И. С. Гулый. – Киев: АО «ОКО», 2000. – 898 с.
20. Gogate P.R. A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology / P. R. Gogate, A. M. Kabadi // *Biochemical Engineering Journal*. – 2009. – Vol. 44.– № 1. – P.60–72. doi:10.1016/j.bej.2008.10.006.

21. Petkovsek M. Rotation generator of hydrodynamic cavitation for water treatment / M. Petkovsek, M. Zupanc, M. Dular et al. // Separation and Purification Technology. – 2013. – Vol. 118. – №3 – P. 415–423. doi:10.1016/j.seppur.2013.07.029.

References:

1. Rodionov V.P. Struinaya superkavitatsionnaya eroziya. Krasnodar: KubSTU; 2005. 223 s. [Rodionov V.P. Supercavitational jet erosion. Krasnodar: KubGTU; 2005. 223 p. (In Russ.)]
2. Rodionov V.P., Ladenko A.A. Ispol'zovanie gidravlicheskih strui pri ekspluatatsii i obsluzhivanii ob"ektov dobychi nefiti. Krasnodar: KubGTU; 2014. 163 s. [Rodionov V.P., Ladenko A.A. Use of hydraulic jets during operation and maintenance of oil production facilities. Krasnodar: KubSTU; 2014. 163 p. (In Russ.)]
3. Pavlović M., Dojčinović M., Martinović S., Vlahović M., Stević Z., Volkov H.T. Non destructive monitoring of cavitation erosion of cordierite based coatings. Composites Part B. 2016;97(15):84-91. doi:10.1016/j.compositesb.2016.04.073.
4. Pedzich Z., Jasionowski R., Ziabka M. Cavitation wear of structural oxide ceramics and selected composite materials. Journal of the European Ceramic Society 2014;34:3351–3356. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2014.04.022.
5. Lunatsi E. D. Otechestvennyi metod prognozirovaniya kavitatsionnoi erozii lopastnykh nasosov s primeneniem legko razrushayushchikhsya ot kavitatsii materialov i kharakteristik ikh otноситel'noi stoikosti. Inzhenernyi vestnik. 2015;8:53-65. URL: <http://engsi.ru/doc/799918.html> (data obrashcheniya:04.05.2017. [Lunatsi E. D. National method for predicting the cavitation erosion of vane pumps made of easily destroyed by cavitation and the characteristics of their relative durability. Engineering Bulletin. 2015; 8:53-65. URL: <http://engsi.ru/doc/799918.html> (access date: 04.05.2017 (In Russ.)]
6. Pris K. Eroziya. M.: Mir; 1982. 465 s. [Pris K. Erosion. M.: Mir; 1982. 465 p. (In Russ.)]
7. Shestoporov V.Yu. Kavitatsionnoe razrushenie materialov i kriterii otsenki ikh erozionnoi stoikosti. Trudy Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva. 2013; 102(5):79-83. URL: <http://www.ntnu.ru/trudy/2013/05/079-083.pdf> (data obrashcheniya:15.04.17. [Shestoporov V.Yu. Cavitation destruction of materials and criteria for assessing their erosion resistance. Proceedings of Nizhny Novgorod State Technical University. 2013;102(5):79-83. URL: <http://www.ntnu.ru/trudy/2013/05/079-083.pdf> (access date: 15.04.17. (In Russ.)]
8. Martinovic S., Vlahovic M., Boljanac T., Dojcinovic M., Volkov-Husovic T. Cavitation resistance of refractory concrete: Influence of sintering temperature. Journal of the European Ceramic Society. 2013; 33(1):7–14. doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2012.08.004.
9. Martinovic S., Dojcinovic M., Dimitrijevic M., Devecerski A., Matovic B., Volkov-Husovic T. Implementation of image analysis on thermal shock and cavitation resistance testing of refractory concrete. Journal of the European Ceramic Society. 2010;30(16):3303–3309. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2010.07.041.
10. Bourne N.K., Field J.E. A high-speed photographic study of cavitation damage. Journal of Applied Physics. 1995;78(7):4423-4427. <http://dx.doi.org/10.1063/1.359850>.
11. Hutli E.F., Nedeljkovic S.M., Radovic N.A. Mechanics of submerged jet cavitating action: material properties, exposure time and temperature effects on erosion. Archive of Applied Mechanics. 2008; 78(5):329-341. doi.10.1007/s00419-007-0163-8.
12. Momber A.W. Aggregate liberation from concrete by flow cavitation. International Journal of Mineral Processing. 2004; 74(1–4):177-187. doi:10.1016/j.minpro.2003.10.004.
13. Linß E., Muller A. High performance sonic impulses – a new method for crushing of concrete. International Journal of Mineral Processing. 2004;74(10):199-208. doi.org/10.1016/j.minpro.2004.08.016.
14. Zange R., Hoyer B., Wollenberg G., Scheibe H.P. Shock waves for liberation comminution of mineral materials. Proc. 9th Europ. Symp. on Comminution. Europ. Fed. of Chem. Engng. Albi, 1998. P. 185– 192.
15. Momber A.W. Short-time cavitation erosion of concrete. 2000; 241(1):47–52. doi.org/10.1016/S0043-1648(00)00348-3.
16. Promtov M.A. Perspektivy primeneniya kavitatsionnykh tekhnologii dlya intensivatsii khimiko-tekhnologicheskikh protsessov. Vestnik TGTU. 2008; 14(4):861–869. URL: <http://www.tstu.ru/structure/inst/pdf/mo/pma2.pdf> [Promtov M.A. Prospects for the use of cavitation technologies for the intensification of chemical-technological processes. Transactions of TSTU 2008; 14(4):861–869. URL: <http://www.tstu.ru/structure/inst/pdf/mo/pma2.pdf> (In Russ.)]
17. Ladenko A.A., Rodionov V.P., Ladenko N.V. Superkavitatsionnaya tekhnologiya ochistki sistem vodootvedeniya. Energoberezhenie i vodopodgotovka. 2016; 103(5):77-79. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27265667>. [Ladenko A.A., Rodionov V.P., Ladenko N.V. Supercavitation technology for cleaning sewage systems. Energy and Water. 2016;103(5):77-79. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27265667>. (In Russ.)]
18. Gimranov F.M., Belyaev A.N., Flegentov I.V., Kuts E.V. Perspektivy ispol'zovaniya kavitatsionnoi erozii v poluchenii vodnykh suspenzii metallov. Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014;17(23):65-67. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22671002>. [Gimranov F.M., Belyaev A.N., Flegentov I.V., Kuts E.V. Prospects for the use of cavitation erosion in the preparation of aqueous metal suspensions. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014; 17(23):65-67. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22671002>. (In Russ.)]

19. Fedotkin I.M., Gulyi I.S. Kavitatsiya, kavitatsionnaya tekhnika i tekhnologiya, ikh ispol'zovanie v promyshlennosti: Ch. 2. Kiev: АО «ОКО»; 2000. 898 s. [Fedotkin I.M., Gulyi I.S. Cavitation, cavitation technology and technology, their use in industry: Part 2. Kiev: АО «ОКО»; 2000. 898 p. (In Russ.)]
20. Gogate P.R., Kabadi A.M. A review of applications of cavitation in biochemical engineering/biotechnology. Biochemical Engineering Journal. 2009; 44(1):60–72. doi:10.1016/j.bej.2008.10.006.
21. Petkovsek M., Zupanc M., Dular M. et al. Rotation generator of hydrodynamic cavitation for water treatment. Separation and Purification Technology. 2013; 118(3):415–423. doi:10.1016/j.seppur.2013.07.029.

Сведения об авторах:

Родионов Виктор Петрович – доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов.

Уколов Алексей Иванович – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра математики, физики, информатики.

Information about the authors:

Victor P. Rodionov – Dr. Sci.(Technical), Assoc.Prof., Department Machines and equipment of oil and gas industry.

Alexey I. Ukolov – Cand. Sci.(Physics and Mathematical), Assoc.Prof., Department Machines and equipment of oil and gas industry.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 30.07.2017.

Принята в печать 20.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 30.07.2017.

Accepted for publication 20.08.2017.

Для цитирования: Ахмедов Г.Я., Курбанисмаилова А.С. Эксплуатация энергетического оборудования при утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (3): 48-60. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-48-60

For citation: Akhmedov G. Ya., Kurbanismailova A.S. The operation of power equipment during the disposal of combustible gases associated with geothermal water. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 48-60. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-48-60

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК: 620.191

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-48-60

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНЫХ С ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ВОДОЙ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Ахмедов Г.Я.¹, Курбанисмаилова А.С.²

¹Дагестанский государственный технический университет,
367026, г.Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия,

²Институт геологии ДНЦ РАН,
367010 г.Махачкала, пр. Ярагского, 75, Россия,

¹e-mail: ganapi@mail.ru; ²e-mail: mamaeva11187@mail.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является оценка целесообразности утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов с невысоким газовым фактором и возможности ее практической реализации с обеспечением работы энергетического оборудования геотермальных систем в режиме без солеотложения. **Метод.** Исследования проводились на основе анализа содержания попутных горючих газов в подземных термоминеральных водах месторождений Предкавказья на основе оценки возможности их утилизации и использования в целях отопления и горячего водоснабжения. **Результат.** Произведен обзор существующих на практике теплоэнергетических схем по использованию источников геотермальных вод. На основе проведенных исследований установлено, что в составе рассматриваемых вод преобладает метан (70-90 %). Содержание тяжелых углеводородов не превышает 10 %. Углекислого газа содержится 3 ÷ 6 %, азота 1 ÷ 4 %. В зависимости от глубины залегания водоносного горизонта газовые факторы составляют от 1 до 5 м³/м³. Установлено, что нарушение углекислотного равновесия в воде приводит к образованию твердой фазы карбоната кальция на поверхности теплообмена. Предложена методика оценки связи парциального давления метана и углекислого газа с общим давлением в растворе геотермальной воды. Составлена схема эффективной работы термораспределительных станций с предотвращением в них карбонатных отложений путем использования продуктов сгорания использованного газа с закачкой отработавшей воды обратно в водоносный горизонт. **Вывод.** В результате проведенных исследований установлена возможность утилизации попутных горючих газов на геотермальных скважинах, используя различие в растворимости их с растворимостью углекислого газа. При этом защиту теплообменного оборудования и скважины от твердых отложений карбоната кальция можно осуществить путем использования продуктов сгорания попутных горючих газов.

Ключевые слова: геотермальная вода, попутные горючие газы, солеотложение, карбонат кальция, энергетическое оборудование

TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

THE OPERATION OF POWER EQUIPMENT DURING THE DISPOSAL
OF COMBUSTIBLE GASES ASSOCIATED WITH GEOTHERMAL WATER

Ganapi Ya. Akhmedov¹, Azha S. Kurbanismailova²

¹Daghestan State Technical University,

70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²Institute of Geology, Daghestan Scientific Centre of RAS,

75 M. Yaragskogo Ave., Makhachkala 367010, Russia,

¹e-mail: ganapi@mail.ru, ²e-mail: mamaeva11187@mail.ru

Abstract Objectives. The aim of the study is to assess the appropriateness of utilising combustible gases associated with geothermal water with low gas factor and the possibility of its practical implementation with the provision of power equipment operation of geothermal systems with a non-scaling mode. **Methods.** The investigations were carried out by analysing the content of associated combustible gases in the underground thermomineral waters of the Cis-Caucasian deposits on the basis of an assessment of the feasibility of their utilisation for heating and hot water supply. **Results.** A review of practically existing heat and power schemes utilising geothermal water sources is carried out. Based on the studies conducted, it is found that methane (70-90%) is prevalent in the water under consideration; meanwhile, the content of heavy hydrocarbons does not exceed 10%. The concentration of carbon dioxide is $3 \div 6\%$, nitrogen $1 \div 4\%$. Depending on the depth of the aquifer, gas factors range from 1 to $5 \text{ m}^3/\text{m}^3$. As a result of the analysis of the operation of typical thermal distribution stations, it is established that a violation of the carbon dioxide equilibrium in water leads to the formation of a solid phase of calcium carbonate on the heat exchange surface. A technique for estimating the relationship between the partial pressure of methane and carbon dioxide with the total pressure in a solution of geothermal water is proposed. A scheme for the efficient operation of thermal distribution stations with the prevention of carbonate deposits formation by using the combustion products of the used gas combined with the injection of waste water back into the aquifer is presented. **Conclusion.** As a result of the conducted studies, the possibility of using associated combustible gases in geothermal wells is established using differences in their solubility and that of carbon dioxide. In this case, the protection of heat exchange equipment and the well from solid deposits of calcium carbonate can be achieved by using combustion products of associated combustible gases.

Keywords: geothermal water, associated combustible gases, scaling, calcium carbonate, power equipment

Введение. В последние десятилетия в энергетическом секторе отмечается рост интереса к нетрадиционным источникам возобновляемой энергии – солнечной, геотермальной, ветровой и других видов энергии, запасы которых огромны и использование их не вызывает заметного загрязнения окружающей среды. Интерес к возобновляемым источникам энергии вызван не столько прогнозными данными по истощению в обозримом будущем запасов нефти, угля, газа, сколько необходимостью защиты окружающей среды от загрязнения и возможных техногенных катастроф [1-3]. К тому же, во многих странах с дефицитом традиционных источников энергии, использование источников возобновляемой энергии является, хотя бы, частичным решением вопроса быть энергонезависимыми. По этим причинам они ориентируются на рациональное сочетание традиционных источников энергии с возобновляемыми.

Надо отметить, что среди возобновляемых источников энергии глубинное тепло Земли занимает не последнее место и на сегодняшний день используется во многих странах мира. Достаточно привести примеры использования источников геотермального пара, горячей воды и пароводяной смеси в таких странах, как Исландия, Филиппины, Новая Зеландия, Индонезия, где вырабатывается от 10 до 30% электроэнергии и от 30 до 90% тепловой энергии [4-6].

В США, производящей наибольшее количество электроэнергии, от традиционных источников не отказываются и от использования возобновляемых источников энергии, в частности, от источников геотермальной энергии. Установленная мощность геотермальных тепловых электростанций в США на сегодняшний день уже превышает 3ГВт [7].

В России, обладающей значительными ресурсами геотермальной энергии, установленная мощность всех геотермальных тепловых электростанций, расположенных на Камчатке и Курильских островах, составляет около 80 МВт. В России источники геотермальных вод используются, в основном, только в целях отопления и горячего водоснабжения [8 -9]. На многих месторождениях с геотермальной водой поступает и горючий газ, в основном, метан, который сжигается на факеле, выбрасывая тепло и продукты сгорания в окружающую среду. В связи с этим имеется проблема утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов, сохраняя при этом работу оборудования геотермальных систем в режиме без солеотложения.

Постановка задачи. Целью исследования является оценка целесообразности утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов с невысоким газовым фактором и возможности ее практической реализации с обеспечением работы энергетического оборудования геотермальных систем в режиме без солеотложения. Проблема состоит в том, что в процессе извлечения попутного горючего газа из воды вместе с ним выходит и углекислый газ. При этом выход углекислого газа сверх равновесного значения создает опасность карбонатных отложений в теплоэнергетическом оборудовании.

В связи с этим в работе ставится задача по обеспечению безнакипного режима эксплуатации геотермального оборудования при утилизации попутных горючих газов с закачкой отработавшей воды обратно в водоносный горизонт. Исследуется методика извлечения природного газа, как основного компонента газовой смеси, основанная на различной растворимости газов в геотермальной воде.

Методы исследования. Исследование целесообразности утилизации попутных горючих газов с невысоким газовым фактором из источников геотермальных вод позволяет оценить возможности эффективной работы энергетического оборудования в режиме без солеотложения. В тоже время, разнообразие видов геотермальных источников энергии требует соответствующего подхода к их освоению. Среди известных в мире типов месторождений геотермальных источников для получения электрической (150 °С и более) и тепловой (30 - 150 °С) энергии на сегодняшний день используются только гидротермы и парогидротермы, использование энергии термоаномальных и петрогеотермальных зон находится пока еще на стадии разработки.

В России разведано более 60 месторождений гидротермальных источников с температурой воды от 40 до 250°С, прогнозные запасы которых составляют около 20млн. м³/сут., что соответствует сжиганию 40 млн.т.у.т. в год [10]. На этих месторождениях встречаются сероводородные, азотные, азотно-углекислые, сероводородно-углекислые, углекислые, метановые и азотно-метановые воды.

Геотермальные воды Кавказа можно отнести к метановым. Они распространены также и в нефтегазоносных пластах Западно-Сибирской низменности, Русской и Сибирской платформ, на Сахалине и в ряде других районов страны [11]. Химический состав их представлен, в основном, ионами: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ с преимущественным содержанием ионов Na⁺ и Cl⁻. Минерализация этих вод составляет от единиц до 400 г/л. Газовый состав представлен, в основном, метаном CH₄, углекислым газом CO₂, азотом N₂ и сероводородом H₂S. При использовании этих вод в оборудовании геотермальных систем наблюдаются отложения, в основном, малорастворимой соли CaCO₃[12].

Разнообразие химического состава геотермальных вод и растворенных в них газов требует и соответствующего подхода к эксплуатации оборудования [11].

В связи с этим на практике применяют следующие схемы их использования (рис. 1):

- а) прямая подача геотермальной воды к потребителям;
- б) прямая подача геотермальной воды к потребителям с «пиковым» догревом;
- в) подача геотермальной воды в теплообменники для подогрева стабильной воды, идущей к потребителям;

г) подача геотермальной воды в теплообменники после обработки или поддержание в них равновесных значений давления и температуры используемой геотермальной воды. Первая и вторая схема /рис. 1а, б/ применяются в случае, если геотермальная вода соответствует санитарным нормам и стабильна в условиях эксплуатации в отношении коррозии и солеотложения.

Необходимо отметить, что пригодных для этой цели источников геотермальных вод составляет малую часть разведанных в мире ресурсов.

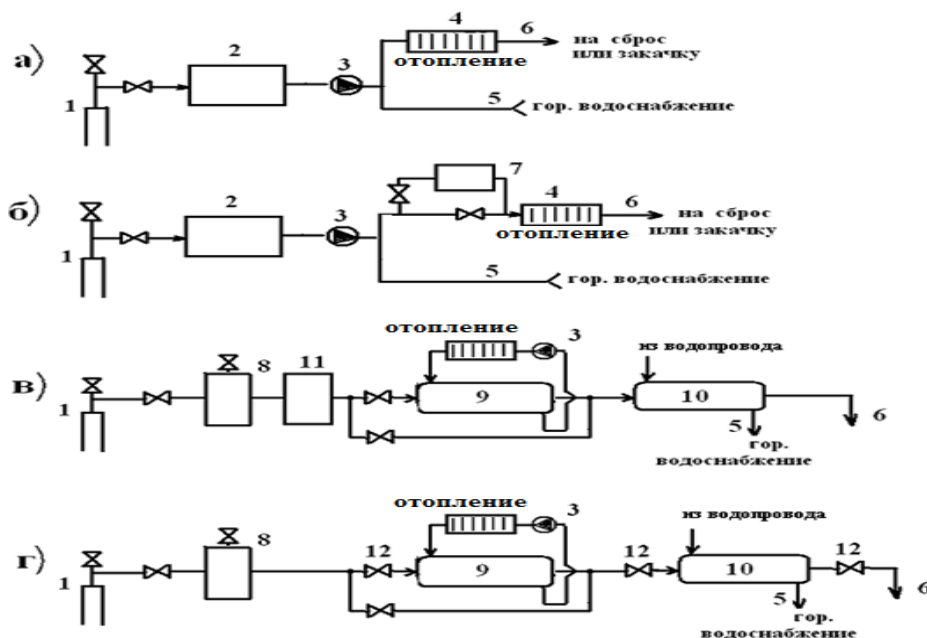


Рис.1. Схемы использования энергии источников геотермальных вод:

1 – скважина; 2 – бак-аккумулятор; 3 – насос; 4 – отопительные приборы; 5 – подача горячей воды потребителю; 6 - сброс или закачка использованной воды; 7 –котельная для догрева геотермальной воды; 8 - газоотделитель; 9 – теплообменник отопления; 10 – теплообменник горячей водоснабжения; 11 - стабилизационная обработка воды; 12 – запорная арматура для поддержания давления в системе

Fig.1. Schemes of energy use of sources of geothermal waters:

1 - well; 2 - accumulator tank; 3 - the pump; 4 - heating appliances; 5-supply of hot water to the consumer; 6 - discharge or injection of used water; 7-boiler for reheating geothermal water; 8 - gas separator; 9 - heat exchanger for heating; 10 - heat exchanger for hot water supply; 11 - stabilization treatment of water; 12 - shut-off valves to maintain pressure in the system

При необходимости догрева воды при относительно низких ее температурах используют традиционные виды топлива (рис. 1.1б). Однако при нагревании раствор используемой воды может быть выведен из состояния химического равновесия.

В этом случае в зависимости от химического состава раствора воды и содержания в нем газов возможны отложения твердой фазы солеобразующих компонентов.

По этой причине при проектировании схем энергетических систем с «пиковым» догревом необходимы исследования на предмет стабильности данной воды при планируемых температурах. При агрессивном характере геотермальных вод, то есть сильно минерализованы или содержат вредные компоненты (фенолы, мышьяк и т.д.), появляется необходимость использования промежуточных теплообменников с предварительной стабилизацией воды или с поддержанием в них необходимых параметров давления и температуры воды /рис. 1.1в, г/.

Представленные выше схемы, к сожалению, не предусмотрены для использования сопутных с геотермальной водой горючих газов, несмотря на наличие достаточного их количества в метановых водах большинства месторождений. Еще во времена СССР на геотермальных скважинах месторождений Предкавказья, первоначально предназначенных для добычи нефти и газа, проводились многочисленные исследования по изучению растворенных в воде газов. Как показали исследования, в составе этих вод преобладает метан (70-90 %).

Содержание тяжелых углеводородов составляет, в среднем, $3 \div 10$ %. Углекислого газа содержится $3 \div 6$ %, азота $1 \div 4$ %. В зависимости от глубины залегания водоносного горизонта газовые факторы составляют от 1 до $5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ [13]. Для скважин Северного Кавказа этот показатель варьирует в пределах $1 \div 3 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

В табл. 1 представлены данные по газовому составу вод некоторых скважин месторождений Восточно-Предкавказского бассейна подземных термальных вод (глубина залегания от 1000 до 4000 м) [14].

Таблица 1. Газовый состав вод скважин месторождений Восточно-Предкавказского бассейна подземных термальных вод

Table 1. Gas composition of the waters of some wells in the deposits of the Eastern Ciscaucasian basin of underground thermal waters

Местонахождение и номер скважины	Геологический возраст, интервал перфорации водоносного горизонта, м	Содержание растворенных газов, %			
		O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄ +Ty
1	2	3	4	5	6
Терско-Каспийский артезианский бассейн, Терско-Сулакская зона					
Кизляр -2Т	Апшерон, 1032-1040	-	5,0	0,5	94
Кизляр -6Т	Апшерон, 1040-1049	-	5,1	0,5	93
Юрковская -1ТЮ	Средний миоцен, 2286	3,2	64,1	5,12	28
Терско-Каспийский прогиб, Терско-Сунженская зона					
Заманкул-61	Юра, 4176-4220	-	1,7+рг	1,6	95,4+Ty
Заманкул-61	Юра, 3934-3964	-	3,3+рг	4,7	89,5+Ty
Малгобек-856	Юра, 4000-4015	-	7,0+рг	1,9	82,1+Ty
Аргудан Урухская	Верхний мел, 1115-1418	-	4,4+рг	1,6	93,9+Ty
Заманкул-33	Верхний мел, 2170-2185	-	3,1+рг	4,7	91,3+Ty
Малгобек-Вознесенск-834	Верхний мел, 3064-3088	-	1,4+рг	0,5	93,2+Ty
Хаян-Корт-51	Верхний мел, 3594 -3866	-	0,7+рг	6,0	89,4+Ty
Южно-Дагестанский артезианский бассейн					
Гаша-22	Верхний мел, 3050-3101	-	2,3+рг	2,3	92,88
Исти-су-7	Верхний мел, 3111-3699	-	4,4+рг	2,4	91,97
Берикей, скв. 14	Нижний мел, 913-944	-	1,8+рг	27,3	70,8+Ty
Берикей, скв. 16	Нижний мел,	-	2,0+рг	10,5	87,4+Ty
Сел. Ньюцуг, источник	Нижний мел	6,1	91,9+рг	2,0	Нет
Дузлак, скв. 53	Нижний мел, 638-650	-	3,0+рг	2,5	94,4+Ty
Оз. Аджи-Наур, с. Каякент	Нижний мел	Нет	13,2+рг	8,5	78,55
Терско-Кумский артезианский бассейн					
Русский Хутор-91	Майкоп	0,38	7,2	19,6	71,50
Русский Хутор-95	Майкоп	1,06	5,35	0,15	93,53
Граничная -2	Нижний мел, 3049-3050	-	4,8	3,1	82,9+Ty
Русский Хутор, центр-20	Нижний мел, 3024-3035	-	5,7	6,9	87,1+Ty
Граничная -1	Нижний мел, 3611-3615	-	4,8	20,7	74,5+Ty
Граничная -1	Нижний мел, 3594-3597	-	4,7	16,5	78,3+Ty

Продолжение таблицы 1.
 Continuation of the table 1.

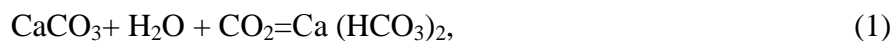
Местонахождение и номер скважины	Геологический возраст, интервал перфорации водоносного горизонта, м	Содержание растворенных газов, %			
		O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄ +Ty
1	2	3	4	5	6
Терско-Кумский артезианский бассейн					
Восход-3	Средняя юра, 3584-3587	-	8,2+рг	0,2	31,6+Ty
Октябрьская-2	Средняя юра, 3584-3587	-	4,9+рг	1,7	45,9+Ty
Степная-6	Средняя юра, 3584-3587	-	4,6+рг	8,1	79,3+Ty
Мартовская-5	Средняя юра, 3584-3587	-	4,3+рг	4,9	87,0+Ty
Ногайская-2	Средняя юра, 3584-3587	-	2,7+рг	7,2	84,6+Ty
Дахадаевская-10	Средняя юра, 3584-3587	-	4,4+рг	2,3	90,7+Ty
Буйнакская-1	Средняя юра, 3584-3587	-	6,3	0,1	62,1+Ty
Буйнакская-1	Средняя юра, 3584-3587	-	4,6	5,7	89,5+Ty
Сухокумская-10	Средняя юра, 3584-3587	-	4,2	2,4	93,2+Ty
Буйнакская-1	Средняя юра, 3584-3587	-	4,4	3,4	88,5+Ty
Северо-Нагутская-15	Верхний мел, 2184-2200	-	37,5+рг	2,7	58,9+Ty
Журавская-5	Верхний мел, 2764-2774	-	12,2+рг	1,3	83,1+Ty
Гороховская-1	Верхний мел, 2545-2555	-	87,2+рг	-	12,6+Ty
Гороховская-4	Верхний мел, 2598-2603	-	-	10,1	83,9+Ty
Левокумская-1	Верхний мел, 2678-2698	-	7,6+рг	23,5	68,9+Ty
Левокумская-1	Верхний мел, 2595-2607	-	4,6+рг	16,1	79,3+Ty
Русский Хутор (Южный)-1	Верхний мел, 2486-2492	-	6,9+рг	8,0	85,1+Ty
Русский Хутор (Южный)-2	Верхний мел, 2551-2564	-	4,4+рг	5,3	78,5+Ty
Русский Хутор (Южный)-2	Верхний мел, 2488-2492	-	5,3+рг	7,7	80,9+Ty
Прасковейская-26	Нижний мел, 3207-3215	-	3,1	13,8	83,1+Ty
Прасковейская-26	Нижний мел, 3131-3137	-	2,1	17,6	80,3+Ty
Гороховская-4	Нижний мел, 3010-3026	-	19,5+рг	-	72,4+Ty
Левокумская-1	Нижний мел, 3297-3302	-	7,9+рг	28,5	49,9+Ty
Левокумская-1	Нижний мел, 3180-3200	-	9,0+рг	-	67,4+Ty

Как видно из табл. 1, содержание метана в водах большинства приведенных скважин превышает 70%, в то время как азот и углекислый газ, в среднем, составляют от 3 до 7%.

При этом содержание других газов в воде большинства скважин не превышает 0,1%.

Естественно, что использование этих скважин только в целях добычи горючего газа неэффективно по причине малых концентраций их в воде из-за слабого растворения в ней метана и его гомологов. Однако при добыче геотермальной воды, как носителя тепловой энергии, извлечение сопутствующих горючих газов становится экономически целесообразным даже при малых его концентрациях [15-17].

Затраты на извлечение газов окупаются благодаря несложной технологии, основанной на различии в растворимости метана и углекислого газа. Из-за лучшей растворимости углекислого газа в воде карбонат кальция находится в растворенном состоянии в виде бикарбоната кальция по реакции



что предотвращает образование твердой фазы карбоната кальция в теплообменном оборудовании.

В настоящее время эксплуатация метановых вод, в частности, на месторождениях Северного Кавказа осуществляется без использования сопутствующих горючих газов. Горючий газ, в основном, метан сжигается на факеле, создавая как тепловое, так и химическое загрязнение окружающей среды. Содержание метана на скважинах месторождения Махачкала–Тернаир составляет от 70 до 90 %, а на месторождении Кизляр от 40 до 70%. При этом средний дебит скважин с газовым фактором 1 - 2 м³/м³ составляет от 1000 до 2000 м³/сут, что соответствует добыче попутного метана до 1500 м³ за сутки.

На рис.2 представлена типовая схема термораспределительных станций (ТРС) на месторождениях Кизляр и Махачкала-Тернаир (на примере ТРС «Черемушки», г. Кизляр).

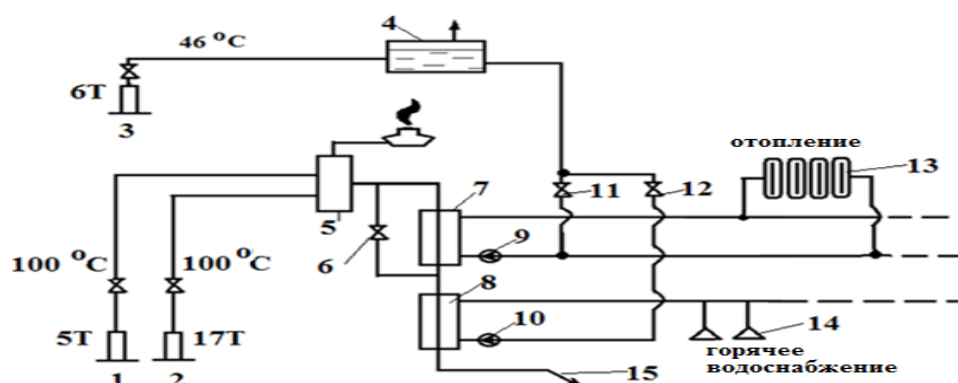


Рис.2. Эксплуатация геотермальных скважин на месторождении Кизляр (ТРС «Черемушки»)
 Fig.2. Operation of geothermal wells at the Kizlyar deposit (TRC «Cheryomushki»)

Отбор геотермальной воды осуществляется из двух скважин в дегазатор 5, газ из которого сжигают на факеле. При этом во избежание нарушения карбонатно-кальциевого равновесия в растворе воды по реакции (1), как показывает практика наблюдений, давление в дегазаторе при температуре воды 100°C не должно опуститься ниже, примерно, 0,4 МПа.

В дальнейшем вода, освобожденная от основного количества растворенного метана, подводится к теплообменникам отопления 7 и горячего водоснабжения 8. Во вторичном контуре теплообменников проходит питьевая вода из артезианской скважины №6Т, которая соответствует ГОСТу на питьевую воду (СанПиН 2.1.4.10749-01).

С увеличением теплоспонобления в зимний период приходится увеличивать дебит скважины. При этом давление в устье скважины опускается ниже равновесного значения, что приводит к образованию на внутренней поверхности теплового оборудования твердой фазы карбоната кальция. По этой причине на скважине 3Т (ТРС №2 «Центральная» г. Кизляр) от ее устья до глубины 100-150 метров в скважинной трубе в настоящее время имеются отложения толщиной до 3 см.

Обсуждение результатов. Проведенные исследования и оценка схем эксплуатации энергетического оборудования при утилизации попутных горючих газов доказывают необходимость учета взаимосвязи общего давления в системе с парциальными давлениями отдельных газов.

Так, используя уравнения состояния газов, закона Генри -Дальтона можно выполнить оценку содержания того или иного газа в газовой фазе и в растворе геотермальной воды.

Для разреженных газов состояние их удовлетворительно описывается уравнениемКлапейрона–Менделеева. При этом газосодержание ГС определяется как газовым фактором ГФ (спонтанная часть), так и газонасыщенностью ГН (растворенная часть) геотермальной воды сопутствующими газами [18-19].

$$ГС = ГФ / 22,4 + ГН \text{ (моль/л)} \quad (2)$$

Исходя из закона Дальтона давление газовой смеси определяем из суммы давлений P_i отдельных газов и давления насыщенных водяных паров

$$P = \sum_{i=1}^n P_i + P_{H_2O}, \quad (3)$$

Учитывая, что основными компонентами газовой среды, как видно из табл.1, является метан, углекислый газ и азот, общее давление с парами воды (в системе с геотермальной водой) будет

$$P = P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{N_2} + P_{CH_4} \quad (4)$$

При этом концентрация растворенного газа i – того компонента (газонасыщенность) можно найти по закону Генри

$$GH_i = K_i \cdot P_i, \quad (5)$$

где, K_i и P_i - соответственно, константа Генри (моль/(л·Па)) и парциальное давление этого газа (Па).

Если будут известны мольные доли (α_i) для i – тых компонентов газа, то полное количество данного компонента в воде (газосодержание) можно найти в виде

$$GC_i = G\Phi\alpha_i / 22,4 + K_i \cdot \alpha_i (P - P_{H_2O}) \quad (6)$$

Таким образом, используя свойство различной растворимости газов в воде можно обеспечить разделение их в процессе уменьшения общего давления над раствором.

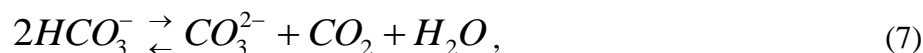
При выходе раствора геотермальной воды по стволу скважины на поверхность Земли и перемещении его в наземном оборудовании происходит постепенное снижение общего давления.

Одновременно, с изменением общего давления меняются и парциальные давления отдельных газов. При этом предполагается, что изменение парциальных давлений отдельных компонентов пропорционально изменению общего давления.

Соответственно по закону Генри меняется и растворимость газов в воде. Для геотермальных вод, в связи с их минерализованностью, растворимость газов (согласно закону Сеченова) понижается, что необходимо учитывать при решении задачи защиты оборудования от солеотложения.

Так как растворение газов в жидкости связано с процессами диссоциации молекул (к примеру, молекул CO_2 , H_2S), то при расчетах закон Генри можно использовать только при низких давлениях. При высоких давлениях (более 0,4 – 0,6 МПа) закон Генри рекомендуется применять с учетом связи между отдельными ионами, молекулами раствора воды и выражением этих компонентов через общую концентрацию. То же самое относится и к неодинаковому изменению растворимости разных газов с ростом общего давления.

Так, связь молекул CO_2 , диффундирующих в раствор при увеличении давления над ним, с другими формами углекислоты выражается соотношением



в то время как метан CH_4 не имеет такого взаимодействия. Это различие определяется взаимным влиянием растворенных газов в воде и, поэтому, метан хуже растворяется в воде, чем углекислый газ. При низких давлениях взаимное влияние отдельных компонентов смеси газов в растворе невелико, что позволяет применить закон Генри для каждого газа в отдельности.

С учетом приведенных выше допущений расчет зависимости парциального давления отдельного газа от общего давления в системе можно выполнить по следующей схеме.

Пусть имеем смесь газов из n компонентов. Все они занимают один и тот же объем V . Для i -го компонента количество молей в единице объема будет v_i/V . Тогда общее количество молей смеси газов в 1 м^3 будет

$$\frac{v}{V} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n v_i\right)}{V} \quad (8)$$

При контакте газа с пластовой водой для каждого компонента часть ее растворится согласно закону Генри

$$\frac{\Delta v_i}{V} = K_i \cdot P_i \quad (9)$$

где, K_i – константа Генри для i -го компонента газа, моль/($\text{м}^3 \cdot \text{Па}$). Тогда, уравнение Клапейрона-Менделеева для i -го компонента газа в газовой среде будет

$$P_i \cdot V = (v_i - \Delta v_i)RT \quad (10)$$

Подставляя выражение (9) в уравнение (10), получим парциальное давление i -го компонента газа в газовой смеси

$$P_i = \frac{\frac{v_i}{V}}{K_i \cdot RT + 1} \quad (11)$$

Величина $\frac{v_i}{V}$ (концентрация газового компонента в смеси газов) может быть определена путем химического анализа. Приравнявая друг другу выражения (11) для разных компонентов газа, получим систему уравнений соответственно их количеству, где при известных значениях одних компонентов можно определить значение других.

За величину давления P_{H_2O} принимается давление насыщенных паров при соответствующей температуре воды и давлении в системе. Используя уравнения (4) при известном значении P_{CO_2} и измеренном $P_{общ}$, можно также определить и возможное количество, получаемого из скважины, метана (в смеси с небольшим количеством азота).

Соответственно, при равновесном значении P_{CO_2} количество утилизируемого метана лимитируется значением общего давления в системе, при котором еще не будет выпадение твердой фазы карбоната кальция из раствора геотермальной воды.

Решая систему этих уравнений с учетом закона Дальтона, можно определить и зависимость парциальных давлений компонентов газовой смеси от общего давления для воды конкретной скважины. Такая зависимость дает возможность оценки стабильности геотермальной воды относительно общего давления в системе при различных температурах.

В то же время, эта зависимость дает оценку возможности утилизации горючих газов при тех или иных параметрах давления и температуры геотермальной воды. Зная мольную долю α_i газового компонента при известном значении общего давления в системе для определенной температуры воды, можно по уравнению (6) найти газосодержание его в данной воде.

На рис.3 представлена упрощенная схема эффективного использования геотермальной воды с утилизацией энергии попутных горючих газов. Из скважины 1 геотермальная вода по линии 2 поступает в дегазатор 3, из которого освободившийся газ по линии 4 проходит сушил-

ку 5 и по линии 6 подается в камеру сгорания 7. Линия 14 служит для подачи воздуха в камеру сгорания. Обедненная сопутствующими газами вода подается через насос 20 в теплообменники 12 и 10 и далее к скважине закачки 17.

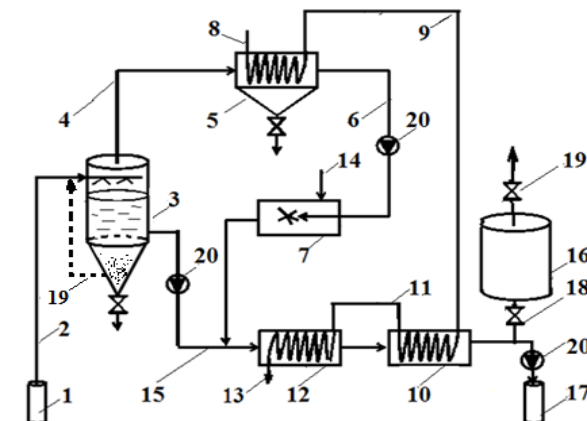


Рис.3. Упрощенная схема эффективного использования геотермальной воды с утилизацией энергии попутных горючих газов
Fig.3. Simplified scheme for the effective use of geothermal water with the utilization of energy from associated combustible gases

Для стабилизации воды в дегазаторе 3, в случае нарушения в ней углекислотного равновесия, используется кристаллическая затравка с принудительным возвратом по линии 19 затравочной пульпы [20]. Во вторичном контуре проходит предварительно подогретая в сушилке 5, водопроводная вода.

Одновременно, для увеличения теплового потенциала геотермальной воды в первом контуре теплообменника, из дегазатора 3 в нее подают горячие продукты из камеры сгорания 7. При этом вода в теплообменниках 12 и 10 насыщается углекислым газом, тем самым, предотвращая выделение твердой фазы карбоната кальция в них за счет подкисления воды. В тоже время, подкисление воды защищает скважину от твердых отложений и одновременно растворяет мелкодисперсную взвесь из частиц карбоната кальция, тем самым, предотвращая коагуляцию пласта. Избыток продуктов сгорания (в основном, углекислый газ) подводится в емкость 16 и выводится из нее по мере накопления.

К примеру, скважина 27Г (Махачкала – Тернаир), где метан в газовой смеси содержится около 90%, согласно расчетам в [15, 19] на 1 м³ воды при температуре 100 °С и давлении в устье 0,4 МПа может дать 1,4 м³ метана. При сгорании 1,4 м³ метана выделяется около 50 · 10⁶ Дж теплоты. При подаче этой теплоты сгорания в 1 м³ геотермальной воды температура ее может подняться на 10 °С, что вносит существенный вклад в повышение ее теплового потенциала.

Одновременно продукты сгорания предотвращают образование карбонатных отложений в системах теплового оборудования и в самой скважине, как это предлагается также и в работе [21]. Возникающие при утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов трудности, связанные с защитой дегазатора от отложения карбоната кальция, можно также решить, используя результаты исследований по учету температуры теплообменной поверхности [22].

Хорошую перспективу представляет собой также метод защиты энергетического оборудования от карбонатных отложений с использованием внутрискважинных теплообменников [23-24]. Охлаждая геотермальную воду на глубине до 200-250 м от устья скважины, путем подгрева холодной воды, идущей к потребителю, получаем возможность снизить общее давление в наземном оборудовании, при котором не будут образовываться отложения карбоната кальция. Одновременно увеличивается и выход метана из воды.

Вывод. Проведенные в работе исследования подтверждают целесообразность утилизации попутных с геотермальной водой горючих газов на месторождениях метановых вод, распространенных в России.

Установлено, что основой для утилизации рационально использовать различие в растворимости метана и углекислого газа в геотермальной воде. Во избежание нарушения углекислотного равновесия в воде, в процессе утилизации газов, необходимо учитывать связь общего давления с парциальным давлением углекислого газа.

В работе представлена методика определения парциального давления углекислого газа, соответствующего равновесному значению, в зависимости от общего давления в растворе геотермальных вод. С учетом проведенных исследований в работе предлагается схема энергетической установки с защитой теплообменного оборудования и скважины от твердых отложений карбоната кальция путем использования продуктов сгорания попутных горючих газов.

Для практической реализации этой схемы рекомендуется использовать метод учета равновесных параметров давления и температуры воды и, в случае нарушения углекислотного равновесия в растворе воды, метод затравочных кристаллов.

Представляется также перспективным использование внутрискважинных теплообменников, обеспечивающих безнакипный режим эксплуатации оборудования геотермальных систем с увеличенным выходом метана из воды.

Библиографический список:

1. Arent D.J., Wise A., Gelman R. The status and prospects of renewable energy for combating global warming. *Energy Economics*. 2011;33(4):584–593.
2. Renewables 2016, Global Status Report. BP Statistical Review of World Energy, June 2015. [Electronic resource] URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/1\(30\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/1(30).pdf) (access date 15.05.2017)
3. Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 256 с.
4. Lund I., Freeston D., Boyd T. Direct Utilization of Geothermal Energy. Proc. WGC-2010. Bali. Worldwide Review. 2010. [Electronic resource] URL: <http://www.geothermal.org>. (access date 10.03.2016).
5. Свейнбьорн Бьорнссон. Развитие геотермальной энергетики и исследования в Исландии [Электронный ресурс] / С. Бьорнссон. – Рейкьявик: Гудьон О, 2006. – 40 с. – Режим доступа: <http://www.os.is/gogn/os-onnur-rit/Geothermal-russneska.pdf>. (дата обращения 02.05.2017).
6. Lund J.W., Boyd T. L. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*. 2016;60:66-93.
7. Holm A., Blodgett L., Jennejohn D., Gawell K. Geothermal Energy: International Market Update: Geothermal Energy Association [Electronic resource] URL: http://www.geoenergy.org/pdf/reports/gea_international_market_report_final_may_2010.pdf. (access date 11.05.2017).
8. Доброхотов В.И./ Использование геотермальных ресурсов в энергетике России / В.И. Доброхотов, О.А. Поваров // Теплоэнергетика. – 2003. – № 1. – С. 2 – 11.
9. Геотермальная энергетика [Текст] : справочно-методическое издание / Г. В. Томаров А. И. Никольский, В. Н. Семенов, А. А. Шипков ; под ред. П. П. Безруких. - Москва: Теплоэнергетик, 2015. - 301 с. Сер. 3. Возобновляемая энергетика.
10. Бранчугов В.К., Гаврилов Е.И., Гарипов В.З., Козловский Е.А., Краев А. Г., Литвиненко В. С. и др. Минерально-сырьевая база топливно-энергетического комплекса России. Состояние и прогноз. - М.: Институт геолого-экономических проблем, 2004. - 548 с.
11. Геотермальное теплохладоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений. ВСН 56-87. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1989. – 50 с.
12. Ахмедов Г.Я. Твердые отложения карбоната кальция в геотермальных системах // Альтернативная энергетика и экология. - 2010. - № 11. - С. 81- 86.
13. Акулинчев Б.П., Панченко А.С., Пугачева М.Ф. Водорастворенные газы Предкавказья и проблемы их использования в народном хозяйстве // Ресурсы нетрадиционного газового сырья и проблемы его освоения. Ленинград, 1990 г. С. 138-144.
14. Курбанов М.К. Геотермальные и гидротермальные ресурсы Восточного Кавказа и Предкавказья / М.К. Курбанов // М.: Наука, МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 260 с.
15. Султанов Ю.И., Завьялов С.Ф., Бадавов Г.Б. Возможности использования горючих газов на термоводозаборе Махачкала I – Тернаир // Ежегодник: Геотермия. М.: Наука, 1991. - С. 47 – 53.
16. Sanja Mrazovac, Djordje Basic. Methane-rich geothermal waters in the Pannonian Basin of Vojvodina (northern Serbia) // *Geothermics*, September 2009. - Volume 38. - Issue 3. - Pp. 303-312.
17. Ganjdanesh, Reza; Hosseini, Seyyed Abolfazl. Potential assessment of methane and heat production from geopressed-geothermal aquifers // *Geothermal Energy; Heidelberg* 4.1 (Nov 2016): 1-25.

18. Абдуллаев А.Н. Предотвращение образования отложений твердой фазы CaCO₃ в скважине/Ежегодник: Геотермия. М.:Наука, 1991.- С. 81 – 84.
19. Ахмедов Г.Я. К вопросу об эксплуатации энергетических систем в условиях декарбонизации геотермальных вод //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. № 28. С. 63-69.
20. Ахмедов Г.Я. Стабилизационная обработка геотермальных вод// Водоснабжение и санитарная техника.- 2010.- № 6.- С. 33-38.
21. Pat. US 9121259 B2, C10L3/06, C07C1/00, B01J19/00, E21B43/295, C07C7/10. Storing carbon dioxide and producing methane and geothermal energy from deep saline aquifers /Steven L. Bryant, Gary A. Pope. Pub. 01.09.2015 (режимдоступа: <https://www.google.ch/patents/US9121259>)
22. Ахмедов Г.Я. К вопросу о влиянии теплопередачи на отложение твердой фазы карбоната кальция на теплообменной поверхности//Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 6.С. 6 – 8.
23. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 376 с.
24. Ахмедов Г.Я. К вопросу об использовании внутри скважинных теплообменников в геотермальной энергетике//Промышленная энергетика. 2011. № 9. С. 13-17.

References:

1. Arent D.J., Wise A., Gelman R. The status and prospects of renewable energy for combating global warming. *Energy Economics*.2011;33(4):584–593.
2. Renewables 2016, Global Status Report.BP Statistical Review of World Energy, June 2015. [Electronic resource]URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/1\(30\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/1(30).pdf) (access date 15.05.2017)
3. Alkhasov A.B. *Vozobnovlyаемая энергетика*. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2010. 256 s. [Alkhasov A.B. Renewable energy. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2010. 256 p. (In Russ.)]
4. Lund I., Freeston D., Boyd T. Direct Utilization of Geothermal Energy. Proc. WGC-2010. Bali. Worldwide Review. 2010. [Electronic resource]URL:<http://www.geothermal.org>. (access date 10.03.2016).
5. B'ornsson S. Razvitie geotermal'noi energetiki i issledovaniya v Islandii. Reik'yavik: Gud'on O; 2006. 40 s. [Elektronnyy resurs] URL: <http://www.os.is/gogn/os-onnur-rit/Geothermal-russneska.pdf>.(data obrashcheniya:02.05.2017) [B'ornsson S. Development of geothermal energy and research in Iceland. Reik'yavik: Gud'on O; 2006. 40 p. [Electronic resource] URL: <http://www.os.is/gogn/os-onnur-rit/Geothermal-russneska.pdf>. (access date 02.05.2017) (In Russ.)]
6. Lund J.W., Boyd T. L. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*. 2016;60:66-93.
7. Holm A., Blodgett L., Jennejohn D., Gawell K. Geothermal Energy: International Market Update: Geothermal Energy Association [Electronic resource] URL: http://www.geoenergy.org/pdf/reports/gea_international_market_report_final_may_2010.pdf.(access date 11.05.2017).
8. Dobrokhotov V.I., Povarov O.A. Ispol'zovanie geotermal'nykh resursov v energetike Rossii. *Teploenergetika*. 2003;1:2-11. [Dobrokhotov V.I., Povarov O.A. Use of geothermal resources in the energy sector of Russia. *Thermal Engineering*. 2003;1:2- 11. (In Russ.)]
9. Tomarov G.V., Nikol'skii A.I., Semenov V.N., Shipkov A.A. Geotermal'naya energetika: spravochno-metodicheskoe izdanie. Ser. 3. *Vozobnovlyаемая энергетика*. (Pod red. P. P. Bezrukikh). Moskva: Teploenergetik; 2015. 301 s. [Tomarov G.V., Nikol'skii A.I., Semenov V.N., Shipkov A.A. Geothermal power engineering: reference and methodical edition. Ser. 3. *Renewable energy*. (Ed. P. P. Bezrukikh). Moscow: Teploenergetik; 2015. 301 p. (In Russ.)]
10. Branchugov V.K., Gavrilov E.I., Garipov V.3., Kozlovskii E.A., Kraev A. G., Litvinenko V. S. i dr. Mineral'no-syr'evaya baza toplivno-energeticheskogo kompleksa Rossii. Sostoyanie i prognoz. М.: Institut geologo-ekonomicheskikh problem; 2004. 548 s. [Branchugov V.K., Gavrilov E.I., Garipov V.Z., Kozlovskii E.A., Kraev A. G., Litvinenko V. S. et al. Mineral and raw materials base of the fuel and energy complex of Russia. Status and forecast. М.: Institut geologo-ekonomicheskikh problem; 2004. 548 p. (In Russ.)]
11. Geotermal'noe teplokladosnabzhenie zhilykh i obshchestvennykh zdaniy i sooruzhenii. VSN 56-87. Normy proektirovaniya. М.: Stroiizdat; 1989. 50 s. [Geothermal heat and cold supply of residential and public buildings and constructions. Industry-specific regulations 56-87. Design Standards. М.: Stroiizdat; 1989. 50 p. (In Russ.)]
12. Akhmedov G.Ya. Tverдые otlozheniya karbonata kal'tsiya v geotermal'nykh sistemakh. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*. 2010;11:81- 86. [Akhmedov G.Ya. Solid deposits of calcium carbonate in geothermal systems. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*. 2010;11:81- 86. (In Russ.)]
13. Akulinchev B.P., Panchenko A.S., Pugacheva M.F. Vodorastvorennyye gazy Predkavkaz'ya i problemy ikh ispol'zovaniya v narodnom khozyaistve. Resursy netraditsionnogo gazovogo syr'ya i problemy ego osvoeniya. Leningrad; 1990. S. 138-144. [Akulinchev B.P., Panchenko A.S., Pugacheva M.F. Dissolved gases of Ciscaucasia and the issues of their use in the national economy. Resources of non-traditional gas raw materials and the issues of its development. Leningrad; 1990. P. 138-144. (In Russ.)]

14. Kurbanov M.K. Geotermal'nye i gidrotermal'nye resursy Vostochnogo Kavkaza i Predkavkaz'ya. M.: Nauka; 2001. 260 s. [Kurbanov M.K. Geothermal and hydrothermal resources of the Eastern Caucasus and Ciscaucasia. M.: Nauka; 2001. 260 p. (In Russ.)]
15. Sultanov Yu.I., Zav'yalov S.F., Badavov G.B. Vozmozhnosti ispol'zovaniya goryuchikh gazov na termovodozabore Makhachkala I –Ternair. Ezhegodnik "Geotermya", vyp. 1. M.: Nauka; 1991. S. 47-53. [Sultanov Yu.I., Zav'yalov S.F., Badavov G.B. Possibilities of using combustible gases at thermal water inlet Makhachkala I - Ternair. Yearbook "Geotermya", vol. 1. M.: Nauka; 1991. P. 47-53. (In Russ.)]
16. Mrazovac S., Basic D. Methane-rich geothermal waters in the Pannonian Basin of Vojvodina (northern Serbia). *Geothermics*. 2009;38(3):303-312.
17. Ganjdanesh R., Hosseini S.A. Potential assessment of methane and heat production from geopressured-geothermal aquifers. *Geothermal Energy*. 2016;4(16):1-25.
18. Abdullaev A.N. Predotvrashchenie obrazovaniya otlozhenii tverdoi fazy CaCO₃ v skvazhine. Ezhegodnik "Geotermya". 1991. S. 81 – 84. [Abdullaev A.N. Prevention of formation of solid CaCO₃ deposits in the well. Yearbook "Geotermya". 1991. P. 81 – 84. (In Russ.)].
19. Akhmedov G.Ya. K voprosu ob ekspluatatsii energeticheskikh sistem v usloviyakh dekarbonizatsii geotermal'nykh vod. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2013;28:63-69. [Akhmedov G.Ya. On the question of the exploitation of energy systems in the conditions of decarbonisation of thermal water. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2013; 28:63-69. (In Russ.)]
20. Akhmedov G.Ya. Stabilizatsionnaya obrabotka geotermal'nykh vod. Vodopodgotovka i sanitarnaya tekhnika. 2010;6:33-38. [Akhmedov G.Ya. Stabilization treatment of geothermal waters. Water Supply and Sanitary Technique. 2010;6:33-38. (In Russ.)]
21. Bryant S.L., Pope G.A. Pat. US 9121259 B2, C10L3/06, C07C1/00, B01J19/00, E21B43/295, C07C7/10. Storing carbon dioxide and producing methane and geothermal energy from deep saline aquifers. Pub. 01.09.2015 (URL: <https://www.google.ch/patents/US9121259>)
22. Akhmedov G.Ya. K voprosu o vliyaniy teploperedachi na otlozhenie tverdoi fazy karbonata kal'tsiya na teploobmennoi poverkhnosti. Energoberezhenie i vodopodgotovka. 2011;6:6-8. [Akhmedov G.Ya. To the question of the effect of heat transfer on the deposition of the solid phase of calcium carbonate on the heat exchange surface. Energy and Water. 2011;6:6-8. (In Russ.)]
23. Alkhasov A.B. Geotermal'naya energetika: problemy, resursy, tekhnologii. M.: FIZMATLIT; 2008. 376 s. [Alkhasov A.B. Geothermal energy: problems, resources, technologies. M.: FIZMATLIT; 2008. 376 p. (In Russ.)]
24. Akhmedov G.Ya. K voprosu ob ispol'zovanii vnutriskvazhinnykh teploobmennikov v geotermal'noi energetike. Promyshlennaya energetika. 2011;9:13-17. [Akhmedov G.Ya. About the use of downhole heat exchangers in geothermal energy. Industrial power engineering. 2011;9:13-17. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Ахмедов Ганапи Янгиевич – доктор технических наук, профессор, кафедра физики.

Курбанисмаилова Ажа Сурхаевна – младший научный сотрудник, Институт геологии ДНЦ РАН.

Information about the authors:

Ganapi Ya.Akhmedov – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Physics.

Azha S. Kurbanismailova – Junior Researcher, Institute of Geology.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.08.2017.

Принята в печать 30.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 02.08.2017.

Accepted for publication 30.08.2017.

Для цитирования: Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Магомедова П.А., Гасанова С.Г. Энергоэффективный опреснитель. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):61-71. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-61-71

For citation: Ismailov T.A., Gadjiev Kh.M., Gasanova S.G., P.A. Magomedova, Chelushkina T.A. Energy efficient desalinator. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3):61-71. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-61-71

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.362

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-61-71

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ОПРЕСНИТЕЛЬ

Исмаилов Т.А.¹, Гаджиев Х.М.², Давыдова К.М.⁴, Магомедова П.А.⁵, Челушкина Т.А.³

¹⁻⁵ Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻⁵ 367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, д.70, Россия,

¹ e-mail: dstu@dstu.ru, ² e-mail: gadjiev.xad@mail.ru, ³ e-mail: chelushkina@yandex.ru, ,

⁴ e-mail: whitenoise@mail.ru, ⁵ e-mail: magomedova@mail.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка конструкции тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы для опреснения морской воды. **Метод.** Для повышения эффективности опреснительной установки разработан специальный тонкопленочный полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы. Конструкция тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы позволяет за счет изменения геометрических размеров опреснителя выравнивать скорости потоков поступающей морской воды, вытекающей пресной воды и рассола. Площадь поперечного сечения трубопровода для поступающей морской воды равна суммарной площади вытекающей пресной воды и рассола. **Результат.** Применение тонкопленочных полупроводниковых ветвей р- и n-типа в термомодуле практически уменьшает их электрическое сопротивление до нуля и полностью устраняет паразитные выделения тепла Джоуля. При этом термоэлектрический эффект Пельтье по нагреву и охлаждению полностью сохраняется, доводя коэффициент полезного действия теплового насоса практически до 100%, что улучшает энергосберегающие характеристики опреснителя в целом. Для дальнейшего повышения эффективности работы разработанного опреснителя рекомендуется в качестве термоэлектрических устройств использовать термоэлектрические модули с излучением. **Вывод.** За счет создания высокой степени разреженности при меньших энергетических затратах получены условия, при которых вода будет превращаться в пар, который при 20°С будет холодным, и сконденсированная дистиллированная вода будет также холодной. В этом случае энергия на нагрев и охлаждение не тратится, а дезинфекцию можно осуществить также ультрафиолетовым излучением, используемым на термоэлектрических устройствах, у которых с одной стороны, генерируется электромагнитное ультрафиолетовое излучение, а с другой стороны - охлаждение. Такие устройства работают в оптимальном режиме без тепловыделений. Опреснительная установка может быть использована для получения пресной воды и концентрированных растворов из любых водных растворов, а также переработки сточных вод промышленных предприятий. Конструкционные материалы опреснительной установки являются экологически безопасными.

Ключевые слова: тонкопленочный полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы, опреснение, ультрафиолетовое излучение, морская вода, дезинфекция

TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

ENERGY EFFICIENT DESALINATOR

Tagir A. Ismailov¹, Khadzhimurat M. Gajiyev², Kistaman M. Davidova⁴,
Patimat A. Magomedova⁵, Tatyana A. Chelushkina³

¹⁻⁵Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: dstu@dstu.ru, ²e-mail: gadjiev.xad@mail.ru, ³e-mail: cheluschkina@yandex.ru,

⁴e-mail: whitenoise@mail.ru, ⁵e-mail: magomedova@mail.ru

Abstract Objectives. The aim of the research is to develop a thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape for the desalination of sea water. **Methods.** To improve the efficiency of the desalination device, a special thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape is developed. The construction of the thin-film semiconductor thermoelectric heat pump allows the flow rates of incoming sea water and outflowing fresh water and brine to be equalised by changing the geometric dimensions of the desalinator. The cross-sectional area of the pipeline for incoming sea water is equal to the total area of outflowing fresh water and brine. **Results.** The use of thin-film semiconductor p- and n-type branches in a thermo-module reduces their electrical resistance virtually to zero and completely eliminates Joule's parasitic heat release. The Peltier thermoelectric effect on heating and cooling is completely preserved, bringing the efficiency of the heat pump to almost 100%, improving the energy-saving characteristics of the desalinator as a whole. To further increase the efficiency of the proposed desalinator, thermoelectric modules with radiation can be used as thermoelectric devices. **Conclusion.** As a consequence of the creation of conditions of high rarefaction under which water will be converted to steam, which, at 20° C, is cold (as is the condensed distilled water), energy costs can be reduced. In this case, the energy for heating and cooling is not wasted; moreover, sterilisation is also achieved using the ultraviolet radiation used in the thermoelectric devices, which, on the one hand, generate electromagnetic ultraviolet radiation, and, on the other, cooling. Such devices operate in optimal mode without heat release. The desalination device can be used to produce fresh water and concentrated solutions from any aqueous solutions, including wastewater from industrial enterprises. The construction materials of the desalination device are environmentally friendly.

Keywords: thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape, desalination, ultraviolet radiation, sea water, disinfection

Введение. Развитие человечества сопровождается неуклонным ростом населения. Это происходит в условиях ограниченных ресурсов на планете.

Одним из важнейших ресурсов в настоящее время является пресная вода, которая становится дороже нефти и нефтепродуктов из нее. В ближайшее время можно ожидать конфликты из-за того, что водные ресурсы вызывают интерес у нескольких граничащих государств.

Например, проблема озера Байкал, представляющее пятую часть запасов пресной воды, обострилась при попытке Монголии построить гидроэлектростанцию на реке и ограничить водный сброс рек в Байкал, что приведет к неизменному падению уровня Байкала и нарушению экосистемы в целом.

Наше государство вынуждено идти на компромисс, и предоставляет Монголии по выгодным тарифам источники электроэнергии от Братской ГЭС, Саяно-Шушенской ГЭС и других энергосистем. Это только часть возможного конфликта в среднеобеспеченных водными ресурсами государствах. На планете большинство государств не имеет таких водных ресурсов и вынуждены либо закупать их, либо бороться за них. В то же время имеется очень много источников воды непригодных для употребления из-за того, что она либо соленая, либо содержит соли тяжелых металлов или отравлена другими микроэлементами.

Постановка задачи. Для избавления от вредных примесей с целью получить чистую воду издревле использовались различные методы опреснения воды. Наиболее распространённым методом являлось применение кипения воды и образование пара, не содержащего примеси и концентрированного рассола, который сливался обратно без употребления. Пар конденсировался и получалась чистая дистиллированная вода. Таким образом, можно было сразу очистить воду сразу от любых примесей, не оказывая на нее физического и химического воздействия. Однако необходимо было значительное количество энергии для того, чтобы сначала нагреть воду до кипения, а затем охладить ее.

Возможны комбинированные системы, которые используют часть тепла от охлаждаемой воды с примесями, предназначенной для кипения. Создан целый ряд опреснителей морской воды или других водных источников.

Одним из наиболее прогрессивных методов является использование термоэлектрических модулей, способных не только нагревать, но и охлаждать на различных поверхностях своей конструкции воду или конденсировать пресную воду из пара [1-8]. Из таких термомодулей построена целая серия термоэлектрических опреснителей морской воды.

На рис.1 показан внешний вид опреснительной установки. На рис. 2 - принцип ее работы.

Конструкция устройства представляет собой набор металлических капсул первого порядка 1, в которые осуществляется первоначальная подача морской воды, и набор металлических капсул второго порядка 2 (морская вода в которые подается после образования пресного льда в капсулах 1), с прикрепленными к их внешней поверхности каскадами термоэлектрических модулей 3.

По трубке 4 к капсуле 1 подводится морская вода, а по трубке 5 отводится пресная вода. Слив соленого конденсата осуществляется через отверстие 6. От внешних спаев термоэлектрических модулей тепло отводится посредством теплопроводов 7. Подача питания на клапаны входных трубок 4, выходных трубок 5, сливного отверстия 6, а также тока питания термоэлектрического модуля, регулируется блоком управления 8.

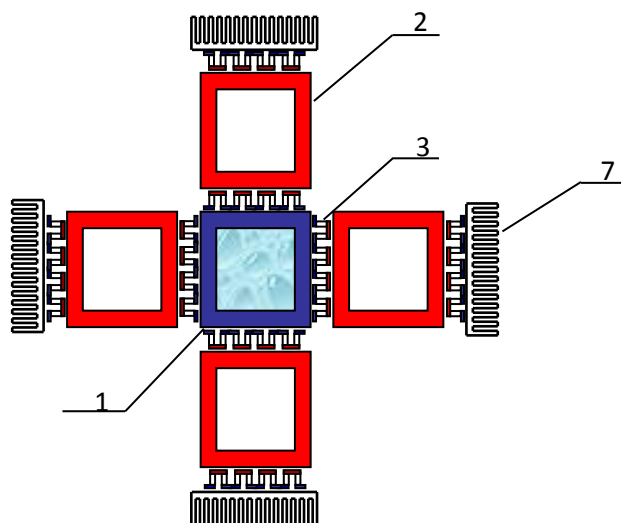


Рис. 1. Конструкция опреснительной установки
Fig. 1. Design of the desalination plant

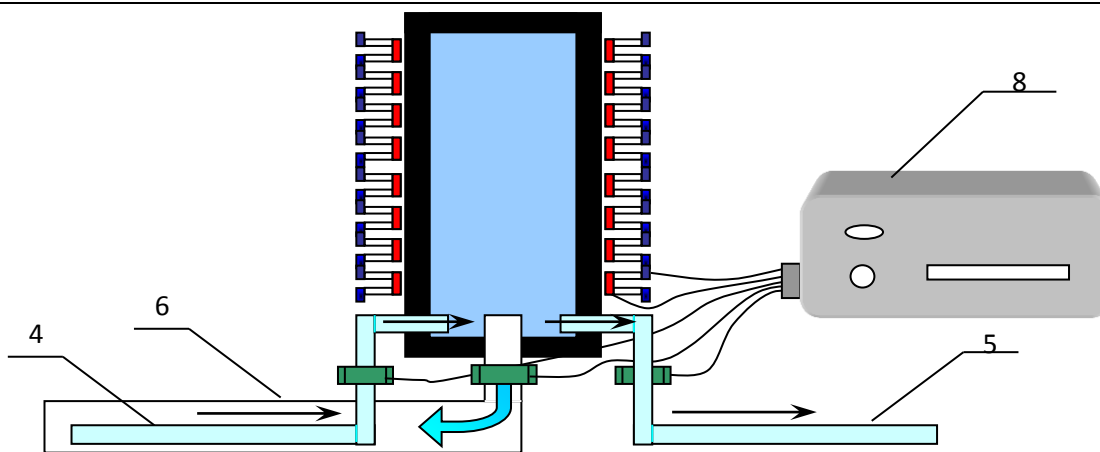


Рис.2. Принцип работы опреснительной установки
Fig.2. Principle of operation of the desalination plant

Работает опреснительная установка следующим образом. По входным трубкам 3 в металлическую капсулу первого порядка 1 подается морская вода. Объем поступающей морской воды, имеет строго фиксированное значение, учитывающее степень расширения льда. После наполнения капсулы до заданного объема клапан на входной трубке 4, блоком управления 7, закрывается, а на термоэлектрический модуль 3 подается ток питания. Капсула 1 с морской водой начинает охлаждаться до температуры образования пресного льда. Теплота с горячего спае термоэлектрического модуля 3 отводится в пустые металлические капсулы 2 (вследствие невысокой температуры нагрева горячих спаев термоэлектрических модулей), либо в теплоотводы 7.

По истечении заданного промежутка времени, достаточного для образования пресного льда, блок управления 8 прекращает подачу тока питания на термоэлектрический модуль 3, в тоже время открывается клапан в отверстие 6, через который осуществляется слив соленого конденсата.

Так как солевой конденсат имеет низкую температуру, то для рекуперации тепла используется система из двух трубок таким образом, что выходная жидкость забирает часть тепла у поступающей морской воды, тем самым уменьшаются затраты энергии в процессе охлаждения. После чего с блока управления 8 подается сигнал на клапан входных трубок 4 и в пустые капсулы 2 заливается морская вода, далее осуществляется ее охлаждение. При этом тепло, выделяющееся на горячем спае термоэлектрического модуля 3, идет на расплавление пресного льда в металлических капсулах 1.

Кроме того, в широкой номенклатуре опреснителей, используются в качестве нагревателей элементы горения, химических реакций, солнечной энергии, электрических преобразователей в тепло и другие способы доведения воды до кипения. Однако всем им присущи определенные достоинства и недостатки.

Методы исследования. Для повышения эффективности опреснительной установки разработан специальный тонкопленочный полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы [9].

Конструкция тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы позволяет за счет изменения геометрических размеров опреснителя выравнивать скорости потоков поступающей морской воды и вытекающей пресной воды и рассола, причем, площадь поперечного сечения трубопровода для поступающей морской воды должна быть равна суммарной площади вытекающей пресной воды и рассола. Также преимуществом является то, что в отличие от рабочей камеры в форме параллелепипеда, имеющей две боковые поверхности, не участвующие в процессе теплообмена, цилиндрическая форма не имеет боковых граней и все поверхности участвуют в теплообмене, что значительно повышает производительность опреснителя и позволяет уменьшить его габариты. Кроме того, примене-

ние тонкопленочных полупроводниковых ветвей р- и n-типа в термомодуле практически уменьшает их электрическое сопротивление до нуля и полностью устраняет паразитные выделения тепла Джоуля. При этом термоэлектрический эффект Пельтье по нагреву и охлаждению полностью сохраняется, доводя КПД теплового насоса практически до 100%, что улучшает энергосберегающие характеристики опреснителя в целом.

На рис. 3 изображена конструкция тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы для опреснения морской воды.

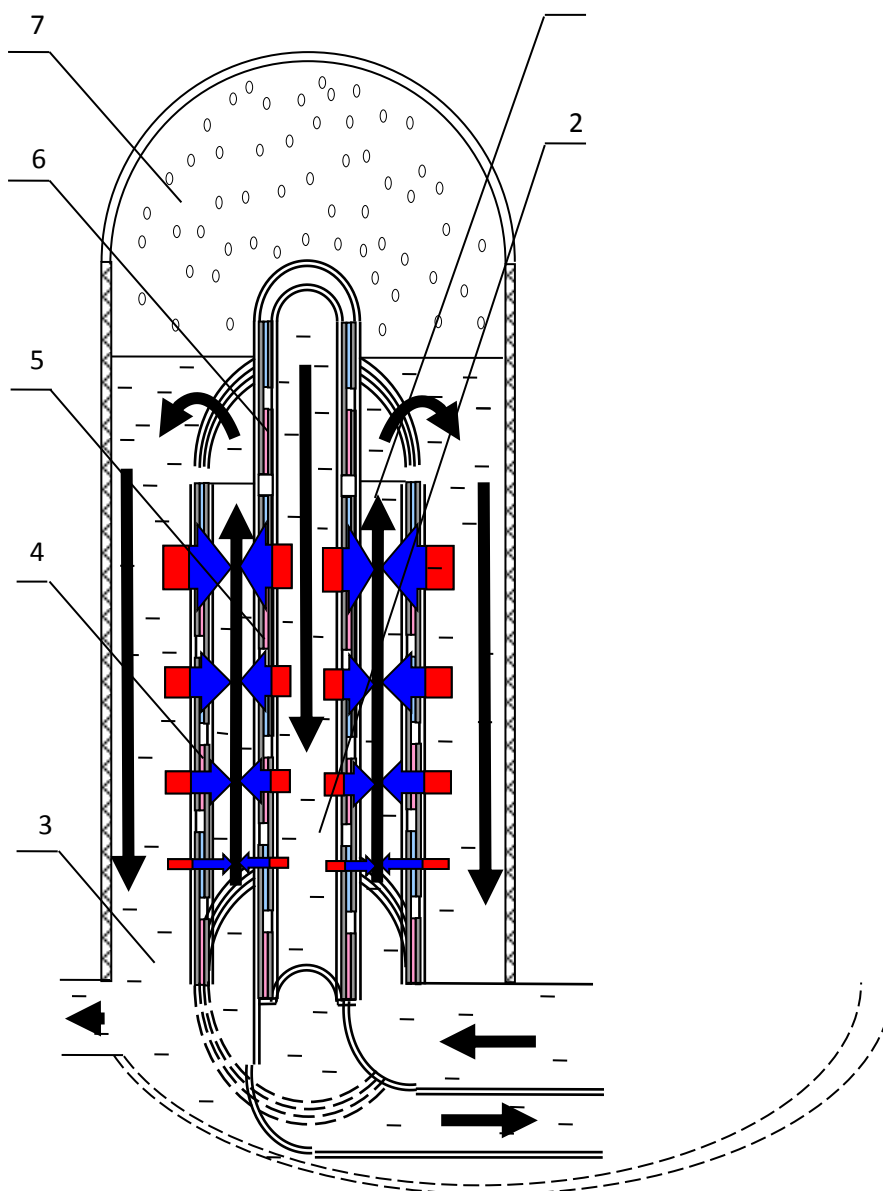


Рис. 3. Конструкция тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы для опреснения морской воды
Fig. 3. The construction of a thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape for sea water desalination

Работает опреснитель следующим образом. Морская вода 1 поступает в теплообменник снизу-вверх. Полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 5 предназначен для отвода тепла от пресной воды 2 к морской воде 1. Полупроводниковый

термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 4 отводит тепло от концентрированного соленого раствора 3 к морской воде 1.

В верхней части расположен полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 6, который горячим спаем доводит до кипения морскую воду 1, а холодным спаем конденсирует пар 7 в пресную воду 2.

Полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 6 осуществляет основной процесс в опреснителе: кипятит морскую воду 1 и конденсирует пар 7 в чистую воду 2.

Энергетические показатели полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы 6 в опреснительной установке обладают высокой эффективностью, так как градиент температур между кипящей морской водой 1 и конденсирующимся паром 7 практически незначителен и не требует больших энергетических затрат при работе. Фактически полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 6 интенсифицирует процесс теплопередачи от конденсируемого пара к кипящей морской воде 1.

Аналогично работают полупроводниковые термоэлектрические насосы цилиндрической формы 4 и 5, причем градиенты температур по горизонтали отсутствуют, а по вертикали меняются от 200 С в нижней части до 1000 С в верхней части. В этом случае потребуются минимальные затраты электроэнергии для работы опреснительной установки.

Предлагаемая конструкция теплообменника делает возможным отбор практически всего тепла от чистой воды 2 для передачи его в морскую воду 1, предназначенную для последующего кипячения, уменьшая тем самым затраты энергии для работы опреснителя.

Размеры полупроводникового термоэлектрического теплового насоса зависят от электротеплофизических параметров самого теплового насоса, скорости движения жидкости, толщины стенок, объемов жидкости и коэффициентов теплопередачи материалов стенок. Солевой раствор 3, двигаясь вниз, отдает через полупроводниковый термоэлектрический тепловой насос цилиндрической формы 4 тепло морской воде 1, поступающей для опреснения вверх.

Предлагаемая конструкция позволяет рекуперировать тепло и улучшить энергетические показатели опреснителя в целом.

Внешние стенки опреснителя должны состоять из теплоизоляционного материала для уменьшения паразитного кондуктивного переноса тепловой энергии в окружающую среду. Габариты опреснителя могут изменяться в широких пределах при сохранении основного условия: температура на выходе опреснительной установки для чистой воды 2 и соленого раствора 3 должна быть практически равна температуре морской воды 1, подающейся в опреснительную установку.

Для удовлетворения этого условия можно увеличить высоту опреснительной установки, уменьшить скорость вытекающей чистой воды 2 и концентрацию соленого раствора 3, сделать тоньше все три камеры опреснительной установки для жидкостей 1, 2, 3. Производительность установки зависит от энергетических показателей термоэлектрического устройства цилиндрической формы 4, 5, 6.

Для дальнейшего повышения эффективности работы предложенного опреснителя рекомендуем в качестве термоэлектрических устройств использовать термоэлектрические модули с излучением [10-16].

В этих модулях та сторона батареи, которая должна была нагреваться за счет изменения энергии электронов, испускает электромагнитное излучение с частотой тем большей, чем больше перепад энергии электронов при переходе из одного участка термомодуля на другой. Наибольший эффект имеет термоэлектрическое устройство с ультрафиолетовым излучением.

В этом случае охлаждающий электрод получает максимальную степень охлаждения, а излучающий электрод испускает максимальную степень энергии.

Если режим будет не оптимальный, то из режима охлаждения термомодуль все равно может перейти в режим нагрева, как видно из графика, представленного на рис.4.

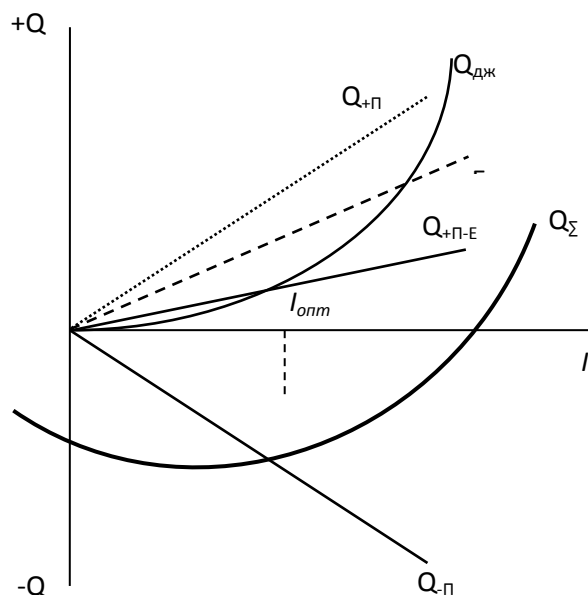


Рис. 4. Зависимость тепла от величины питающего тока I
Fig. 4. The dependence of heat on the value of the supply current I

Q_{Σ} – тепловой баланс теплового насоса;
 $Q_{дж}$ – эффект Джоуля;
 $Q_{-П}$ – охлаждающий эффект Пельтье на p-n-переходе;
 $Q_{+П}$ – нагревающий эффект Пельтье на p-n-переходе;
 $Q_{+П-Е}$ – результирующее тепло на p-n-переходе;
E – энергия излучения.

В этом случае, мы получим одновременно и нагрев на горячей зоне, и излучение. На холодной зоне будет охлаждение, но не самое эффективное. Тем не менее, такой режим является более предпочтительным для опреснителя, так как ультрафиолетовое излучение обладает дезинфицирующим свойством и убивает микроорганизмы. То есть, в процессе работы термомодуля появляется новое функциональное качество по дезинфекции воды не только за счет кипячения, но и за счет облучения ультрафиолетовым излучением, которое после уничтожения микробов, попадет на стенки этого термомодуля и, безусловно, осуществит нагрев этих стенок.

Обсуждение результатов. В конечном итоге, промежуточное преобразование тепловой энергии в ультрафиолетовое излучение, потом будет завершено опять повторным преобразованием в тепловую энергию и, тем самым, без потерь осуществится передача всей тепловой энергии для интенсификации процесса кипячения. В результате, вода будет дважды продезинфицирована, как самим кипячением, так и ультрафиолетом. То есть, на какое-то время, тепловая энергия превращается в ультрафиолетовое излучение и осуществляет дезинфекцию, затем, вновь превращается в тепловую энергию и продолжает дезинфекцию.

В этом случае, энергоэффективность процесса дистилляции воды будет гораздо выше и будет гораздо выгоднее, чем все предшествующие виды опреснения.

При модификации данного опреснителя можно добиться противоположного способа опреснения не за счет кипячения, а за счет превращения в лед [17]. Дело в том, что при охлаждении, например, морской воды, в лед сначала превращается пресная вода и остается рассол. В этом случае, рассол можно слить, растопить лед, и получить пресную воду. Для повышения чистоты можно процесс несколько раз повторить по циклу. Таким образом, можно получить

очень высокую степень чистоты. Можно также использовать зонные методы плавки. Степень чистоты опресненной воды будет еще выше.

Предложенный термомодуль может не только нагревать, светить и охлаждать, но и осуществлять также на охлаждающей поверхности превращение соленой воды в лед и рассол с одновременной обработкой ультрафиолетом льда, который также будет дезинфицирован. После этого будет растоплена дистиллированная вода с более высокой степенью очистки и уничтоженными микроорганизмами. В этом случае, затратим еще меньше энергии, так как охладить воду, например, от 20°C до 0°C потребуются меньше энергии, чем от 20°C вскипятить ее до 100°C. Процесс охлаждения будет эффективнее в четыре раза. Однако, при этом исчезает эффект дезинфекции от кипячения, зато остается эффект дезинфекции от ультрафиолетового облучения.

Дальнейшим развитием опреснителя будет изменение условий, при которых вода будет кипеть. Этого можно достичь за счет изменения атмосферного давления. При увеличении степени разряжения атмосферное давление будет влиять таким образом на процесс кипячения, что при более низкой температуре вода будет закипать, так как при меньшем давлении водяные пары будут легче отрываться от поверхности воды.

При уменьшении атмосферного давления до 0,1 атмосферы температура кипячения воды может составлять 20-30°C в зависимости от условий. Таким образом, за счет создания высокой степени разреженности, при меньших энергетических затратах можно получить условия, при которых вода будет превращаться в пар, но пар при 20°C будет холодным, и сконденсированная дистиллированная вода будет также холодной.

В этом случае, мы не тратим энергию на нагрев и охлаждение, а дезинфекцию можно осуществить также ультрафиолетовым излучением, которое уже в чистом виде будет использовано на термоэлектрических устройствах, у которых с одной стороны генерируется электромагнитное ультрафиолетовое излучение, а с другой стороны охлаждение и работают такие устройства в полностью оптимальном режиме без тепловыделений. Для этого делается маленькая высота термоэлектрических полупроводниковых столбиков, что уменьшает их джоулево-резистивное сопротивление.

Вывод. Опреснительная установка будет использоваться для получения пресной воды и концентрированных растворов из любых водных растворов, а также переработки сточных вод промышленных предприятий. Конструкционные материалы опреснительной установки являются экологически безопасными.

Библиографический список:

1. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. – С.-Пб.: ОАО «Издательство «Политехник»», 2005. – 534 с.
2. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Термоэлектрическое охлаждение тепловыделяющих компонентов микроэлектронной техники. – М.: «Академия», 2012. – 136 с.
3. Патент RU №2368877. МПК: G01K 7/22. Термостат с дискретными полупроводниковыми термоэлектрическими преобразователями/ Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Гафуров К.А.// Оpubл. 08.08.2006. Бюл. №27.
4. Патент RU №2535597, МПК: F28D 15/06. Способ интенсификации теплообмена в тепловой трубе / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д.// Оpubл. 20.12.2014. Бюл. №35
5. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д. Термостабилизация микроэлектронной аппаратуры при помощи полупроводниковых термоэлектрических устройств. - Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2013. – 149 с.
6. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. Интенсификация теплопереноса от кристалла интегральной схемы к теплоотводу за счет применения нанопленочного термоэлектрического теплового насоса // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2014. - №32. – С. 7-15.

7. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. Высокоэффективные полупроводниковые термоэлектрические устройства и приборы. – Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2014. –112 с.

8. Патент RU №2156424. МПК: F28D7/10, F28D21/00. Термоэлектрический полупроводниковый теплообменник / Исмаилов Т.А, Магомедов К.А, Гаджиева С.М, Мурадова М.М.// Оpubл. 20.09.2000.

9. Патент RU №2575650. МПК: G02F 1/04, B01D 1/22, B01D 5/00/ Способ опреснения морской воды при помощи тонкопленочного полупроводникового термоэлектрического теплового насоса цилиндрической формы / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гафурова З.М., Челушкин Д.А., Челушкина Т.А. // Оpubл. 20.09.2016.

10. Патент RU №2405230, МПК: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Способ отвода тепла от тепловыделяющих электронных компонентов в виде излучения / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.// Оpubл. 01.06.2009. Бюл. №33.

11. Патент RU №2205279, МПК: F01P3/20. Термоэлектрический автомобильный радиатор / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Зарат А., Гафуров К.А.// Оpubл. 27.05.2003. Бюл. №27.

12. Патент RU №2098725, МПК: F25B21/02, H01M10/50. Способ охлаждения объекта каскадной термоэлектрической батареей и устройство для его осуществления / Манухин В.В., Дубинин Н.И., Колобаев В.А., Кудрявцев А.В., Волков В.Ю., Марковский М.А.// Оpubл. 10.12.1997.

13. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М. Многослойное излучающее термоэлектрическое устройство // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2013. - №1.- С.90-93.

14. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М. Гаджиева С.М. Тонкопленочные термоэлектрические устройства с отводом тепла в виде излучения для охлаждения микросистемной техники // Научное приборостроение. - 2013. – Т.23. - №3. - С.120-124.

15. Патент RU №2507613. МПК: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Каскадное светоизлучающее термоэлектрическое устройство / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.// Оpubл. 20.02.2014. Бюл. №5.

16. Исмаилов Т.А. Гаджиев Х.М. Микроэлектронные компоненты с интегральным использованием эффекта Пельтье и оптического излучения. – Махачкала: ИПЦ ФГБОУ ВО «ДГТУ», 2015. –112 с.

17. Гаджиев Х.М. Челушкин Д.А. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для термостатирования компьютерного процессора с применением материалов в состоянии фазового перехода // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2015. - №38– С.37-43.

References:

1. Ismailov T.A. Termoelektricheskie poluprovodnikovye ustroystva i intensifikatory teploperedachi. S.-Pb.: OAO "Izdatel'stvo "Politekhnik"; 2005. 534 s. [Ismailov T.A. Thermoelectric semiconductor devices and heat transfer intensifiers. S.-Pb.: OAO «Izdatel'stvo «Politekhnik»; 2005. 534 p. (In Russ.)]
2. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Termoelektricheskoe okhlazhdenie teplovydelyayushchikh komponentov mikroelektronnoi tekhniki. M.: "Akademiya"; 2012. 136 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Thermoelectric cooling of heat-emitting components of microelectronic engineering. M.: "Akademiya"; 2012. 136 p. (In Russ.)]
3. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Gafurov K.A. Patent RU №2368877. МПК: G01K 7/22. Termostat s diskretnymi poluprovodnikovymi termoelektricheskimi preobrazovatelyami. Opubl. 08.08.2006. Byul. №27. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Gafurov K.A. Patent RU №2368877. МПК: G01K 7/22. Thermostat with discrete semiconductor thermoelectric converters. Publ. 08.08.2006. Bull. №27. (In Russ.)]
4. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. Patent RU №2535597, МПК: F28D 15/06. Sposob intensifikatsii teploobmena v teplovoi trube. Opubl. 20.12.2014. Byul. №35. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. Patent RU №2535597, МПК: F28D 15/06. Method of intensification of heat transfer in a heat pipe. Publ. 20.12.2014. Bull. №35. (In Russ.)]
5. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Nezhvedilov T.D. Termostabilizatsiya mikroelektronnoi apparatury pri pomoshchi poluprovodnikovyx termoelektricheskikh ustroystv. Makhachkala: IPTs DGTU; 2013. 149 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Nezhvedilov T.D. Thermal stabilisation of microelectronic equipment using semiconductor thermoelectric devices. Makhachkala: IPTs DSTU; 2013. 149 p. (In Russ.)]
6. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Intensifikatsiya teploperenosa ot

- kristalla integral'noi skhemy k teplootvodu za schet primeneniya nanoplenochnogo termoelektricheskogo teplovogo nasosa. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2014;32:7-15. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Intensification of heat transfer from the crystal of the integrated circuit to the heat sink due to the use of a nanofilm thermoelectric heat pump. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2014;32:7-15. (In Russ.)]
7. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Vysokoeffektivnye poluprovodnikovye termoelektricheskie ustroystva i pribory. Makhachkala: IPTs DGTU; 2014. 112 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. Highly efficient semiconductor thermoelectric devices and instruments. Makhachkala: IPTs DSTU; 2014. 112 p. (In Russ.)]
 8. Ismailov T.A., Magomedov K.A., Gadzhieva S.M., Muradova M.M. Patent RU №2156424. MPK: F28D7/10, F28D21/00. Termoelektricheskii poluprovodnikovyi teploobmennik. Opubl. 20.09.2000. [Ismailov T.A., Magomedov K.A., Gadzhieva S.M., Muradova M.M. Patent RU №2156424. MPK: F28D7/10, F28D21/00. Thermoelectric semiconductor heat exchanger. Publ. 20.09.2000. (In Russ.)]
 9. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gafurova Z.M., Chelushkin D.A., Chelushkina T.A. Patent RU №2575650. MPK: G02F 1/04, B01D 1/22, B01D 5/00/. Sposob opresneniya morskoi vody pri pomoshchi tonkoplnochnogo poluprovodnikovogo termoelektricheskogo teplovogo nasosa tsilindricheskoi formy. Opubl. 20.09.2016. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gafurova Z.M., Chelushkin D.A., Chelushkina T.A. Patent RU №2575650. MPK: G02F 1/04, B01D 1/22, B01D 5/00/. Method of desalination of sea water using a thin-film semiconductor thermoelectric heat pump of cylindrical shape. Publ. 20.09.2016. (In Russ.)]
 10. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Patent RU №2405230, MPK: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Sposob otvoda tepla ot teplovydelyayushchikh elektronnykh komponentov v vide izlucheniya. Opubl. 01.06.2009. Byul. №33. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Patent RU №2405230, MPK: H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. The method of heat removal from heat-emitting electronic components in the form of radiation. Publ. 01.06.2009. Bull. №33. (In Russ.)]
 11. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Zarat A., Gafurov K.A. Patent RU №2205279, MPK: F01P3/20. Termoelektricheskii avtomobil'nyi radiator. Opubl. 27.05.2003. Byul. №27. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Zarat A., Gafurov K.A. Patent RU №2205279, MPK: F01P3/20. Thermoelectric automobile radiator. Publ. 27.05.2003. Bull. №27. (In Russ.)]
 12. Manukhin V.V., Dubinin N.I., Kolobaev V.A., Kudryavtsev A.V., Volkov V.Yu., Markovskii M.A. Patent RU №2098725, MPK: F25B21/02, H01M10/50. Sposob okhlazhdeniya ob'ekta kaskadnoi termoelektricheskoi batareei i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. Opubl. 10.12.1997. [Manukhin V.V., Dubinin N.I., Kolobaev V.A., Kudryavtsev A.V., Volkov V.Yu., Markovskii M.A. Patent RU №2098725, MPK: F25B21/02, H01M10/50. The method of cooling an object with a cascade thermoelectric battery and a device for its implementation. Publ. 10.12.1997. (In Russ.)]
 13. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Mnogosloinoe izluchayushchee termoelektricheskoe ustroystvo. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii Rossii. Radioelektronika. 2013;1:90-93. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Multilayer radiating thermoelectric device. Journal of the Russian Universities: Radioelectronics. 2013;1:90-93. (In Russ.)]
 14. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Tonkoplnochnye termoelektricheskie ustroystva s otvodom tepla v vide izlucheniya dlya okhlazhdeniya mikrosistemnoi tekhniki. Nauchnoe priborostroenie. 2013; 23(3):120-124. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Gadzhieva S.M. Thin-film thermoelectric devices with heat removal in the form of radiation for cooling microsystem equipment. Scientific Instrumentation. 2013 (3):120-124. (In Russ.)]
 15. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Patent RU №2507613. MPK: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Kaskadnoe svetozluchayushchee termoelektricheskoe ustroystvo. Opubl. 20.02.2014. Byul. №5. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. Patent RU №2507613. MPK: G12B 15/06, H01L 23/34, H01L 23/38, H05K 7/20, G06F 1/20. Cascade light-emitting thermoelectric device. Publ. 20.02.2014. Bull. №5. (In Russ.)]
 16. Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Mikroelektronnye komponenty s integral'nym ispol'zovaniem efekta Pel't'e i opticheskogo izlucheniya. Makhachkala: IPTs DGTU; 2015. 112 s. [Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M. Microelectronic components with integral use of the Peltier effect and optical radiation. Makhachkala: IPTs DSTU; 2015. 112 p. (In Russ.)]

17. Gadzhiev Kh.M. Chelushkin D.A. Poluprovodnikovoe termoelektricheskoe ustroystvo dlya termostirovaniya komp'yuternogo protsessora s primeneniem materialov v sostoyanii fazovogo perekhoda. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2015;38:37-43. [Gadzhiev Kh.M. Chelushkin D.A. Semiconductor thermoelectric device for temperature control of a CPU with the use of materials in a state of phase transition. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2015; 38:37-43. (In Russ.)]

Сведения об авторах.

Исмаилов Тагир Абдурашидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники. Ректор Дагестанского государственного технического университета, Заслуженный деятель науки РФ.

Гаджиев Хаджимурат Магомедович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники.

Давыдова Кистаман Мудуновна – аспирант, кафедра физики.

Магомедова Патимат Арсланалиевна – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

Челушкина Татьяна Алексеевна – кандидат технических наук, кафедра теоретической и общей электротехники.

Information about the authors.

Tagir A. Ismailov – Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering. The rector Daghestan State Technical University. Honored worker of science of the Russian Federation.

Khadzhimurat M. Gajiyev – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering.

Kistaman M. Davidova – Graduate student, Department of Physics.

Patimat A. Magomedova – Graduate student, Department of Theoretical and General electrical engineering.

Tatyana A. Chelushkina – Cand. Sci. (Technical), Department of theoretical and General electrical engineering.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 11.08.2017.

Принята в печать 20.09.2017.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 11.08.2017.

Accepted for publication 20.09.2017.

Для цитирования: Makeev A.N. Выбор схемы технологического присоединения абонентов к тепловой сети в условиях перехода к импульсной циркуляции теплоносителя в оборудовании тепловых пунктов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44(3):72-82. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-72-82

Forcition: Makeev A.N. Selecting the scheme of technological connection of subscribers to the heat network under conditions of transition to pulse circulation of the heater in the equipment of heat supply units. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 72-82. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-72-82

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 658.264:621.221

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-72-82

ВЫБОР СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ АБОНЕНТОВ К ТЕПЛОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ИМПУЛЬСНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОБОРУДОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

Makeev A.N.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
430000, г. Саранск, ул. Большевикская, 68,
e-mail: tggi@rambler.ru

Резюме: Цель – обосновать целесообразность массового перехода на независимое присоединение систем теплоснабжения в условиях организации импульсной циркуляции теплоносителя через оборудование теплового пункта для повышения общей энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения. **Метод.** Исследование основано на методах эффективного использования технологий и средств организации импульсного движения теплоносителя в системе теплоснабжения. Выявлены и обобщены достоинства и недостатки известных технических решений. В качестве устройств, предупреждающих распространение волны гидравлического удара в транспортную магистраль, могут быть использованы гидравлические аккумуляторы или любые другие устройства гашения гидравлического удара. **Результат.** Проведен анализ способов присоединения систем теплоснабжения на предмет оценки энергетической эффективности; определены наиболее действенные способы повышения эффективности работы теплоэнергетических устройств; осуществлен синтез технического решения для технологического присоединения систем теплоснабжения. Доказана целесообразность перехода к независимому присоединению систем теплоснабжения в условиях создания импульсной циркуляции теплоносителя в тепловых пунктах. Показано, что наиболее рационально использовать независимую схему присоединения абонентов к тепловой сети. Определены факторы, сдерживающие массовый переход к независимому присоединению тепловой нагрузки. На основании проведенного анализа и научных изысканий в области повышения энергетической эффективности теплоэнергетических систем выбран переход к импульсной циркуляции теплоносителя в тепловом пункте независимой системы теплоснабжения. Представленные технические решения подкреплены авторскими патентами Российской Федерации на изобретения и полезные модели. **Вывод.** Показано, что применение импульсной циркуляции теплоносителя в оборудовании тепловых пунктов для осуществления независимого подключения систем теплоснабжения позволит увеличить надежность и долгосрочность работы рекуперативного теплообменника, а также повысить общую энергетическую эффективность системы теплоснабжения.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловая сеть, система теплоснабжения, тепловой пункт, зависимая и независимая схема присоединения тепловой нагрузки

TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

SELECTING THE SCHEME OF TECHNOLOGICAL CONNECTION OF SUBSCRIBERS TO THE HEAT NETWORK UNDER CONDITIONS OF TRANSITION TO PULSE CIRCULATION OF THE HEATER IN THE EQUIPMENT OF HEAT SUPPLY UNITS

Andrey N. Makeev

Ogarev Mordovia State University,
68 I. Bolshevikskaya Str., Saransk 430000, Russia,
e-mail: tggi@rambler.ru

Abstract Objectives. The aim is to justify the expediency of a transition en masse to independent connection of heat consumption systems under the conditions of pulse circulation of the coolant through the equipment of a heat supply unit in order to increase the overall energy efficiency of district heat supply systems. **Methods.** The research is based on methodologies for the effective use of technologies providing a means of effecting a pulsed motion of the coolant in the heat supply system. The advantages and disadvantages of known technical solutions are identified and summarised. Hydraulic accumulators or any other devices for damping a hydraulic shock can be used as devices for preventing the propagation of a wave of hydraulic shock into the transport mainline. **Results.** An analysis of approaches to heat consumption system connection is carried out in order to assess power efficiency; the most effective ways for improving the efficiency of heat and power devices are identified; a synthesis of the technical solution for the implementation of a technological connection of heat consumption systems is performed. The expediency of transition to independent connection of heat consumption systems under the conditions of pulse circulation of coolant in heat supply units is demonstrated. The independent scheme of connection of subscribers to the heat network is indicated as the most appropriate. The factors constraining the en masse transition to independent connection of the heat load are determined. Based on the analysis and scientific research in the field of increasing the energy efficiency of heat and power systems, the transition to pulse circulation of the coolant in the heat supply unit of the independent heat consumption system is selected. The presented technical solutions are confirmed by Russian Federation patents of inventions and utility models. **Conclusion.** It is shown that the use of pulse coolant circulation in the equipment of heat supply units for independent connection of heat consumption systems will increase the reliability and long-term operation of the recuperative heat exchanger, as well as increase the overall energy efficiency of the heat supply system.

Keywords: heat supply system, heat network, heat consumption system, heat supply unit, dependent and independent scheme of heat load connection

Введение. В настоящее время присоединение тепловой нагрузки абонентов (отопление, вентиляция, кондиционирование, горячее водоснабжение и проч.) к тепловым сетям осуществляется по двум принципиально различным вариантам – по зависимой или независимой схеме. В первом случае сетевая вода поступает непосредственно в системы теплопотребления, а во втором она контактирует через теплообменник с другим теплоносителем, который циркулирует в контуре присоединенных абонентов.

Дать однозначный ответ на вопрос, какой способ присоединения систем теплопотребления лучше, весьма затруднительно. В каждом конкретном случае решение может быть получено только после объемного анализа многочисленных факторов, определяющих условия и режимы эксплуатации тепловой сети и конкретной системы теплопотребления.

Например, для зданий выше двенадцати этажей, несмотря на значительные эксплуатационные затраты, в основном используется независимая схема, поскольку такое техническое решение позволяет поддерживать более стабильные температурный и гидравлический режимы

как в самой тепловой сети, так и в сети присоединенных абонентов. Что касается небольших предприятий, малоэтажных зданий и всех других случаев, характеризующихся максимальной простотой и дешевизной исполнения технологического присоединения к тепловым сетям, то предпочтение отдается зависимой схеме.

Таким образом, чем больше тепловая нагрузка абонента, тем более оправданы затраты на осуществление подключения и эксплуатацию систем теплоснабжения по независимой схеме.

В условиях поиска путей повышения экономической и энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения вопрос о выборе рационального способа подключения систем теплоснабжения к тепловой сети вновь актуализируется. Свои коррективы вносит способ импульсной циркуляции теплоносителя [1].

Постановка задачи. Цель – обосновать целесообразность массового перехода на независимое подключение систем теплоснабжения к тепловым сетям при условии обеспечения импульсной циркуляции теплоносителя в индивидуальных тепловых пунктах для повышения общей энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения.

В процессе достижения цели были решены следующие задачи:

- анализ способов присоединения систем теплоснабжения на предмет оценки энергетической эффективности;
- анализ наиболее действенных способов повышения эффективности работы теплоэнергетических устройств;
- синтез технического решения для осуществления технологического присоединения систем теплоснабжения с учетом результатов вышеприведенного анализа;
- подведение итогов о целесообразности перехода к независимому присоединению систем теплоснабжения в условиях создания импульсной циркуляции теплоносителя в тепловых пунктах.

Методы исследования. Настоящая работа выполнена на базе учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения» при ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» и представляет авторское 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, дается описание их работы.

Представленные технические решения подкреплены авторскими патентами Российской Федерации на изобретения и полезные модели.

Зависимая схема присоединения систем теплоснабжения представлена на рис.1.

В рассматриваемом случае абоненты могут присоединяться к тепловым сетям:

- непосредственно, при совпадении гидравлического и температурного режимов тепловой сети и местной системы (рис.1, объект А);
- через элеватор при необходимости снижения температуры воды в системе теплоснабжения и располагаемом напоре перед элеватором, достаточном для его работы (рис. 1, объект В);
- через смесительные насосы при необходимости снижения температуры воды в системе теплоснабжения и располагаемом напоре, недостаточном для работы элеватора, а также при осуществлении автоматического регулирования системы (рис. 1, объект С).

Указанные варианты характеризуются относительной простотой реализации, дешевизной технологического присоединения и не требуют значительного внимания квалифицированного персонала при эксплуатации.

Рассматривая принцип работы зависимой схемы можно отметить, что она обладает и существенными недостатками.

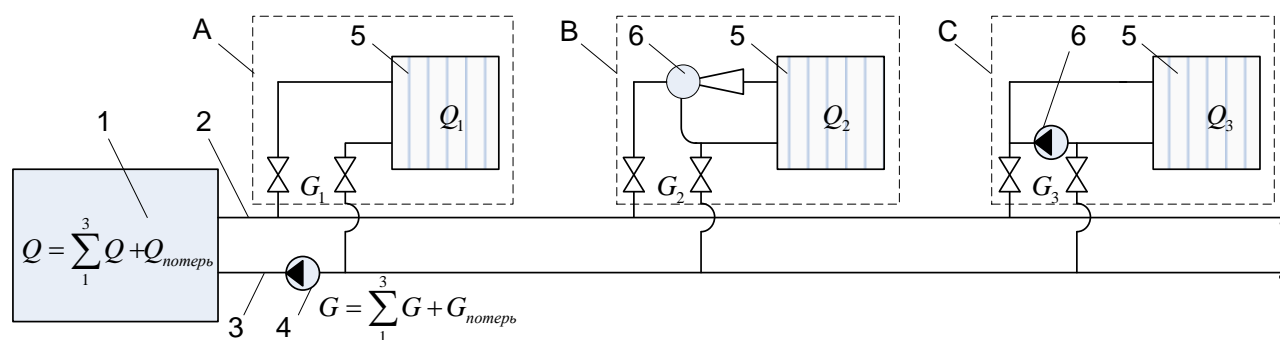


Рис.1. Схема зависимого присоединения тепловой нагрузки к тепловой сети:

A – непосредственное присоединение; B – присоединение через водоструйный элеватор; C – присоединение через смесительный насос; 1 – источник теплоты; 2 – подающий трубопровод тепловой сети; 3 – обратный трубопровод тепловой сети; 4 – сетевой насос; 5 – тепловая нагрузка; 6 – смесительный насос

Fig.1. The scheme of the dependent connection of the thermal load to the heat network:

A - direct connection; B - connection through a water-jet elevator; C - connection through a mixing pump; 1 - source of heat; 2 - the supply pipeline of the heating network; 3 - return pipeline of the heating network; 4 - the network pump; 5 - thermal load; 6 - mixing pump

Следует остановиться на них несколько подробнее.

Во-первых, это жесткая зависимость гидравлического и температурного режимов потребителей тепловой энергии, как между собой, так и с источником теплоты. Например, в том случае, когда в здании А (рис. 1) возникает потребность в корректировке потребления тепловой энергии, то выполнение данного мероприятия путем изменения расхода теплоносителя G_1 через систему теплоснабжения этого же здания, неизбежно приведет к перераспределению расходов теплоносителя G_2 и G_3 соответственно через здания В и С, которые подключены к этой же тепловой сети. То есть, если избыток тепла в здании А при нормальном тепловом режиме зданий В и С устранять за счет уменьшения расхода G_1 , то в зданиях В и С возникнут условия для нарушения их нормального температурного режима.

В свою очередь, стабилизация тепловых режимов зданий В и С путем уменьшения соответствующих расходов G_2 и G_3 неизбежно приведет к увеличению гидравлического сопротивления тепловой сети. В итоге сетевой насос 4, если он не оборудован частотным регулированием по величине поддерживаемого на выходе давления, будет испытывать значительные перегрузки, а его работа будет сопровождаться повышенными затратами электрической энергии на транспорт теплоносителя. Как показывает практика, в некоторых случаях эти затраты могут превышать нормативные в 2 – 3 раза.

Конечно, в зависимой схеме присоединения абонентов применяются свои средства и методы регулирования тепловой нагрузки, например, корректирующие и смесительные насосы, водоструйные элеваторы с изменяемым коэффициентом смешения и т.п. Но как было показано выше, они мало устраняют предпосылки для гидравлической разрегулировки системы теплоснабжения.

Во-вторых, согласно п. 3.2.11 Правил эксплуатации теплоснабжающих установок и тепловых сетей потребителей [2] расчетные шайбы и сопла элеваторов должны пломбироваться. Но если возникает практическая необходимость регулирования параметров теплоносителя у потребителя, а делать это запрещено по условию сохранения работоспособности всей системы теплоснабжения, то это явно свидетельствует о ее неустойчивой и крайне неэффективной работе.

В-третьих, в случае наступления аварийной ситуации на тепловой сети или источнике теплоты, страдают все потребители теплоты. Даже самый незначительный отрезок теплотрассы с изношенным трубопроводом может стать причиной отказа всей системы теплоснабжения.

Таким образом, зависимость тепловых и гидравлических режимов потребителей тепла, подключенных по зависимой схеме к тепловой сети, а также относительно низкая надежность такой системы теплоснабжения, обусловленная применением зависимого присоединения абонентов, в условиях политики повышения энергетической эффективности систем энергообеспечения, никак не соответствует требованиям сегодняшнего дня.

Рассматривая принцип работы независимой схемы технологического присоединения систем теплоснабжения (рис.2), прежде всего, следует отметить ее относительную сложность реализации и дороговизну, обусловленную необходимостью применения дополнительного оборудования в виде теплообменника, средств автоматического регулирования режимами теплоснабжения и циркуляционного насоса местной системы теплоснабжения.

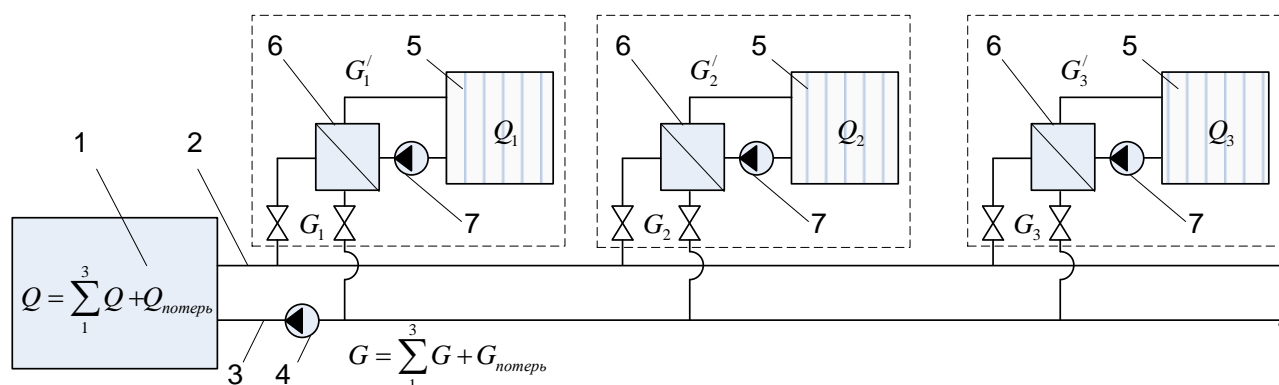


Рис.2. Схема независимого присоединения тепловой нагрузки к тепловой сети:

1 – источник теплоты; 2 – подающий трубопровод тепловой сети; 3 – обратный трубопровод тепловой сети; 4 – сетевой насос; 5 – тепловая нагрузка; 6 – водо-водяной теплообменник; 7 – циркуляционный насос

Fig.2. The scheme of independent connection of the heat load to the heat network:

1 - source of heat; 2 - the supply pipeline of the heating network; 3 - return pipeline of the heating network; 4 - the network pump; 5 - thermal load; 6 - water-to-water heat exchanger; 7 - circulating pump

Однако анализируя принцип работы данной схемы можно отметить, что она обладает значительными преимуществами относительно зависимой схемы.

Во-первых, в тепловой сети отпадает необходимость поддержания значительного рабочего давления для осуществления циркуляции теплоносителя через присоединенные системы теплоснабжения. Это, как минимум, повышает надежность самих тепловых сетей, снижает утечки сетевой воды и позволяет снизить потребление электрической энергии на осуществление циркуляции теплоносителя.

Во-вторых, поскольку системы теплоснабжения гидравлически развязаны как между собой, так и с тепловой сетью, то изменение гидравлического режима одного здания не влияет на общую гидравлику системы теплоснабжения. Напротив, появляются благоприятные условия для вывода в ремонт необходимого абонента.

В-третьих, при данном подключении каждая система теплоснабжения может быть снабжена собственным автономным источником энергоснабжения [3], который позволит осуществлять резервное теплоснабжение здания в случае аварии на тепловой сети или источнике теплоты. Таким образом, может быть исключен риск веерного отключения присоединенных абонентов, а, следовательно, достигнуто повышение надежности работы системы теплоснабжения.

В-четвертых, регулирование тепловой нагрузки становится не только возможным для каждого здания, но и удобным в случае применения автоматического управления режимами теплоснабжения.

Таким образом, у схемы независимого присоединения потребителей теплоты огромный потенциал, однако раскрыть его на практике не всегда представляется возможным. Дело в том, что теплообменник «тепловая сеть – система теплоснабжения» быстро забивается наки-

пью, шламом и всякого рода отложениями, содержащимися в теплоносителе [4, с. 47]. Данное обстоятельство накладывает обязательство проведения регулярного технического обслуживания теплообменника. Как правило, затраты на промывку и техническое обслуживание теплообменника составляют основную долю в сумме всех эксплуатационных затрат на покрытие тепловой нагрузки абонентов, подключенных по независимой схеме.

В сложившейся ситуации возможным решением указанной проблемы может стать переход к импульсной циркуляции теплоносителя [5] в оборудовании теплового пункта на основе локальных гидравлических ударов [6-7]. Термин «локальные» подразумевает их генерацию и использование только в пределах оборудования теплового пункта. В качестве устройств, предупреждающих распространение волны гидравлического удара в транспортную магистраль, могут быть использованы гидравлические аккумуляторы или любые другие устройства гашения гидравлического удара.

При реализации указанного способа циркуляции теплоносителя в оборудовании теплового пункта может быть получен эффект самоочистки теплообменника. О возможности реализации данного способа позволяют говорить результаты научных исследований, представленные в работах [8-11].

Учитывая влияние колеблющихся потоков на тепловые процессы, можно утверждать, что реализация импульсной циркуляции теплоносителя относительно поверхностей теплообмена будет способствовать интенсификации теплообмена [12-13]. Практическую значимость имеет и тот факт, что импульс количества движения теплоносителя может быть использован для трансформации располагаемого напора из одного гидравлического контура в другой [14]. Схема технического решения для подключения тепловой нагрузки по независимой схеме, в которой реализовано импульсное движение теплоносителя относительно поверхностей нагрева теплообменника, приведена на рис. 3 [15].

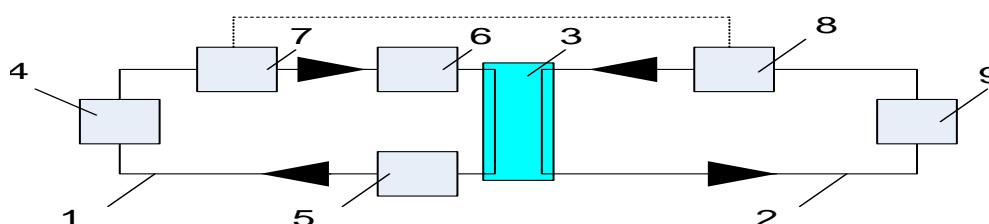


Рис. 3. Схема организации импульсной циркуляции теплоносителя через теплообменник в случае независимого присоединения тепловой нагрузки:

1 – высокотемпературный контур; 2 – низкотемпературный контур; 3 – теплообменное устройство; 4 – источник теплоты; 5 – циркулирующее устройство (насос); 6 – устройство торможения (ударный узел); 7 – преобразователь импульса гидравлического удара; 8 – импульсный нагнетатель, механически связанный с преобразователем импульса гидравлического удара 7; 9 – теплопотребляющее устройство

Fig. 3. Scheme of impulse circulation of the heat carrier through the heat exchanger in case of independent connection of the heat load:

1-high-temperature circuit; 2 - low-temperature circuit; 3 - heat exchanger; 4 - source of heat; 5 - circulating device (pump); 6 - the braking device (impact unit); 7 - converter of the pulse of hydraulic shock; 8 - pulse supercharger mechanically connected to the hydraulic shock pulse converter 7; 9 - heat-consuming device

Эксплуатацию системы теплоснабжения по предложенному способу осуществляют следующим образом. Изначально осуществляют заполнение системы теплоснабжения по контурам высокотемпературного 1 и низкотемпературного 2 теплоносителей, после чего нагревают высокотемпературный теплоноситель в источнике теплоты 4 и осуществляют его движение циркулирующим устройством 5 через теплообменное устройство 3.

По истечении заданного промежутка времени циркулирующий высокотемпературный теплоноситель принудительно тормозят устройством торможения 6 до момента генерации гидравлического удара высокотемпературного теплоносителя. В качестве устройства торможения

ния могут быть использованы управляемые гидравлические затворы или самоподдерживающиеся ударные узлы [16].

Сгенерированный импульс количества движения высокотемпературного теплоносителя преобразуется в механический импульс посредством преобразователя импульса гидравлического удара 7 и используется в импульсном нагнетателе 8 [17] для создания циркуляции теплоносителя в низкотемпературном контуре 2 через теплообменное устройство 3 и теплопотребляющее устройство 9.

После этого циркуляцию высокотемпературного теплоносителя возобновляют и процесс вновь повторяется в описанной выше последовательности.

На протяжении всего периода эксплуатации по предложенному выше способу циркуляцию высокотемпературного и низкотемпературного теплоносителей осуществляют импульсно, причем скорость циркуляции высокотемпературного и низкотемпературного теплоносителей в своих отдельных контурах, теплоотдачу в них, теплопередачу между ними регулируют изменением частоты и/или амплитуды генерации гидравлического удара высокотемпературного теплоносителя устройством торможения - ударным узлом.

Учитывая тот факт, что приведённое на рис.3 техническое решение работает по принципу гидравлического тарана, то величина расхода нагреваемого теплоносителя $g, м^3/с$ в импульсном режиме циркуляции зависит от расхода греющего теплоносителя $G, м^3/с$ через устройство торможения и определяется отношением создаваемого располагаемого напора нагреваемого теплоносителя $h, м$ к располагаемому напору греющего теплоносителя $H, м$. Ориентировочные значения коэффициентов трансформации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов трансформации
Table 1. Values of transformation ratios

g/G	0,25	0,125	0,083	0,063	0,05	0,042	0,036	0,028	0,025
h/H	2	4	6	8	10	12	14	16	18

В качестве типового решения теплового пункта с импульсной циркуляцией теплоносителя для осуществления независимого подключения тепловой нагрузки может быть использовано техническое решение, представленное в работе [18].

Особенностями указанного способа подключения являются использование в качестве устройства торможения двухпоточного ударного узла [19] для повышения стабильности параметров импульсной циркуляции теплоносителя попеременно через два теплообменника, а также возможность организации корректирующей линии без использования корректирующего насоса [20].

Вывод. Пути повышения надежности и эффективности централизованных систем теплоснабжения неизбежно ведут к переходу на независимое присоединение потребителей тепловой энергии.

До настоящего времени сдерживающими факторами такого перехода являлись стоимость дополнительного оборудования индивидуальных тепловых пунктов и средств его автоматизации, необходимость постоянного обслуживания оборудования высококвалифицированным персоналом, а также техническая сложность обеспечения качественной работы и долгосрочного ресурса теплообменника, который по мере эксплуатации зарастает отложениями и выходит из строя. Именно его рабочее состояние является основополагающим фактором в обеспечении надежности и эффективности работы систем теплоснабжения, присоединенных к тепловой сети по независимой схеме.

Таким образом, получается, что владея технологией, которая обеспечивала бы регенерацию поверхностей теплообмена от накипи, шлама и прочих отложений, развитие систем теплоснабжения с независимым присоединением получило бы новый виток. Между тем, такие технологии сегодня уже существуют и успешно применяются в тепло- [20,21] и даже электроэнергетике [22]. Технологии импульсной циркуляции теплоносителя позволяют не только реализовать самоочищение поверхностей теплообмена, но и использовать другие преимущества. К ним относятся:

– возможность трансформации располагаемого напора тепловой сети в располагаемый напор системы теплоснабжения без использования циркуляционных насосов (или с выводом их в резерв)[23];

– возможность интенсификации теплообмена в теплообменных аппаратах, которая позволит не только уменьшить их массогабаритные параметры, но и обеспечит привлекательный вид индивидуальных тепловых пунктов на основе импульсной технологии в ценовом ряду конкурентоспособного оборудования [24, 25];

– возможность дополнительного подогрева теплоносителя в контуре системы теплоснабжения с применением гидродинамических струйных кавитаторов с минимальными затратами энергии [26- 28].

Таким образом, технологии и средства импульсного теплоснабжения содержат в себе значительные возможности для применения в системах теплоснабжения в целях повышения ее энергетической эффективности. При этом независимая схема подключения абонентов к тепловой сети с применением названной технологии позволяет наиболее полно раскрыть данный потенциал.

Библиографический список:

1. Патент 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.
2. 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.
3. Патент на полезную модель 87501 Российская Федерация, МПК F24D 11/00. Автономная система отопления для здания автономного пользования / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. А. Лазарев; заявитель и патентообладатель гос. образоват. Учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2009113871/22 ; заявл. 13.04.2009 ; опубл. 10.10.2009, Бюл. № 27.
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. Макеев, А. Н. Импульсная система теплоснабжения общественного здания : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Макеев. – Пенза, 2010. – 20 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. Babushkin, S.V. Air intake and entrapment valve for protection of pressurized piping from hydraulic shock / S. V. Babushkin, V. A. Babin, S. Y. Vorotyagin, A. V. Kurylev, S. V. Chernov // Power Technology and Engineering. – 2014. – Т. 47. – № 6. – pp. 436–439.
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. – С. 22–24.
9. Патент 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.
10. Звегинцев В.И. Опыт создания пневмоимпульсных систем очистки конвективных поверхностей нагревательных агрегатов/В. И. Звегинцев, И. И. Шабанов. – Энергетик, 2009, №1. - с. 21-24.
11. Ahn B. Experimental Study Swirl Injector Dynamic Response Using a Hydromechanical Pulsator / Benjamin Ahn, MaksudIsmailov, Stephen Heister // Journal of Propulsion and Power, Vol. 28, No. 3 (2012), pp. 585–595.
12. Галицкий Б. М. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках / Б. М. Галицкий, Ю. А. Рыжов, Е. В. Якуш. – М. :Машиностроение, 1977. – 256 с.
13. 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.
14. Патент 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.
15. Левцев А. П. Импульсные системы тепло- и водоснабжения: монография / А. П. Левцев, А. Н. Макеев; под общ. ред. д-ратехн. Наукпроф. А. П. Левцева. – Саранск :Изд-воМордов. ун-та, 2015. – 172 с.
16. Левцев А. П. Обзор и анализ основных конструкций ударных клапанов для создания гидравлического удара / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, Н. Ф. Макеев, 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).

17. Патент на полезную модель 159837 Российская Федерация, МПК F04F 7/00, F04B 43/02. Импульсный нагнетатель / А. П. Левцев, А. Н. Makeev, 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.
18. Патент на изобретение 2543465 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Тепловой пункт / А. П. Левцев, А. Н. Makeev, С. Н. Makeev, С. И. Храмов, Я. А. Нарватов; заявитель и патентообладатель А. П. Левцев, А. Н. Makeev, С. Н. Makeev. – № 2013137717/12 ; заявл. 12.08.2013 ; опубл. 27.02.2015, Бюл. № 6.
19. Патент на полезную модель 113546 Российская Федерация, МПК F15B 21/12. Ударный узел для газогидравлического устройства (варианты) / А. П. Левцев, А. Н. Makeev, А. М. Зюзин; заявитель и патентообладатель НОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИО». – № 2011141604/06; заявл. 13.10.2011; опубл. 20.02.2012, Бюл. № 5.
20. 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: 28.09.2016).
21. 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.
22. Патент на полезную модель 98060 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Система теплоснабжения / А.П. Левцев, А.Н. Makeev, А.М. Зюзин; заявитель и патентообладатель ННОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИО». – № 2010122249/03; заявл. 31.05.2010 ; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27.
23. Levstev A. P. Pulsating heat transfer enhancement in the liquid cooling system of power semiconductor converter / A. P. Levstev, 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> (дата обращения: 30.01.2017)
24. Makeev A. N. Импульсная система теплоснабжения общественного здания: дис. канд. техн. наук / А. Н. Makeev. – Саранск, 2010. – 153 с.
25. 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: 31.01.2017).
26. Makeev A. N. Тепловые пункты систем теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя / А. Н. Makeev // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017.– № 1 (44). – С. 26–47. DOI : 10.21822 / 2073 – 6185 – 2017 – 44 – 1 – 37 – 47.
27. Патент на полезную модель 99123 Российская Федерация, МПК F24J 3/00. Кавитатор для тепловыделения в жидкости/А. П. Левцев, А. Н. Makeev; заявитель и патентообладатель гос. образоват. Учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2010120371/06 ; заявл. 20.05.2010 ; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 31.
28. Патент на изобретение 2619665 Российская Федерация, МПК F24J 3/00. Кавитатор для тепловыделения в жидкости / А. П. Левцев, А. Н. Makeev, О. В. Кудашева; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – № 2015145776 ; заявл. 23.10.2015 ; опубл. 17.05.2017, Бюл. № 14.

References:

1. Makeev A.N., Levstev A.P. Patent RU № 2423650. МПК F24D 3/00. Sposob teplosnabzheniya. Opubl. 10.07.2011. Byul. № 19. [Makeev A.N., Levstev A.P. Patent RU № 2423650. МПК F24D 3/00. The way of heat supply. Publ. 10.07.2011. Bull. № 19. (In Russ.)]
2. Pravilatekhnicheskoi ekspluatatsii teplovykh energoustanovok: utv. prikazom Minenergo RF ot 24 marta 2003 g. № 115: vvodvdeystviya 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.)]
3. Levstev A.P., Makeev A.N., Lazarev A.A. Patent RF na poleznuyu model' 87501, МПК F24D 11/00. Avtonomnaya sistema otopeniya dlya zdaniya avtonomnogo pol'zovaniya. № 2009113871/22. Zayavl. 13.04.2009. Opubl. 10.10.2009. Byul. № 27. [Levstev A.P., Makeev A.N., Lazarev A.A. Patent of RF for utility model 87501, МПК F24D 11/00. Autonomous heating system for an autonomous building. № 2009113871/22. Appl. 13.04.2009. Publ. 10.10.2009. Bull. № 27. (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. Babushkin S.V., Babin V.A., Vorotyagin S.Y., Kurylev A. V., Chernov S.V. Air intake and entrapment valve for protection of pressurized piping from hydraulic shock. Power Technology and Engineering. 2014;47(6):436–439.
8. Pogrebnyak A.P., Kokorev V.L., Kokorev A.L., Moiseenko I.O., Gul'tyaev A.V., Efimova N.N. O vnedrenii sistema 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. Zhunusova T.V., Nizovkin V.M. PatentRU № 2191642. MPKB08B9/032. Sposob obrabotki sistemy otopeniya. Opubl. 27.10.2002, Byul. 12. [Zhunusova T.V., Nizovkin V.M. PatentRU № 2191642. MPKB08B9/032. Method of processing building's heating system. Publ. 27.10.2002, Bull. 12. (In Russ.)]
10. Zvegintsev V.I., Shabanov I. I. Opyt sozdaniya pnevmoimpul'snykh sistem ochistki konvektivnykh poverkhnostei nagreva kotel'nykh agregatov. Energetik; 2009(1):21–24. [Zvegintsev V.I., Shabanov I. I. Experience of creation of pneuimpulse systems for cleaning convective heating surfaces of boiler units. Energetik; 2009(1):21–24. (In Russ.)]
11. 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.
12. Galitseyskiy B.M., Ryzhov Yu.A., Yakush E.V. Teplovye i gidrodinamicheskie protsessy v koleblyushchikh sya 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.)]
13. 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.
14. Makeev A.N., Levtshev A.P., Lazarev A.A. Patent RF na poleznuyu model' 88104, MPK F24D 3/02. Sistema otopeniya (varianty). № 2009126711/22. Zayavl. 13.07.2009. Opubl. 27.10.2009. Byul. № 30. [Makeev A.N., Levtshev A.P., Lazarev A.A. Patent RF for utility model 88104, MPK F24D 3/02. Heating system (options). № 2009126711/22. Appl. 13.07.2009. Publ. 27.10.2009. Bull. № 30. (In Russ.)]
15. Levtshev A.P., Makeev A.N. Impul'snyye sistemy teplo- ivodosnabzheniya. Podred. Levtsheva A.P. Saransk: Mordovskiy gosudarstvennyy universitet; 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.)]
16. Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev N.F., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Obzor i analiz osnovnykh konstruktivnykh udarnykh klapanov dlya sozdaniya gidravlicheskogo udara. Sovremennyye 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.)]
17. Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Kenchadze G.B. Patent RU № 159837, MPKF04F 7/00, F04B 43/02. Impul'snyy nagnetatel'. Opubl. 20.02.2016. Byul. № 5. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Kenchadze G.B. PatentRU № 159837, MPKF04F 7/00, F04B 43/02. Impulse blower. Publ. 20.02.2016. Bull. № 5. (In Russ.)]
18. 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.)]
19. 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.)]
20. Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Korrektiruyushchii kontur s impul'snoi tsirkulyatsiei teponositelya v sostave teplovogo punkta sistemy teplosnabzheniya. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015; 2-1: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20925> (data obrashcheniya: 28.09.2016). [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: 28.09.2016). (In Russ.)]
21. Makeev A.N., Levtshev A.P. Impul'snyye sistemy teplosnabzheniya obshchestvennykh zdaniy. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2010; 2(9):45–51. [Makeev A.N., Levtshev A.P. Impulse heat supply systems for public buildings. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2010; 2(9):45–51. (In Russ.)]
22. Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RF na poleznuyu model' 98060 MPK F24D 3/00. Sistema teplosnabzheniya. № 2010122249/03. Zayavl. 31.05.2010. Opubl. 27.09.2010. Byul. № 27. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RF for utility model 98060 MPK F24D 3/00. Heat supply system. № 2010122249/03. Appl. 31.05.2010. Publ. 27.09.2010. Bull. № 27. (In Russ.)]
23. Levtshev 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(11):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)
24. Makeev A.N. Impul'snaya sistema teplosnabzheniya obshchestvennogo zdaniya. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni cand. tekhn. nauk. Saransk; 2010. 153 s. [Makeev A.N. Impulse heating system of a public building. PhD of Technical Sciences thesis. Saransk; 2010. (In Russ.)] 153 p.
 25. Levitsev A.P., Kudashev S.F., Makeev A.N., Lysyakov A.I. Vliyanie impul'snogo rezhima techeniya teplonositelya 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: 31.01.2017). [Levitsev 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 31.01.2017) (In Russ.)]
 26. Makeev A.N. Teplovyepunktysistem teplosnabzheniyasimpul'snoitsirkulyatsieiteplonositelya. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2017;1(44):26–47. DOI: 10.21822 / 2073 – 6185 – 2017 – 44 – 1 – 37 – 47. [Makeev A.N. Substations of district heating systems with pulse coolant circulation. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2017;1(44):26–47. DOI: 10.21822 / 2073 – 6185 – 2017 – 44 – 1 – 37 – 47. (In Russ.)]
 27. Levitsev A.P., Makeev A.N. Patent RF na poleznuyu model' 99123, MPK F24J 3/00. Kavitor dlya teplovydeleniya v zhidkosti. № 2010120371/06. Zayavl. 20.05.2010. Opubl. 10.11.2010. Byul. № 31. [Levitsev A.P., Makeev A.N. Patent RF for utility model 99123, MPK F24J 3/00. Cavitator for heat generation in a liquid. № 2010120371/06. Appl. 20.05.2010. Publ. 10.11.2010. Bull. № 31. (In Russ.)]
 28. Levitsev A.P., Makeev A.N., Kudasheva O.V. Patent RF na izobretenie 2619665, MPK F24J 3/00. Kavitor dlya teplovydeleniya v zhidkosti. № 2015145776. Zayavl. 23.10.2015. Opubl. 17.05.2017. Byul. № 14. [Levitsev A.P., Makeev A.N., Kudasheva O.V. Patent RF for invention 2619665, MPK F24J 3/00. Cavitator for heat generation in a liquid. № 2015145776. Appl. 23.10.2015. Publ. 17.05.2017. Bull. № 14. (In Russ.)]

Сведения об авторе.

Макеев Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетических систем, руководитель учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения»

Information about the author.

Andrey N. Makeev – Cand. Sc.(Technical), assistant professor of 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.

Поступила в редакцию 29.08.2017.

Принята в печать 20.09.2017.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 29.08.2017.

Accepted for publication 20.09.2017.

Для цитирования: Передков С.А., Рамазанов Р.К., Юсуфов Ш.А. Термоэлектрическая система теплоотвода для стабилизации работы тепловых труб в системе обеспечения теплового режима радиоэлектронного оборудования. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (3): 83-92. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-83-92

For citation: Peredkov S.A., Ramazanov R.K., Yusufov Sh.A. Thermoelectric heat removal system for the operational stabilisation of heat pipes in a system for providing the thermal regime of radio electronic equipment.

Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 83-92. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-83-92

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.317.2

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-83-92

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТЕПЛООТВОДА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Передков С.А.², Рамазанов Р.К.³, Юсуфов Ш.А.¹

¹⁻³ Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻³ 367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия

¹ e-mail: yshirali @yandex.ru, ² e-mail: peredkov @mail.ru, ³ e-mail: ramazanov @mail.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является проведение анализа теплофизических процессов в термоэлектрической системе в составе системы обеспечения теплового режима электронной аппаратуры, расположенной в шкафу. **Метод.** Трехмерность задачи и смешанные граничные условия приводят к необходимости разработки расчета теплопередачи в элементах конструкции термоэлектрической системы. Методика численного расчета строится на основе метода энергетических балансов. Анализ тепловых режимов промежуточного теплоотвода выполняется на основе математической модели для локально нагреваемой и охлаждаемой ограниченной пластины. **Результат.** Предложена конструкция шкафа и термоэлектрическая система для эффективного отвода теплоты с конденсационной части тепловой трубы. Отличительной особенностью конструктивной реализации является наличие промежуточного теплоотвода. Преимуществом предлагаемой конструкции также является отсутствие значительных дополнительных энергозатрат для регулирования температурного режима радиоэлектронной аппаратуры в шкафу. **Вывод.** На производительность промежуточного теплоотвода при заданных габаритах и температуре источника слабо сказывается его толщина (в конструктивно разумных пределах), а также температура и площадь поглощающей стороны термоэлектрического модуля. Общая тепловая мощность, отводимая от источника тепловыделений, определяется габаритами и условиями теплообмена на свободной поверхности промежуточного теплоотвода, а также температурой и габаритами теплопоглощающей стороны термоэлектрического модуля. Применение промежуточного теплоотвода позволяет существенно снизить тепловую нагрузку на термоэлектрический модуль при незначительном снижении температурного напора.

Ключевые слова: тепловое поле, система обеспечения теплового режима, тепловая труба, термоэлектрический модуль, термоэлектрическая система, температура

TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

THERMOELECTRIC HEAT REMOVAL SYSTEM FOR THE OPERATIONAL STABILIZATION OF HEAT PIPES IN A SYSTEM FOR PROVIDING THE THERMAL REGIME OF RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

Sergey A. Peredkov², Rustam K. Ramazanov³, Shirali A. Yusufov¹

¹⁻³Daghestan State Technical University,

70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: yshirali @yandex.ru, ²e-mail: peredkov @mail.ru, ³e-mail: ramazanov @mail.ru

Abstract Objectives. The aim of the study is to conduct an analysis of thermophysical processes in a thermoelectric system used for providing the thermal regime of electronic equipment located in a cabinet. A cabinet design and thermoelectric system for efficient heat removal from the condensing part of the heat pipe are proposed. An additional advantage of the proposed design is the obviation of significant additional power consumption requirement for regulating the temperature of radio electronic equipment stored in the cabinet. A distinctive feature of the constructive realisation is the presence of an intermediate heat removal. **Methods.** The three-dimensionality of the problem and mixed boundary conditions lead to the need to develop a calculation of heat transfer in the elements of the construction of the thermoelectric system. The numerical calculation method is based on the method of energy balances. The analysis of the heat regimes of the intermediate heat removal is performed on the basis of a mathematical model for a locally-heated and -cooled restricted plate. **Results.** A cabinet design and a thermoelectric system for efficient heat removal from the condensing part of the heat pipe are proposed. A distinctive feature of the constructive realisation is the presence of an intermediate heat removal. **Conclusion.** The capacity of the intermediate heat removal for given dimensions and temperature of the source is weakly affected by its thickness (in constructively reasonable limits), as well as the temperature and area of the absorbing side of the thermoelectric module; the total heat output from the heat source is determined by the dimensions and heat exchange conditions on the free surface of the intermediate heat removal, as well as by the temperature and dimensions of the heat absorbing side of the thermoelectric module. The use of an intermediate heat removal can significantly reduce the thermal load on the thermoelectric module with a slight decrease in the temperature driving force.

Keywords: thermal field, system of providing the thermal regime, heat pipe, thermoelectric module, thermoelectric system, temperature

Введение. Функционирование, надежность и управление рядом приборов и устройств существенно зависит от систем обеспечения температурных режимов (СОТР), их работы. Как правило, работа таких приборов и устройств связана с необходимостью отвода значительных плотностей потоков теплоты (микроэлектроника, радиоэлектроника, лазерная техника, оптика и др.).

Существующие в настоящее время устройства и системы для отвода теплоты и термостатирования не всегда отвечают указанному требованию и не для всех объектов могут быть использованы. Актуальность рассматриваемой в работе проблемы непосредственно связана с необходимостью разработки и всестороннего исследования полупроводниковых термоэлектрических систем охлаждения РЭС, применение которых в различных областях науки и техники позволит решить задачу температурной стабилизации и управления режимами приборов и устройств с высокими тепловыми нагрузками [1-4, 11].

Постановка задачи. В условиях реализации задач минимизации размеров и компактности при конструировании систем обеспечения температурных режимов не следует забывать, что надежность радиоэлектронной аппаратуры напрямую зависит от теплового режима. Поэтому большое внимание нужно уделять отводу избыточного тепла, выделяющегося в шкафу.

Известны устройства, которые в определенной мере решают поставленные задачи [6-7, 9-11, 12-19]. Ряд из них используют в своем составе тепловые трубы, но имеют такие недостатки как: тепловая труба выполнена в виде единого замкнутого контура, что не достаточно для стабильного режима работы системы охлаждения; в конструктивных решениях не используется тыльная сторона крепления тепловых труб (зона конденсации) с пластинами из высокотеплопроводного материала, которую можно использовать как пассивное охлаждение, что тоже играет немаловажную роль при интенсивном выделении тепла внутри шкафа.

Авторами предлагается конструктивный вариант с системой обеспечения теплового режима на основе использования тепловых труб и термоэлектрических охлаждающих батарей, позволяющей повысить эффективность отвода тепла из объема шкафа, за счет совершенствования зоны конденсации тепловых труб и обеспечение возможности автоматического регулирования отвода тепла без изменения системы конструкции шкафа [8].

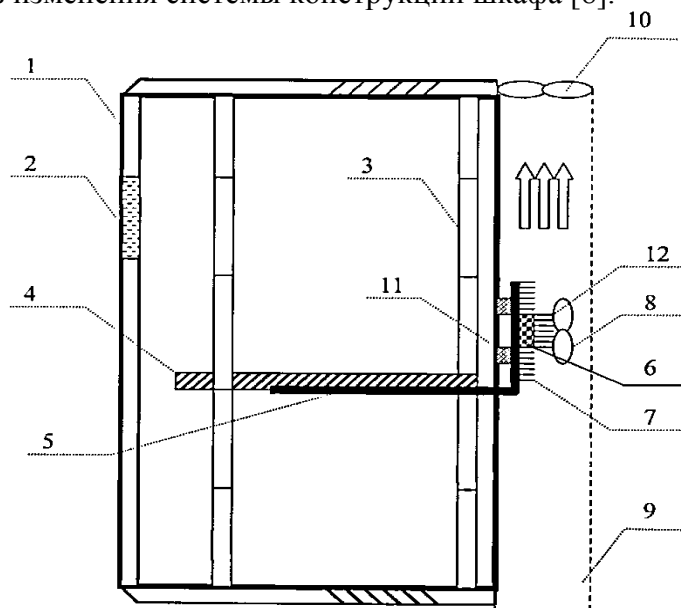


Рис.1 Общий вид шкафа
Fig.1 General view of the cabinet

Устройство состоит из плотно упакованного герметичного корпуса отображенного на рис.1; герметичной дверцы 1 с расположенным в ней индикатором 2; подвижных стоек, которые можно передвигать в горизонтальном направлении и регулировать по высоте для установки аппаратуры 3; теплопроводящей пластины, на которой устанавливается оборудование 4 (количество пластин зависит от количества полок установленных шкафу, в нашем случае рассмотрена одна полка); тепловых труб 5; термоэлектрических батарей 6; теплообменника для снятия тепла с ТЭБ 12 и вентилятора для обдува радиатора 8; заднего кожуха, служащего как для защиты, так и для создания канала обдува 9 и вентилятора для обдува задней полости 10, теплоизоляционных креплений 11 для жесткой фиксации радиатора 7 к задней стенке шкафа. На чертежах не изображены датчики температуры, блок питания, блок управления, соединенные электрически с вентилятором и индикатором.

Принцип действия. Установленная аппаратура в термоэлектрический шкаф при работе выделяет тепло, которое нам нужно выводить наружу для оптимальной его работы.

Конструкция шкафа выполнена таким образом, чтобы туда не попадали пыль и влага, т.е агрессивная среда, пагубно влияющая на аппаратура и систему охлаждения. Датчик, установленный в полости шкафа, следит за перепадами температуры, цифровые значения мы можем наблюдать на индикаторе 2. При повышении температуры подается индикация на 2 и сигнал на блок управления вентилятором 10, который установлен в тыловой части шкафа за защитным кожухом 9. Выделяемое аппаратурой тепло через теплопроводящую пластину 4 попадает на зону испарения тепловых труб 5. Количество труб может быть различно, в нашем случае установлено три.

Хладагент, используемый в тепловых трубах, в нашем случае вода (можно так же использовать спирт, ацетон и др.). Пары хладагента, попав в зону конденсации, переходят в жидкую фазу и стекают обратно в зону испарения, тем самым снимают тепло с теплопроводящих пластин. В зоне конденсации тепловых труб установлен радиатор 7, служащий для улучшения процесса конденсации, т.е. съема тепла. Если же тепловыделение усиливается, то блок управления подает сигнал на подачу питания на ТЭБ 6 и вентилятор 8. Тем самым увеличиваем процесс охлаждения зоны конденсации тепловых труб, процесс снятия тепла усиливается.

Отвод тепла с горячих слоев ТЭБ осуществляется при помощи установленного на него теплообменника 12 и вентилятора 8. Кожух 9 служит для защиты тыловой части шкафа, а установленный вентилятор 10 - для обдува тыловой полости, т.к. количество полок с аппаратурой может быть различно. Чтобы устранить обратные теплопритоки от радиатора 7 используются теплоизоляционные крепления 11, жестко связанные с корпусом шкафа.

Преимуществом предлагаемой конструкции также является отсутствие значительных дополнительных энергозатрат для регулирования температурного режима радиоэлектронной аппаратуры в шкафу.

Методы исследования. В зависимости от конструктивного исполнения термоэлектрической системы (ТЭС) отвод теплоты с источника тепловыделений можно осуществить различными тепловыми схемами, обязательно включающими в себя тепловыделяющий элемент, термоэлектрический модуль (ТЭМ) и радиатор, рассеивающий выделяемую ТЭМ мощность в окружающую среду. В нашем случае источником тепловыделения является конденсационная часть тепловой трубы.

Характер процесса теплопередачи в такого рода конструкциях является существенно неоднородным из-за различия габаритов входящих в них элементов. Например, в случае естественной конвекции площадь основания радиатора может превышать площадь ТЭМ в десять раз и более. В ТЭС, где между теплообменником и тепловыделяющим элементом устанавливается ТЭМ, интенсификация теплопередачи осуществляется за счет контакта «холодных» спаев с тепловыделяющим элементом, а теплообменник отводит теплоту от «горячих» спаев. Для элементов с большими тепловыделениями применяют конструкции, в которых с обеих сторон установлены ТЭМ. В случае использования в качестве радиатора корпусной конструкции при большом рассредоточении элементов теплоотвод представляет собой бесконечную пластину.

С другой стороны, теплорассеивающая способность пластины при ее локальном нагреве открывает возможность расширения области эффективного применения ТЭС за счет организации так называемого промежуточного теплоотвода между источником тепловыделений и теплопоглощающей стороной ТЭМ, что и реализовано в конструкции предлагаемого шкафа (рис. 2)

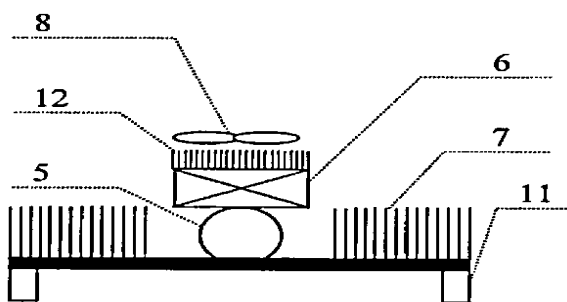


Рис. 2. Термоэлектрическая система теплоотвода с конденсационной частью тепловых труб
Fig.2. Thermoelectric heat sink system from condensing part of heat pipe

В зависимости от конструктивного исполнения устройства промежуточный теплоотвод может выполняться с различной ориентацией ребер, однако, в любом случае желательно, чтобы его габаритные размеры не превышали габаритные размеры радиатора на тепловыделяющей стороне ТЭМ.

Таким образом, посредством промежуточного теплоотвода часть тепловой нагрузки от источника тепловыделений рассеивается в окружающую среду под действием естественной разности температур, вследствие чего термоэлектробатарея работает в условиях меньшей тепловой нагрузки и меньшего температурного напора, что расширяет область эффективного применения ТЭС.

Математически задача определения температурного поля в промежуточном теплоотводе известна для различных случаев формализации граничных условий. Однако в специальной литературе отсутствуют данные по расчету температурных полей в ограниченной пластине при наличии локальных источников и стоков теплоты на ее поверхностях и при условиях, как адиабатной изоляции, так и конвективного теплообмена на свободных от источников поверхностях.

Таким образом, трехмерность задачи и смешанные граничные условия приводят к необходимости разработки расчета теплопередачи в элементах конструкции ТЭС.

Методика численного расчета строится на основе метода энергетических балансов [5].

Применение метода энергетических балансов приводит к следующему уравнению для температуры в каждой расчетной точке:

$$T = \frac{\frac{\lambda}{hx}(F_1 T_1 + F_2 T_2) + \frac{\lambda}{hy}(F_3 T_3 + F_4 T_4) + \frac{\lambda}{hz}(F_5 T_5 + F_6 T_6) + \alpha_\omega(T_\omega - T_0)}{\frac{\lambda}{hx}(F_1 + F_2) + \frac{\lambda}{hy}(F_3 + F_4) + \frac{\lambda}{hz}(F_5 + F_6)} \quad (1)$$

где,

$$\begin{aligned} F_1 &= C_1 \frac{hxhy}{4}; F_2 = C_2 \frac{hyhz}{4}; F_3 = C_3 \frac{hyhz}{4}; \\ F_4 &= C_4 \frac{hxhz}{4}; F_5 = C_5 \frac{hxhy}{4}; F_6 = C_6 \frac{hxhy}{4}; \end{aligned} \quad (2)$$

где, F_i - площадь грани элементарного объема;

hx, y, z - шаг сетки по осям координат;

λ - коэффициент теплопроводности материала;

T_i - температура средней точки соседнего элементарного объема;

$C_i=1...4$ - коэффициенты площади грани элементарного объема;

α_ω - коэффициент теплоотдачи;

$i=1...6$ - номер, граничащего с расчетным, элементарного объема.

Коэффициенты C_i ($i = 1...6$) являются весовыми коэффициентами для расчета площади граней элементарного объема, они определяются в зависимости от координаты расчетной точки. Так, для средней области тела $C_i = 4$, в углах расчетной области $C_i = 1$, на границах расчетной области $C_i = 2$.

Численный расчет температурного поля сводится к решению системы уравнений вида:

$$\begin{aligned} T_{LT,MT,NT} &= A_1 T_{LT-1,MT,NT} + A_2 T_{LT+1,MT,NT} + A_3 T_{LT,MT-1,NT} + \\ &A_4 T_{LT,MT+1,NT} + A_5 T_{LT,MT,NT-1} + A_6 T_{LT,MT,NT+1} + B. \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициенты A_i и свободный член B вычисляются на основании выражений (1) и (2).

Обсуждение результатов. За исключением некоторых случаев принудительного охлаждения, тепловыделяющая сторона ТЭМ находится в тепловом контакте с основанием теплообменника - радиатора (или корпусной конструкции), площадь которого превышает площадь теплового контакта. Таким образом, имеет место локальный нагрев поверхности ограниченной пластины при условии конвективного теплообмена на другой, от распределения которого зависит реальная теплопередающая способность радиатора.

Известные методики оценки эффективности ТЭС строятся без учета многомерности процесса теплопередачи в радиаторе, что по нашим расчетам, в ряде случаев приводит к существенным погрешностям. В тоже время, на основании численных расчетов температурного поля в локально прогреваемой пластине могут быть сформулированы рекомендации по оценке радиальной теплопередающей способности радиатора.

Расчеты для такой тепловой схемы выполнены в соответствии с разработанной методикой для следующих соотношений геометрических и теплофизических параметров: $\alpha / \lambda = 0,001 \dots 10$ 1/м; $a/d = 2,5 \dots 10$; $A/a = 2,3,4$. Промежуточный теплоотвод (радиатор), установленный в тепловом контакте между тепловыделяющим элементом и тепловыделяющими спаями ТЭМ предназначен для рассеивания части тепловой нагрузки в окружающую среду под действием естественной разности температур. Анализ тепловых режимов промежуточного теплоотвода выполняется на основе математической модели для локально нагреваемой и охлаждаемой ограниченной пластины.

Режимом работы промежуточного теплоотвода, отвечающим назначению этого конструктивного элемента ТЭС, является вариант, при котором при снижении температуры теплопоглощающей стороны ТЭМ часть тепловой мощности источника рассеивается на промежуточном теплоотводе, а часть – поглощается ТЭМ.

Таким образом, совокупность температурных условий (t_n и t_6), геометрических параметров (общие габариты и толщина, габариты «тепловых пятен» на стороне подвода и отвода тепла) и теплофизических параметров (коэффициенты теплопроводности материала и теплоотдачи на поверхности) должна обеспечивать работу промежуточного теплоотвода в режиме как радиатора, отводящего часть тепловой нагрузки в окружающую среду, так и режиме «теплого мостика» между источником тепловыделений и теплопоглощающей стороной ТЭМ. На рис. 3 приведены обозначения геометрических характеристик, принятые при анализе.

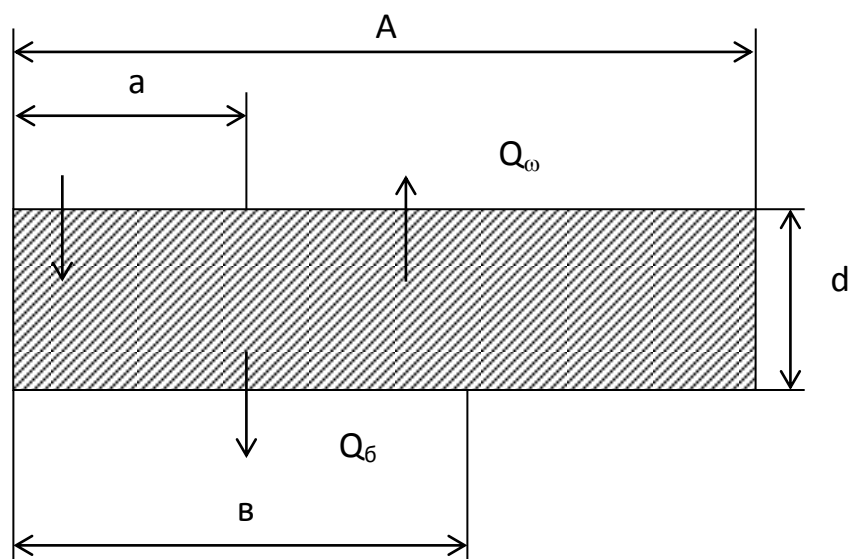


Рис. 3. Геометрические характеристики
Fig. 3. Geometrical characteristics

Расчеты выполнялись для различных соотношений температур источника и ТЭМ, различных соотношений теплофизических характеристик и геометрических размеров.

На рисунках 4-6 приведены данные, показывающие эффективность применения промежуточного теплоотвода, значения теплоты, отводимой от тепловыделяющего элемента и ТЭМ от геометрических характеристик радиатора, источника и ТЭМ.

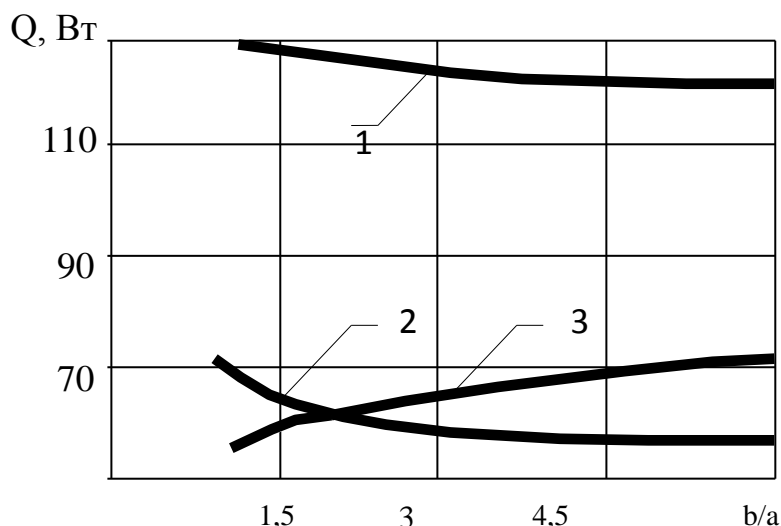


Рис. 4. Зависимости отводимой теплоты от отношения размеров контактирующих поверхностей источника и ТЭМ при $\lambda=320$ Вт/мК, $\alpha=100$ Вт/м²К, $\Delta T=2$ К

(1 - источник тепловыделений, 2-термобатарея, 3 - промежуточный теплообменник)

Fig. 4. Dependences of the heat removed from the ratio of the dimensions of the contacting source surfaces and TEM at $\lambda=320$ W/mK, $\alpha = 100$ W / m²K, $\Delta T = 2$ K

(1 - source of heat release, 2-thermobattery, 3 - intermediate heat exchanger)

Из рис. 4 следует, что при $b/a > 2$ промежуточный теплоотвод преобладает над теплотой, отводимой термобатареей. Рассмотрение зависимостей, приведенных на рис. 5 свидетельствует, что преобладание теплоты Q_6 и Q_8 происходит при $A/a > 4,5$.

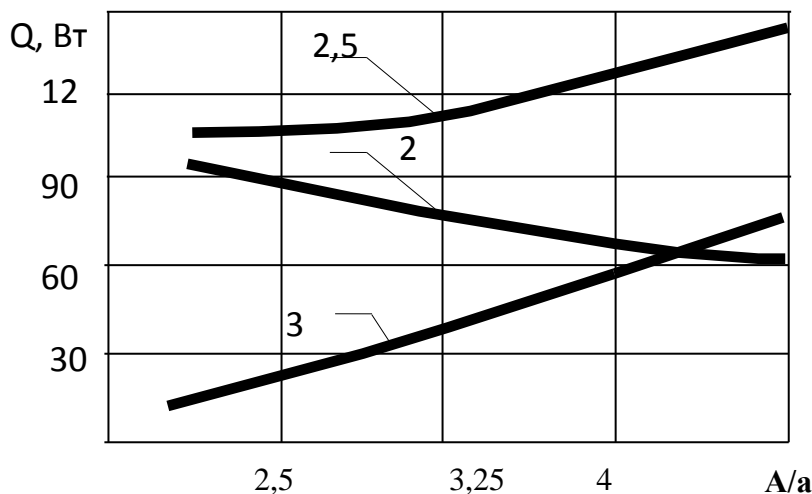


Рис.5. Зависимость отводимой теплоты от отношения размеров теплообменников и источника тепловыделений при $\lambda=320$ Вт/мК, $\alpha=100$ Вт/м²К, $\Delta T=2$ К

(1- источник тепловыделений, 2-термобатарея, 3 - промежуточный теплообменник)

Fig. 5. Dependence of heat removal on the ratio of the sizes of heat exchangers and the source of heat release at $\lambda = 320$ W / mK, $\alpha = 100$ W / m²K, $\Delta T = 2$ K

(1- heat source, 2-thermobattery, 3 - intermediate heat exchanger)

Из рис.6 следует, что толщина d оказывает незначительное влияние на величину промежуточного теплоотвода.

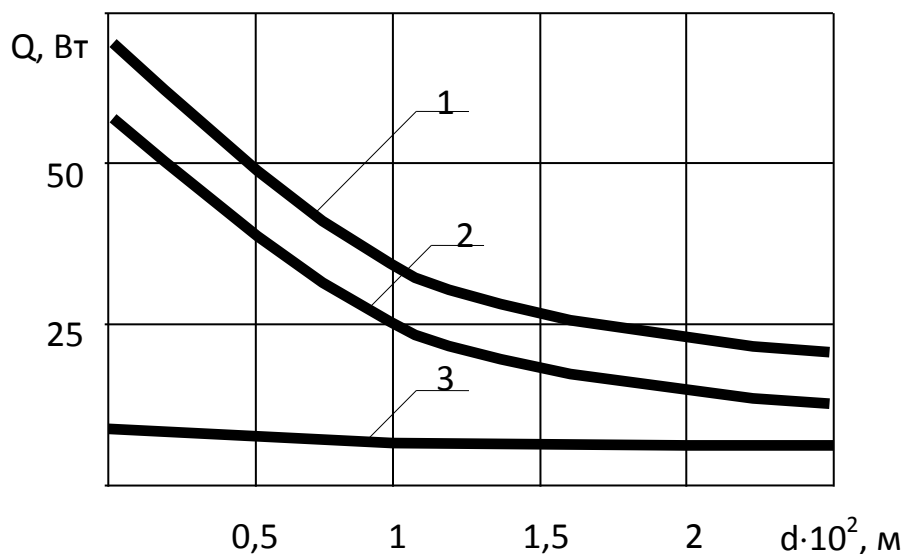


Рис. 6. Зависимости отводимой теплоты от толщины основания промежуточного теплообменника при $\lambda=50 \text{ Вт/мК}$, $\alpha=50 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, $\Delta T=2 \text{ К}$
(1 - источник тепловыделений, 2-ТЭМ, 3 - промежуточный теплообменник)

Fig. 6. Dependences of the heat removed from the thickness of the base of the intermediate heat exchanger at $\lambda = 50 \text{ W / mK}$, $\alpha = 50 \text{ W / m}^2\text{K}$, $\Delta T = 2 \text{ K}$
(1 - heat source, 2-TEM, 3 - intermediate heat exchanger)

Вывод. Предложена конструкция шкафа и термоэлектрическая система для эффективного отвода теплоты с конденсационной части тепловой трубы. Отличительной особенностью конструктивной реализации является наличие промежуточного теплоотвода.

Анализ величин тепловой мощности Q_{ω} , отводимой промежуточным теплоотводом в окружающую среду, позволяет сделать следующие выводы.

1. На производительность промежуточного теплоотвода при заданных габаритах и температуре источника слабо сказывается его толщина (в конструктивно разумных пределах), а также температура и площадь поглощающей стороны ТЭМ.

2. Общая тепловая мощность, отводимая от источника тепловыделений, определяется, во-первых, габаритами и условиями теплообмена на свободной поверхности промежуточного теплоотвода; во-вторых, температурой и габаритами теплопоглощающей стороны ТЭМ.

3. Применение промежуточного теплоотвода в ряде случаев позволяет существенно снизить тепловую нагрузку на ТЭМ при незначительном снижении располагаемого температурного напора.

Библиографический список:

1. Быков В. С. Обеспечение тепловых режимов энергопреобразующей аппаратуры космических аппаратов / В. С. Быков // Вестник науки Сибири. — 2014. — № 3 (13). — С. 16-20.
2. Бобылкин И.С., Макаров О.Ю. Оптимизация тепловых характеристик при проектировании конструкций радиоэлектронных средств //Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» - 2013. - №3 (13).
3. Рашидханов А.Т., Юсуфов Ш.А. Система обеспечения теплового режима шкафа телекоммуникационного оборудования. / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44(2):87-96. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-2-87-96
4. Белова В.В. Моделирование надежности системы обеспечения теплового режима космического аппарата на этапе электрических испытаний // НиКСС. 2013. №3. С.31-40 КиберЛенинка:

<https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-nadezhnosti-sistemy-obespecheniya-teplovogo-rezhima-kosmicheskogo-apparata-na-etape-elektricheskikh-ispytaniy>

5. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. – СПб.: Политехника, 2005
6. Патент РФ № 2338345 Шкаф радиоэлектронной аппаратуры. Бюл. №31, 2007 г.
7. Патент РФ №2399173 Шкаф радиоэлектронной аппаратуры. Бюл. №25, 2010 г.
8. Патент РФ №2399174 Шкаф радиоэлектронной аппаратуры. Бюл. №25, 2010 г.
9. Патент РФ №2589744 Способ термостабилизации электронной аппаратуры. Бюл. №18, 2016 г.
10. Патент РФ № 2630948 Устройство термостабилизации и отвода тепла от электронных модулей радиотелевизионной аппаратуры Бюл. №19, 2016 г.
11. Саркис Э., Иосиф М. Проблемы разработки и выбора унифицированных узлов и блоков вторичного электропитания для РЭА морского флота//Силовая электроника, 2012, №3-С.15-25, №4 - С.40-46.
12. Arnaud L., Ludovic G., Mouad D., Hamid Z., & Vincent L. Comparison and Impact of Waste Heat Recovery Technologies on Passenger Car Fuel Consumption in a Normalized Driving Cycle. *Energies*.2014;7(8):5273–5290. doi:10.3390/en7085273.
13. Cleary M. Nanostructured High Temperature Bulk Thermoelectric Energy Conversion for Efficient Waste Heat Recovery. Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting. 2014. Washington DC.: DOE Vehicle Technologies Office. Retrieved from http://energy.gov/sites/prod/files/2014/07/f17/ace082_cleary_2014_o.pdf
14. Das R. The Rise of Thermoelectrics. 2013. Retrieved February 17, 2014, from Energy Harvesting Journal:<http://www.energyharvestingjournal.com/articles/the-rise-of-thermoelectrics-47100005925.as>
15. Haddad C., Périllon C., Danlos A., François M.-X., & Descombes G. Some Efficient Solutions to Recover Low and Medium Waste Heat: Competitiveness of the Thermoacoustic Technology. *Energy Procedia*, 2014; 50:1056–1069. doi:10.1016/j.egypro.2014.06.125.
16. Jovovic V. Thermoelectric Waste Heat Recovery Program for Passenger Vehicles. Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting. Washington DC: 2014. DOE Vehicle Technologies Office. Retrieved from http://energy.gov/sites/prod/files/2014/07/f17/ace080_barnhart_2014_o.pdf
17. Chen G., Dresselhaus M.S., Esfarjani K., Ren Z.F., Zebajadi M. Perspectives on thermoelectrics: From fundamentals to device applications. *Energy Environ. Sci.*2012.
18. Hadjistassou C., Kyriakides E., Georgiou J. Designing high efficiency segmented thermoelectric generators. *Energy Convers. Manag.*2013;66:165–172.
19. Apertet Y., Ouerdane H., Goupil C., Lecoer Ph. Efficiency at maximum power of thermally coupled heat engines. *Phys. Rev. E.*2012;85:041144.

References:

1. Bykov V.S. Obespechenie teplovykh rezhimov energopreobrazuyushchey apparatury kosmicheskikh apparatov. *Vestnik nauki Sibiri*. 2014; (13):16-20. [Bykov V. S. Providing thermal regimes for energy-conversion apparatus of space vehicles. *Siberian Journal of Science*. 2014; (13):16-20. (In Russ.)]
2. Bobylkin I.S., Makarov O.Yu. Optimizatsiya teplovykh kharakteristik pri proektirovanii konstruktsiy radioelektronnykh sredstv. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»*. Voronezh. 2013;3(13). [Bobylkin I.S., Makarov O.Yu. Optimization of thermal characteristics in the design of radioelectronic devices. *Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"*. 2013;3(13). (In Russ.)]
3. Rashidkhanov A.T., Yusufov Sh.A. Sistema obespecheniya teplovogo rezhima shkafa telekommunikatsionnogo oborudovaniya. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2017; 44(2):87-96. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-2-87-96. [Rashidkhanov A.T., Yusufov Sh.A. The system of providing the thermal regime of the telecommunication equipment cabinet. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2017;44(2):87-96. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-2-87-96. (In Russ.)]
4. Belova V.V. Modelirovanie nadezhnosti sistemy obespecheniya teplovogo rezhima kosmicheskogo apparata na etape elektricheskikh ispytaniy. *NiKSS*. 2013;3:31-40. KiberLeninka: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-nadezhnosti-sistemy-obespecheniya-teplovogo-rezhima-kosmicheskogo-apparata-na-etape-elektricheskikh-ispytaniy>. [Belova V.V. Modeling the reliability of the system providing the thermal regime of the spacecraft at the stage of electrical tests. *NiKSS*. 2013;3:31-40. *CyberLeninka*: (In Russ.)]
5. Ismailov T.A. Termoelektricheskie poluprovodnikovye ustroystva i intensifikatory teploperedachi. SPb.: Politekhnik; 2005. [Ismailov T.A. Thermoelectric semiconductor devices and heat transfer intensifiers. SPb.: Politekhnik; 2005. (In Russ.)]
6. Patent RF № 2338345 Shkaf radioelektronnoy apparatury. Byul. №31, 2007. [Patent RF № 2338345 Radioelectronic equipment cabinet. *Bull.* №31, 2007. (In Russ.)]
7. Patent RF №2399173 Shkaf radioelektronnoy apparatury. Byul. №25, 2010. [Patent RF №2399173 Radioelectronic equipment cabinet. *Bull.* №25, 2010. (In Russ.)]
8. Patent RF №2399174 Shkaf radioelektronnoy apparatury. Byul. №25, 2010. [Patent RF №2399174 Radioelectronic equipment cabinet. *Bull.* №25, 2010. (In Russ.)]

9. Patent RF№2589744 Spособ termostabilizatsii elektronnoy apparatury. Byul. №18, 2016. [PatentRF №2589744 Method of heat stabilisation of electronic equipment. Bull. №18, 2016. (In Russ.)]
10. Patent RF№ 2630948 Ustroystvo termostabilizatsii i otvoda tepla ot elektronnykh moduley radiotelevizionnoy apparatury. Byul. №19, 2016. [PatentRF № 2630948 The device for heat stabilization and heat removal from electronic modules of radio and television equipment. Bull. №19, 2016. (In Russ.)]
11. Sarkis E., Iosif M. Problemy razrabotki i vybora unifikirovannykh uzlov i blokov vtorichnogo elektropitaniya dlya REA morskogo flota. Silovaya elektronika. 2012;3:15-25, 4:40-46. [Sarkis E., Iosif M. Problems of development and selection of unified units and secondary power supply units for REA of the marine fleet. Power electronics. 2012;3:15-25, 4:40-46. (In Russ.)]
12. Arnaud L., Ludovic G., Mouad D., Hamid Z., & Vincent L. Comparison and Impact of Waste Heat Recovery Technologies on Passenger Car Fuel Consumption in a Normalized Driving Cycle. Energies.2014;7(8):5273–5290. doi:10.3390/en7085273.
13. Cleary M. Nanostructured High Temperature Bulk Thermoelectric Energy Conversion for Efficient Waste Heat Recovery. Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting. 2014. Washington DC.: DOE Vehicle Technologies Office. Retrieved from http://energy.gov/sites/prod/files/2014/07/f17/ace082_cleary_2014_o.pdf
14. Das R. The Rise of Thermoelectrics. 2013. Retrieved February 17, 2014, from Energy Harvesting Journal: <http://www.energyharvestingjournal.com/articles/the-rise-of-thermoelectrics-471-00005925.as>
15. Haddad C., Périlhon C., Danlos A., François M.-X., & Descombes G. Some Efficient Solutions to Recover Low and Medium Waste Heat: Competitiveness of the Thermoacoustic Technology. Energy Procedia, 2014; 50:1056–1069. doi:10.1016/j.egypro.2014.06.125.
16. Jovovic V. Thermoelectric Waste Heat Recovery Program for Passenger Vehicles. Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting. Washington DC: 2014. DOE Vehicle Technologies Office. Retrieved from http://energy.gov/sites/prod/files/2014/07/f17/ace080_barnhart_2014_o.pdf
17. Chen G., Dresselhaus M.S., Esfarjani K., Ren Z.F., Zebbarjadi M. Perspectives on thermoelectrics: From fundamentals to device applications. Energy Environ. Sci. 2012.
18. Hadjistassou C., Kyriakides E., Georgiou J. Designing high efficiency segmented thermoelectric generators. Energy Convers. Manag. 2013;66:165–172.
19. Apertet Y., Ouerdane H., Goupil C., Lecoq Ph. Efficiency at maximum power of thermally coupled heat engines. Phys. Rev. E. 2012;85:041144.

Сведения об авторах:

Передков Сергей Алексеевич – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

Рамазанов Рустам Казиахмедович – аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники.

Юсуфов Ширали Абдулкадиевич – кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической и общей электротехники.

Information about the authors:

Sergey A. Peredkov - Post-graduate student, Department of Theoretical and General electrical engineering.

Rustam K. Ramazanov - Post-graduate student, Department of Theoretical and General electrical engineering.

Shirali A. Yusufov - Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Theoretical and General electrical engineering.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.07.2017.

Принята в печать 22.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.07.2017.

Accepted for publication 22.08.2017.

Для цитирования: Абдуллаева З.М. Моделирование движения судна на мелководье по заданной траектории при переменной глубине. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):93-102. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-93-102

For citation: Abdullaeva Z.M. Modeling of ship movement in shallow water according to a specific trajectory at variable depth. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 44 (3):93-102. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-93-102

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.5.015

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-93-102

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СУДНА НА МЕЛКОВОДЬЕ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ГЛУБИНЕ

Абдуллаева З.М.

Дагестанский государственный технический университет,

367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

²e-mail: Zolotay83@yandex.ru

Резюме: Цель. В статье рассматриваются вопросы движения судна на мелководье при постоянной и переменной глубине района плавания. При ухудшении условий плавания понижается управляемость судна, что объясняется воздействием возмущающих факторов, из которых наиболее сильное влияние оказывает мелководье. На основе анализа существующих математических моделей движения судна на глубокой воде и мелководье с учетом их недостатков поставлена задача разработки математической модели движения судна на мелководье при постоянной и переменной глубине района плавания и ее программной реализацией. **Метод.** Одним из способов повышения точности маневра является получение математической модели, с учетом аналитических зависимостей влияния мелководья на гидродинамические коэффициенты при уравнениях гидродинамики судна, определяемые в функции отношения осадки судна к глубине акватории. **Результат.** Разработаны математические модели движения судна на мелководье с переменной глубиной района плавания, которые отличаются от существующих тем, что коэффициенты при переменных уравнений гидродинамики являются не постоянными, а переменными, полученными аппроксимацией кривых влияния мелководья на гидродинамические коэффициенты в виде полиномов третьего порядка. **Выводы.** Разработанные математические модели и их реализация обладают рядом достоинств, которые заключается в том, что проведенные исследования вносят вклад в развитие нового подхода при моделировании движения судна на мелководье при циркуляции с переменной глубиной района плавания, и при моделировании движение судна на мелководье с переменной глубиной района плавания по заданной криволинейной траектории. Программная реализация математических моделей и алгоритмов движения судна на мелководье с переменной глубиной района плавания могут быть использованы для дальнейших исследований по изучению динамических характеристик судов на мелководье с переменной глубиной района плавания, а также для анализа и оценки судоводительских причин аварий на морском транспорте.

Ключевые слова: мелководье, глубина района плавания, динамические характеристики судна, гидродинамика судна

TECHNICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

MODELING OF SHIP MOVEMENT IN SHALLOW WATER ACCORDING
TO A SPECIFIC TRAJECTORY AT VARIABLE DEPTH

Zalina M. Abdullaeva

*Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,
e-mail: Zolotay83@yandex.ru*

Abstract Objectives. *The movement of a ship in shallow water at both constant and variable depths of a navigation area is considered in the article. With the deterioration of the navigation conditions, the ship's handling is reduced; this is explained in terms of the influence of disturbing factors, among which shallow water has the strongest impact. Based on the analysis of existing mathematical models of ship movement in deep and shallow water – and taking into account their shortcomings – the task is to develop a mathematical model of ship movement in shallow water at a constant and variable navigation area depth, as well as its implementation in software. **Methods.** One way to improve the accuracy of a manoeuvre is to obtain a mathematical model, taking into account the analytical dependencies of the shallow water effect on the hydrodynamic coefficients on the hydrodynamic equations of the ship, defined as a function of the ratio of the ship draft to the depth of the water area. **Results.** Mathematical models of ship movement in shallow water at variable navigation depths, which differ from the existing ones, are developed: the coefficients of variable hydrodynamic equations are not constant values, but variables obtained by approximating the shallow water impact curves onto hydrodynamic coefficients in the form of third-order polynomials. **Conclusions.** The developed mathematical models and their implementation present a number of advantages, which consist in the conducted studies contribution to the development of a new approach in modelling ship movements in shallow water when operating at variable navigation area depths, as well as when simulating ship movements in shallow waters at variable navigation area depth according to a given curvilinear trajectory. The software implementation of mathematical models and algorithms for ship movement in shallow waters with variable depth of the navigation area can be used for further studies on the dynamic characteristics of ships in shallow waters having variable depths, as well as for the analysis and assessment of skipper-induced accidents in maritime transport.*

Keywords: *shallow water, depth of the navigation area, dynamic characteristics of the ship, ship hydrodynamics*

Введение. Качество системы автоматического управления судном определяется алгоритмом управления и управляемостью судна. При ухудшении условий плавания понижается управляемость судна. Это объясняется влиянием возмущающих воздействий, из которых наиболее сильное влияние оказывает мелководье, т.к. с уменьшением запаса воды под килем наблюдается рост сопротивления движению судна и уменьшение скорости движения. Большой интерес представляет исследование движения судна на мелководье при переменной глубине по криволинейной траектории.

Постановка задачи. На мелководье приходится учитывать соотношение между глубиной и осадкой судна, т.к. на мелководье возникают силы гидродинамического взаимодействия корпуса судна и грунта, поэтому ухудшается маневренность судов, повышается рыскливость, при неизменном значении угла перекладки руля радиус установившейся циркуляции увеличивается.

При плавании на мелководье, особенно при переменной глубине, необходима повышенная точность исчисления пути и высокая точность определения координат местоположения судна.

Построение математической модели движения судна на мелководье при переменной глубине по результатам ходовых испытаний и его компьютерное моделирование для дальнейшего использования с коррекцией на условия плавания является залогом повышения точности маневра.

Для моделирования взята система безразмерных дифференциальных уравнений для малых отклонений судна от криволинейной траектории в связанной с судном системе координат, приведенная в [5]

$$\left. \begin{aligned} m_{22}\dot{\beta} + \bar{n}_y^\beta \beta - \bar{n}_y^\omega \omega + n\beta\omega \operatorname{sign}(\beta, \omega) &= n_y^\delta \delta \\ m_{66}\dot{\omega} - \bar{m}_y^\beta \beta - \bar{m}_y^\omega \omega - m\beta\omega \operatorname{sign}(\beta, \omega) &= n_y^\delta \delta \bar{l}_p \\ \left(\frac{\dot{\bar{V}}}{\bar{V}} \right) + \beta \left(\frac{m_{22}}{m_{11}} \omega - \dot{\beta} \right) &= \frac{1}{m_{11}} (n_p - n_x) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(где, \bar{V} – линейная (приведенная) скорость судна $\bar{V} = \frac{V}{V_0}$; V – текущее значение ли-

нейной скорости судна; V_0 – начальное значение линейной скорости судна; β – угол дрейфа; ω – безразмерная угловая скорость судна $\omega = \frac{\Omega L}{V_0}$; L – длина судна между перпендикулярами;

Ω – угловая скорость судна; m_{11} , m_{22} , m_{66} – безразмерные гидродинамические коэффициенты; n_x – безразмерный коэффициент сопротивления движению судна; n_p – безразмерный коэффициент тяги движителей; n_y^δ – коэффициент, характеризующий эффективность установленных на судне средств управления; δ – угол перекладки руля, выраженный в радианах и отсчитываемый от диаметральной плоскости судна, причем перекладка руля на правый борт соответствует $\delta > 0$, а на левый борт значению $\delta < 0$; \bar{l}_p – приведенное отстояние баллера руля от центра тяжести судна (безразмерное плечо руля); n , m – коэффициенты нелинейности поперечной силы и момента, \bar{n}_y^β , \bar{m}_y^β – влияние мелководья на позиционные поперечной силы и момента рыскания, \bar{n}_y^ω , \bar{m}_y^ω – влияние мелководья на вращательные производные поперечной силы и момента рыскания).

Поставлена задача разработки математической модели движения судна на мелководье с постоянной и переменной глубиной района плавания с учетом аналитических зависимостей влияния мелководья на гидродинамические коэффициенты при уравнениях гидродинамики судна, определяемые в функции отношения осадки судна к глубине акватории с помощью кривых третьего порядка.

Методы исследования. В работе [3] выведены эмпирические зависимости вращательных k_1 , k_2 и позиционных производных k_3 , k_4 , от отношения T/H для значения $\lambda = 0,09$, а также для коэффициента влияния мелководья на кинематические характеристики судна, определяемые в функции T/H k_{11} , k_{22} , k_{66} аппроксимированные уравнениями 3-го порядка.

$$k_i = A \left(\frac{T}{H} \right)^3 + B \left(\frac{T}{H} \right)^2 + C \left(\frac{T}{H} \right) + D \quad (2)$$

где,

T – осадка судна;

H – глубина воды.

A , B , C , D – коэффициенты при полиноме, аппроксимирующем влияние мелководья на i -ю гидродинамическую характеристику судна.

Согласно [1] структурные выражения для коэффициента поперечной силы и момента, общие для глубокой воды и мелководья, имеет вид:

$$n = a_1\beta + a_2\beta/|\beta| + a_3\omega + a_4\beta|\omega| \quad m = b_1\beta - b_2\omega \quad (\text{при } \beta < 20^\circ; \omega < 0,65) \quad (3)$$

Коэффициенты $a_1, \dots, a_4; b_1, b_2$, входящие в выражения являются функциями основных параметров корпуса судна.

Численные значения этих коэффициентов можно получить с помощью интерполяционных кривых, часть которых аппроксимирована соответствующими формулами, а часть представлена непосредственно в виде графиков [1].

В работе [4] аппроксимированы интерполяционные кривые, представленные в виде графиков влияния мелководья на соответствующие коэффициенты.

В работе [6] приведена модель движения судна на мелководье с использованием аналитических зависимостей гидродинамических коэффициентов от отношения осадки судна к глубине акватории.

При управлении судном по заданной траектории, координаты судна определяются в маршрутной, подвижной системе координат, что поясняется на рис.1, где приведены геометрические соотношения, возникающие при движении судна по криволинейной траектории.

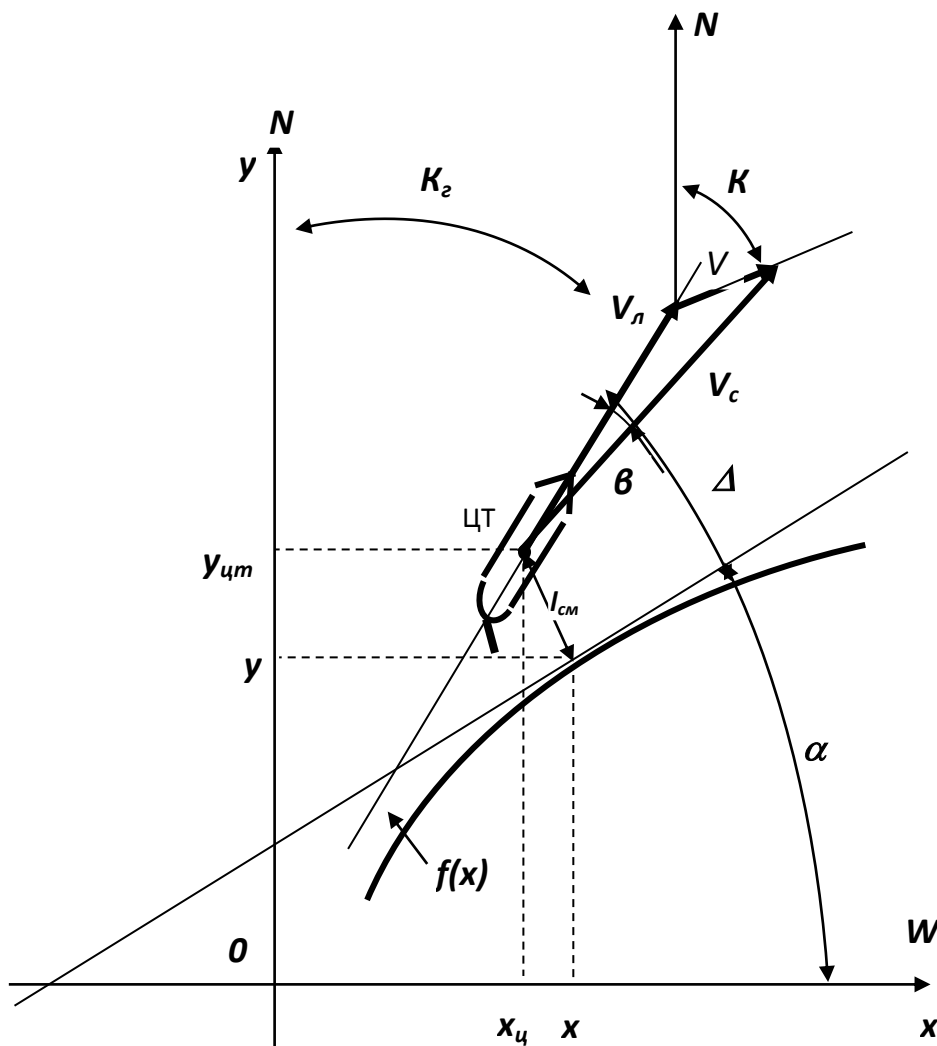


Рис. 1. Геометрические соотношения, возникающие при движении судна по криволинейной траектории
 Fig. 1. Geometric relations arising when the vessel moves along a curved trajectory

На рис.1 обозначены: α – заданное направление судна, которое является касательной к кривой $y=f(x)$, в точке пересечения перпендикуляра, опущенного из центра тяжести судна на кривую, $f(x)$ – заданная траектория движения судна; $\alpha = \arctg f'(x)$; N – направление на север; W – направление на восток; $K_{зк}$ – курс судна по гирокомпасу; K_m – курс течения; $V_{л}$ – скорость судна по лагу; V_c – скорость судна с учетом течения; V_m – скорость течения; $\Delta K_{ГК}$ – курс судна в маршрутной системе координат; $l_{см}$ – смещение судна относительно заданной траектории; $ЦГ$ – центр тяжести судна; $x_{ум}$ – абсцисса центра тяжести судна; $y_{ум}$ – ордината центра тяжести судна; x, y – соответственно абсцисса и ордината точки пересечения нормали, опущенной из центра тяжести судна с заданной траекторией движения судна; β – угол дрейфа.

Представляет интерес моделирование движения судна по заданной траектории в подвижной системе координат, которое определяется выражениями:

$$x_{ум} = x_0 + \int_0^t V_{л} \sin K_{зк} dt + V_T \sin K_T t \quad (4)$$

$$y_{ум} = y_0 + \int_0^t V_{л} \cos K_{зк} dt + V_T \cos K_T t \quad (5)$$

$$K_{зк} = K_{зк0} + \int_0^t \Omega dt \quad (6)$$

где, x_0 – начальное значение абсциссы центра тяжести судна;
 y_0 – начальное значение ординаты центра тяжести судна;
 $K_{зк0}$ – начальное значение истинного курса судна.

Для управления судном по криволинейной траектории необходимо иметь значение бокового смещения судна от заданной траектории $l_{см}$ и отклонение от заданного курса ΔK .

Боковое смещение судна $l_{см}$ определяется как расстояние от центра тяжести судна до точки пересечения нормали, опущенной из центра тяжести судна на заданную траекторию движения [7, 10, 14].

Отклонение от заданного курса ΔK находится как угол между диаметральной плоскостью судна и касательной к точке пересечения нормали, проведенной от центра тяжести судна до пересечения нормали с заданной линией криволинейного движения [9, 12 -13, 18].

Для определения отклонений судна от заданий криволинейной траектории необходимо найти уравнение касательной к точке с координатами x, y (точка пересечения нормали, опущенной из центра тяжести судна на заданную траекторию), которое может быть найдено по формуле [8, 11, 16, 19,]:

$$y_{ум} - y = f'(x)(x_{ум} - x) \quad (7)$$

Из рис. 1 видно, что отклонение судна от заданного курса будет равно:

$$\Delta K = \pi/2 - K_{зк} - \alpha = \pi/2 - K_{зк} - \arctg f'(x) \quad (8)$$

На рис. 2 приведена структурная схема предполагаемой системы управления судном по заданной траектории.

Здесь по заданной траектории, координатам местоположения и курсу судна вычислительное устройство определяет ошибку по курсу и смещению от заданной траектории [15, 17, 19].

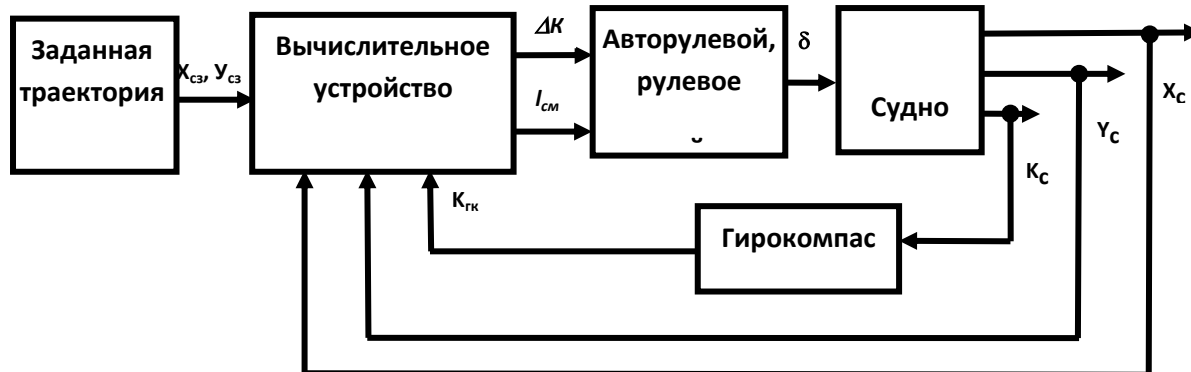


Рис. 2. Система управления судном по заданной криволинейной траектории
 Fig. 2. Ship control system for a given curvilinear trajectory

Исполнительной частью системы автоматического управления судном по заданной траектории является рулевое устройство, которое может быть описано как апериодическое звено первого порядка [2], то есть предполагается, что между управляющим воздействием и управляющим сигналом $U(t)$ существует связь, описываемая выражением:

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{U(t) - \delta}{T} \quad (9)$$

где, T – инерционная постоянная времени, значения которой колеблются в пределах 3÷4 сек. При этом на скорость и величину угла кладки руля налагаются ограничения.

$$|\delta| \leq 35^\circ = 0,61 \text{ рад} \quad (10)$$

$$\left| \frac{d\delta}{dt} \right| \leq 2 \div 4 \text{ рад/с} = 0,035 \div 0,07 \frac{1}{c} \quad (11)$$

Рулевой привод имеет зону нечувствительности, которая обычно равна:

$$\Delta\delta = 0,5 \div 1^\circ$$

Для управления судном по величине бокового смещения и углу отклонения от заданного курса рекомендован следующий закон управления рулём [5]:

$$U(t) = K_1 \Delta K + K_2 \frac{d\Delta K}{dt} + K_3 I_{см} + K_4 \frac{dI_{см}}{dt} \quad (12)$$

На основании принципа суперпозиции, с использованием метода D-разбиения, определены области устойчивости отдельно для курса (на плоскости параметров K_1 и K_2) и бокового смещения судна от заданной траектории (на плоскости параметров K_3 и K_4).

Обсуждение результатов. На основе разработанной математической модели осуществлена ее программная реализация.

В доступной литературе моделирование движения судна на мелководье осуществлено при постоянной заданной глубине акватории. Разработанная модель позволяет задать профиль дна с помощью различных наклонных плоскостей и поверхностей второго порядка. Сравнительный анализ движения судна при ровном дне при одних и тех же условиях, но с разным шагом моделирования показывает, что при меньшем шаге увеличивается точность моделирования.

На рис. 3 скорость движения судна $V=5\text{ м/с}$, шаг моделирования равен $0,04$, но за $160,66$ секунды судно проходит путь, примерно равный 1200 метров, чего не может быть в реальных условиях. Самый большой шаг моделирования, которую может задать программа $h=0.6$.

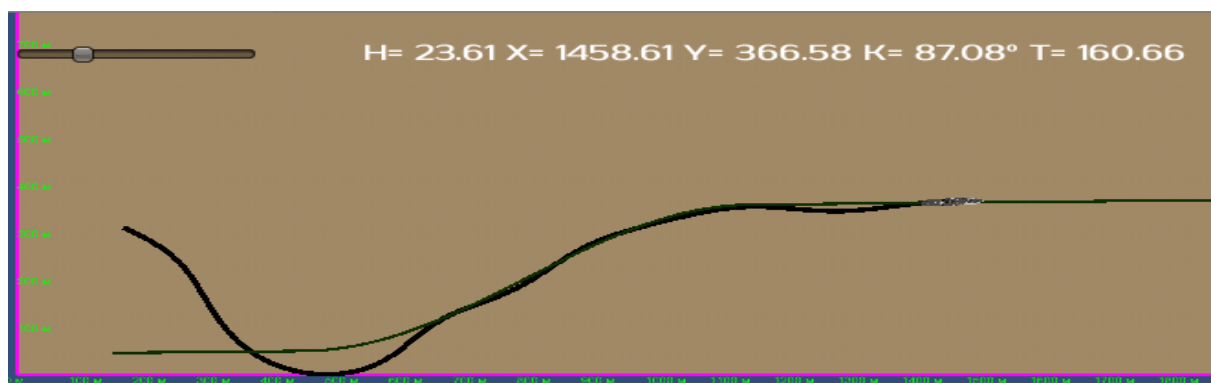
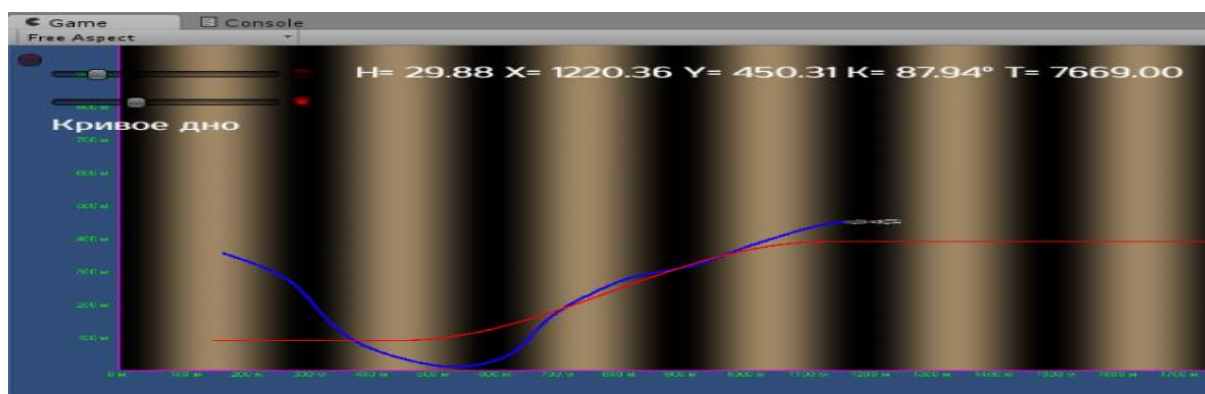
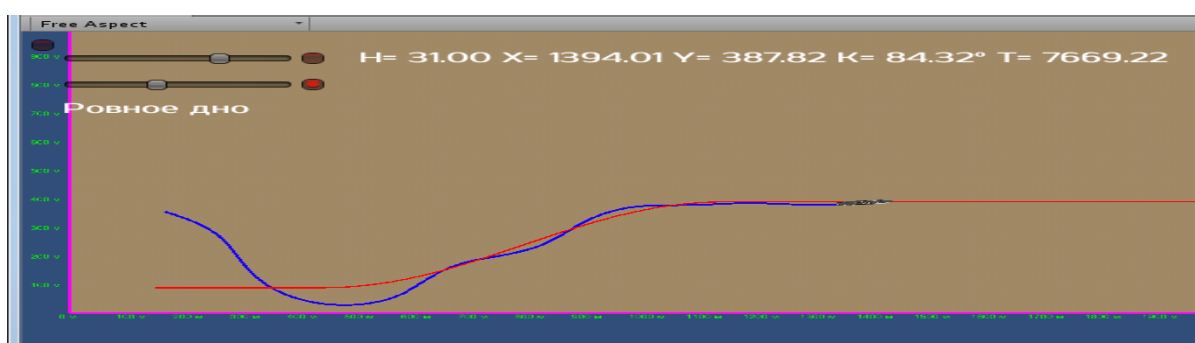


Рис. 3. Движение судна при ровном дне по заданной траектории: $H=23.609\text{ м.}$, $X=166\text{ м.}$, $Y=312\text{ м.}$, $X_T=150\text{ м.}$, $Y_T=195\text{ м.}$, $K=121.74^\circ$, $\delta=31.206^\circ$, $h=0.04$, $V=5\text{ м/с.}$, $K_1=5$, $K_2=400$, $K_3=0.03$, $K_4=-0.003$.

Fig. 3. Vessel's movement at a flat bottom along a given trajectory: $H = 23.609\text{ m.}$, $X = 166\text{ m.}$, $Y = 312\text{ m.}$, $X_T = 150\text{ m.}$, $Y_T = 195\text{ m.}$, $K = 121.74^\circ$, $\delta = 31.206^\circ$, $h = 0.04$, $V = 5\text{ m / s.}$, $K_1 = 5$, $K_2 = 400$, $K_3 = 0.03$, $K_4 = -0.003$.



а) при неровном дне



б) при ровном дне

Рис. 4. Движение судна при ровном дне по заданной траектории: $H=23.609\text{ м.}$, $X=166\text{ м.}$, $Y=312\text{ м.}$, $X_T=150\text{ м.}$, $Y_T=195\text{ м.}$, $K=121.74^\circ$, $\delta=31.206^\circ$, $h=0.04$, $V=5\text{ м/с.}$, $K_1=5$, $K_2=400$, $K_3=0.03$, $K_4=-0.003$.

а) при неровном дне б) при ровном дне

Fig. 4. Movement of the vessel at a flat bottom along a given trajectory: $H = 23.609\text{ m.}$, $X = 166\text{ m.}$, $Y = 312\text{ m.}$, $X_m = 150\text{ m.}$, $Y_m = 195\text{ m.}$, $K = 121.74^\circ$, $\delta = 31.206^\circ$, $h = 0.04$, $V = 5\text{ m / s.}$, $K_1 = 5$, $K_2 = 400$, $K_3 = 0.03$, $K_4 = -0.003$. а) with an uneven bottom б) on an even day

При этом моделирование движения судна осуществляется в течение $106,66$ секунд.

Анализ переходных процессов рисунков 3 и 4а показывает, что качественно они мало отличаются друг от друга. Поэтому для качественной оценки переходных процессов с меньшими затратами машинного времени для моделирования может быть использован шаг $h=0.04$ сек. Однако для количественной оценки переходных процессов использование большого шага моделирования недопустимо.

Анализ рис. 4 показывает, что система является склонной к колебательности, т. е имеет место большая интегральная квадратичная ошибка регулирования.

Из теории управления известно, что для уменьшения ошибки регулирования необходимо увеличить общий коэффициент усиления системы. Изменим коэффициент K_1 при составяющем курса. Вместо $K_1=5$, используем $K_1=10$. Результаты моделирования приведены на рис. 5 (шаг моделирования $h=0,6$) и на рисунке 6 (шаг моделирования $h=0,001$)

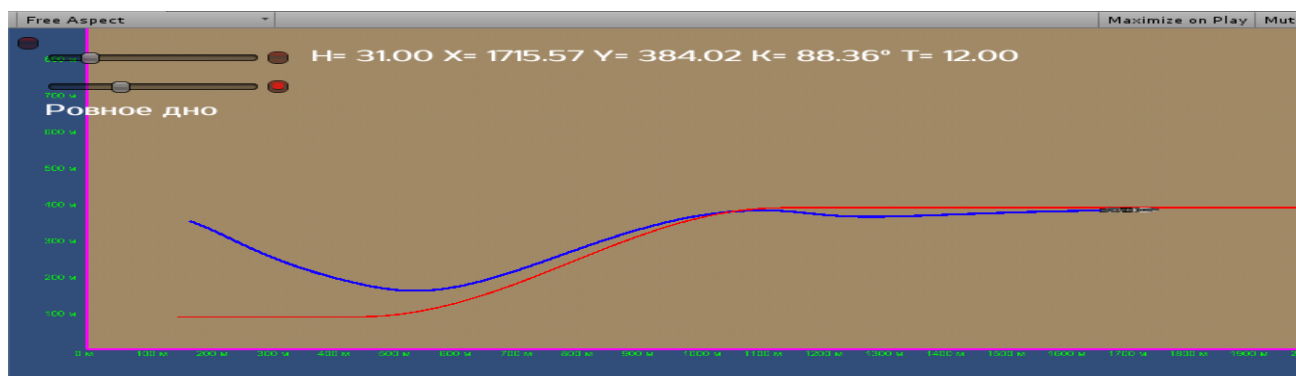


Рис. 5. Движение судна при ровном дне по заданной траектории: $H=31$ м., $X=166$ м., $Y=356$ м., $X_T=150$ м., $Y_T=240$ м., $K=121.74^0$, $\delta=30^0$, $h=0.6$, $V=5$ м/с., при $K_1=10$, $K_2= 400$, $K_3=0,03$, $K_4=-0.003$

Fig. 5. Movement of the vessel at a flat bottom along a specified trajectory: $H = 31$ m, $X = 166$ m, $Y = 356$ m, $X_m = 150$ m, $Y_t = 240$ m, $K = 121.740$, $\delta = 300$, $h = 0.6$, $V = 5$ m / s., With $K_1 = 10$, $K_2 = 400$, $K_3 = 0.03$, $K_4 = -0.003$

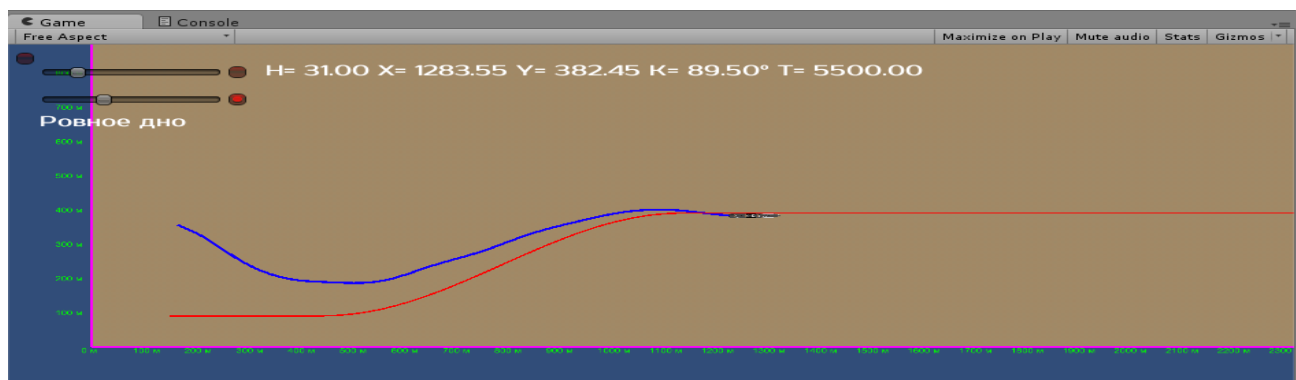


Рис. 6. Движение судна по заданной траектории: $H=31$ м., $X=166$ м., $Y=356$ м., $X_T=150$ м., $Y_T=240$ м., $K=121.740$, $\delta=300$, $h=0.001$, $V=5$ м/с., при $K_1=10$, $K_2= 400$, $K_3=0,03$, $K_4=-0.003$.

Fig. 6. Movement of the vessel along a specified trajectory: $H = 31$ m, $X = 166$ m, $Y = 356$ m, $X_m = 150$ m, $Y_t = 240$ m, $K = 121.740$, $\delta = 300$, $h = 0.001$, $V = 5$ m / s., With $K_1 = 10$, $K_2 = 400$, $K_3 = 0.03$, $K_4 = -0.003$

Как видно из рис. 6, интегральная ошибка и ошибка регулирования, с увеличением коэффициента усиления K_1 значительно уменьшились.

Вывод. Результаты моделирования показывают, что при движении судна на мелководье при переменной глубине по заданной траектории получается большой выброс от заданной траектории по сравнению с движением на глубокой воде, что можно объяснить ухудшением управляемости судна на мелководье. Разработанные модели и алгоритмы позволяют прогнозировать возможность совершения того или иного маневра в заданных условиях плавания, а так же могут быть использованы для разбора судоводительских причин аварии на морском транспорте.

Библиографический список:

1. Гофман А. Д. Теория и расчет поворотливости судов внутреннего плавания / А.Д.Гофман. - Л: Судостроение, 1971. -182 с.
2. Абдуллаева З. М. Математическая модель движения судна по криволинейной траектории / Г. К. Асланов, З. М. Абдуллаева // Молодежь, наука, инновации: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Грозный: ГГНТУ имени М. Д. Миллионщикова, 2013. – С. 27-34.
3. Абдуллаева З.М. Математическая модель движения судна на мелководье / Г.К. Асланов З. М. Абдуллаева// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. -2012. - №27. – С.36-41.
4. Абдуллаева З. М. Влияние мелководья на гидродинамические характеристики корпуса судна / З. М.Абдуллаева // Системные технологии. – Махачкала: МГОУ, 2013. – С.66-72.
5. Асланов, Г. К. Исследование систем автоматического вождения судов по ведущему кабелю: дис. ...канд. тех. наук: 05.22.16 / Асланов Гайдарбек Кадырбекович. - Л.: 1981. - 129с.
6. Асланов, Г.К. Результаты моделирования движения судна на мелководье / Г.К.Асланов, З.М. Абдуллаева, М. Л. Яхьяев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки -2014. - №36. – С.45-53.
7. Admiralty Manual of Navigation. Vol. 1. Revised 1987. Superseding the edition of 1967. London: The Stationery Office; 694 p.
8. Rowe R. W., Captain, FNI. The shiphandler's guide.England: The Nautical Institute; 2000. 172 p.
9. Carlyle J. Plammer Ship handling in narrow channels. Maryland: Cambridge; 1978. 77 p.
10. Clark I. C. Ship Dynamics For Mariners. London Nautical Institute. 2005. 298 p.
11. Fujii Y. Development of Marine Traffic Engineering in Japan. ElectronicNavigation Research Institute Papers. 1979;23:36-43.
12. Fujii Y. Introduction of Marine Traffic Theory. Kaibundo; 1971. 146 p.
13. Fujii Y., Sakaki S. et al. Studies in Marine Traffic Engineering. J. Navig.1971;4:521-552.
14. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship's Domain. J. Navig. 1975; 28(3):122-131.
15. Goodwin E. M., Kemp J. F. A Survey of Marine Traffic in the Southern North Sea. J. Navig. 1977; 30(3):378-387.
16. Navi Trainer 4000. Mathematical Models, Technical Description; Transas Marine. 2003. 104 p.
17. Navi-Trainer Professional 3000. User's manual. Transas Marine, 2000. 329 p.
18. A Guide to Ship Handling.Tokyo: Japan Captains Association; 2009. 187 p.
19. Rejnolds J. Ship's turning characteristics in different water depths. Safetyat SeaInternational. 1976;9.

References:

1. Gofman A.D. Teoriya i raschet povorotlivosti sudov vnutrennego plavaniya. L: Sudostroenie; 1971. 182 s. [Gofman A.D. Theory and calculation of the swivelness of inland navigation ships. L: Sudostroenie; 1971. 182 p. (In Russ.)]
2. Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M. Matematicheskaya model' dvizheniya sudna po krivolineynoy traektorii. Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Molodezh', nauka, innovatsii". Groznyy: GGNTU imeni M. D. Millionshchikova; 2013. S. 27-34. [Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M. Mathematical model of ship motion along a curvilinear trajectory. Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference "Youth, Science, Innovation". Groznyy: GSTOU named after M.D. Millionshchikov; 2013. P. 27-34. (In Russ.)]
3. Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M. Matematicheskaya model' dvizheniya sudna na melkovod'e. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki. 2012;27:36-41. [Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M. Mathematical model of ship movement in shallow water. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2012; 27:36-41. (In Russ.)]
4. Abdullaeva Z.M. Vliyanie melkovod'ya na gidrodinamicheskie kharakteristiki korpusa sudna. Sistemnyye tekhnologii. Makhachkala: MGOU, 2013. S.66-72. [Abdullaeva Z.M. The effect of shallow water on the hydrodynamic characteristics of the ship hull. System technologies. Makhachkala: MSOU, 2013. P.66-72. (In Russ.)]
5. Aslanov G.K. Issledovanie sistem avtomaticheskogo vozhdeniya sudov po vedushchemu kabelyu: Avtoreferatdissertatsiinasoiskanieuchenoystepenicand. tekhn. nauk: 05.22.16. L.: 1981. 129p. [Aslanov

- G.K. The study of systems of automatic driving of vessels on the leading cable: Published summary of Candidate of Technical Sciences thesis: 05.22.16. L.: 1981. 129 p. (In Russ.)]
6. Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M., Yakh'yaev M. L. Rezul'taty modelirovaniya dvizheniya sudna na melkovod'e. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2014;36: 45-53. [Aslanov G.K., Abdullaeva Z.M., Yakh'yaev M. L. Results of simulation of ship movement in shallow water. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2014;36: 45-53. (In Russ.)]
 7. Admiralty Manual of Navigation. Vol. 1. Revised 1987. Superseding the edition of 1967. London: The Stationery Office; 694 p.
 8. Rowe R. W., Captain, FNI. The shiphandler's guide. England: The Nautical Institute; 2000. 172 p.
 9. Carlyle J. Plammer Ship handling in narrow channels. Maryland: Cambridge; 1978. 77 p.
 10. Clark I. C. Ship Dynamics For Mariners. London Nautical Institute. 2005. 298 p.
 11. Fujii Y. Development of Marine Traffic Engineering in Japan. Electronic Navigation Research Institute Papers. 1979;23:36-43.
 12. Fujii Y. Introduction of Marine Traffic Theory. Kaibundo; 1971. 146 p.
 13. Fujii Y., Sakaki S. et al. Studies in Marine Traffic Engineering. J. Navig. 1971;4:521-552.
 14. Goodwin E. M. A Statistical Study of Ship's Domain. J. Navig. 1975;28(3):122-131.
 15. Goodwin E. M., Kemp J. F. A Survey of Marine Traffic in the Southern North Sea. J. Navig. 1977; 30(3):378-387.
 16. Navi Trainer 4000. Mathematical Models, Technical Description; Transas Marine. 2003. 104 p.
 17. Navi-Trainer Professional 3000. User's manual. Transas Marine, 2000. 329 p.
 18. A Guide to Ship Handling. Tokyo: Japan Captains Association; 2009. 187 p.
 19. Reynolds J. Ship's turning characteristics in different water depths. Safety at Sea International. 1976; 9.

Сведения об авторе

Абдуллаева Залина Мусаевна – аспирант.

Information about the author.

Zalina M. Abdullaeva – Post-graduate student

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 31.06.2017.

Принята в печать 10.09.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 31.06.2017.

Accepted for publication 10.09.2017.

Для цитирования: Васева Е.С., Кашин С.В. Автоматизация учета номерных деталей и узлов на производственном предприятии. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):103-111. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-103-111

For citation: Vaseva E.S., Kashin S.V. Automation of accounting the numeric parts and units at manufacturing enterprises. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;44 (3):103-111. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-103-111

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.91

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-103-111

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА НОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Васева Е.С.¹, Кашин С.В.²

¹Нижнетагильский государственный социально-педагогический институт,
(филиал Российского государственного профессионально-педагогического
университета),

¹622031, Нижний Тагил, Красногвардейская улица, 57, Россия,

²АО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод»,

²622007, Нижний Тагил, Восточное шоссе, 28, Россия,

¹e-mail:e-s-vaseva@mail.ru; ²e-mail:kashin.sergey.val21@yandex.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является обоснование необходимости и раскрытие технологических особенностей проектирования и разработки информационной системы учета номерных деталей и узлов на производственном предприятии. **Метод.** Case-технологии, объектно-ориентированное программирование. **Результат.** Описан механизм разработки информационной системы учета номерных деталей и узлов на производственном предприятии. Проведен анализ предметной области, сформулированы требования, предъявляемые к информационной системе. Выделены два бизнес-процесса, связанные с деятельностью инженера по подготовке производства; раскрыта сущность и типы данных атрибутов. С помощью case-средства DBdesigner 4 построена схема данных, сгенерирован код – сценарий создания базы данных на языке SQL. База данных реализована на MySQL. Спроектирован web-интерфейс информационной системы: схема работы сайта, диаграмма последовательностей действий, логическая структура сайта, макет сайта. Полученная схема данных была реализована в СУБД MySQL. Web-интерфейс системы разработан при помощи объектно-ориентированного программирования. Web-интерфейс разработан с помощью текстового редактора Notepad++. Web-интерфейс позволяет обеспечить многопользовательский режим работы с информационной системой. Произведено разделение базовых и сводных данных по разным вкладкам для упрощения работы персонала, и минимизации человеческого фактора, связанного с обработкой разнородных данных. Определены требования, которым должна удовлетворять разрабатываемая информационная система. Все используемое в процессе разработки программное обеспечение является свободным. **Вывод.** Произведен подбор программных средств разработки системы учета номерных деталей и узлов производственного предприятия, позволяющих произвести концептуальное, логическое и физическое проектирование базы данных, и разработать web-интерфейс. Реализованы все этапы создания информационной системы.

Ключевые слова: информационная система, база данных, проектирование, бизнес-процесс, web-интерфейс

TECHNICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

AUTOMATION OF ACCOUNTING THE NUMERIC PARTS AND UNITS AT
MANUFACTURING ENTERPRISES

Elena S. Vaseva¹, Sergey V. Kashin²

¹Nizhny Tagil State Social Pedagogical Institute
(Affiliated Branch of Russian State Vocational Pedagogical University),

¹57 Krasnogvardeyskaya Str., Nizhny Tagil 622031, Russia,

²JSC «Scientific and Production Corporation «Uralvagonzavod»,

²28 East highway, Nizhny Tagil 622007, Russia,

¹e-mail: e-s-vaseva@mail.ru, ²e-mail: kashin.sergey.val21@yandex.ru

Abstract Objectives. The substantiation of the need and disclosure of the substantive and technological features of the design and development of an information system for the registration of numeric parts and units at a manufacturing enterprise. **Methods.** Case-technology, object-oriented programming. **Results.** The development mechanism of an information system for registering numeric parts and units at a manufacturing enterprise is described. The development process begins with an analysis of the subject area, wherein the requirements for the information system are defined. Two business processes related to the activity of the production preparation engineer are identified and the entities and types of these attributes are indicated. Using the case-tool DBdesigner 4, a data scheme is constructed and code is generated for scripts used to create a database in the SQL language. The database is implemented on MySQL. The web-interface of the information system is designed: website scheme, action sequence diagram, website logical structure and layout. The resulting data scheme is implemented within MySQL data base management system (DBMS) and a web-based system interface developed using object-oriented programming using Notepad ++ text editor. The web-interface allows a multi-user working mode to be provided with the information system. The separation of basic and summary data among different tabs is performed in order to simplify the work of personnel and minimize the human factor associated with the processing of disparate data. The requirements to be met by the developed information system are defined. All software used in the development process is free. **Conclusion.** The selection of software tools for the development of a system for accounting of numeric parts and units at a manufacturing enterprise is implemented, allowing the conceptual, logical and physical design of a database – as well as its web interface – to be developed. All stages for creating an information system were realised.

Keywords: information system, database, design, business process, web-interface

Введение. Оптимизация затрат времени и упрощение процесса обработки информации способствуют совершенствованию организации деятельности любого предприятия. Хранение, передачу информации, удобство ее представления может обеспечить информационная система. Наличие информационной системы в отличие от работы с бумажным документооборотом позволяет уменьшить время поиска документов в архиве, сократить сроки подготовки и согласования документов; создает возможность работать с одним и тем же документом сразу нескольким пользователям; снижает трудоемкость процесса формирования сводных отчетов и журналов.

Постановка задачи. На примере одного из структурных подразделений производственного предприятия был проведен аудит предметной области, который показал, что подразделение имеет достаточный уровень готовности к планированию развития информационных технологий и нуждается в автоматизации рабочего места инженера по подготовке производства участка материально-технического обеспечения. Однако, в силу несоответствия готовых программных продуктов поставленным задачам перед информационными системами, требованиями, предъявляемым к аппаратному обеспечению, использование таковых часто не представля-

ется возможным. Решением данной проблемы является разработка собственной информационной системы, которая может быть использована для реализации учета номерных деталей и узлов.

Методы исследования. Чаще всего исследования в данной области основываются на методологии, применяемой для моделирования бизнес-процессов [1-2]: функционально-ориентированная и объектно-ориентированная методологии. Для описания предметной области была применена методология функционального проектирования, которая рассматривает организацию работы как набор функций, преобразующих поступающий поток информации в выходной поток (диаграмма SADT или DFD) [3-4]. Как известно, методология SADT в настоящее время составляет основу многих современных методологий моделирования бизнес-процессов [5].

Для инфологического проектирования выбран подход «сущность-связь», так как он является комбинацией двух других подходов – предметного и функционального, содержит их достоинства и устраняет большинство недостатков [6].

Логическая модель была построена с помощью CASE-технологий. CASE-технология представляет собой методологию проектирования информационных систем, а также набор инструментальных средств, позволяющих в наглядной форме моделировать предметную область (бизнес-процесс), анализировать эту модель на всех этапах разработки и сопровождения ИС и разрабатывать приложения в соответствии с информационными потребностями пользователей [7-8]. Полученная схема данных была реализована в СУБД MySQL/. Web-интерфейс системы разработан на основе объектно-ориентированного программирования

Обсуждение результатов. Необходимым начальным этапом разработки любой информационной системы является анализ предметной области [9]. Рассмотрим функции инженера по подготовке производства, связанные с учетом номерных деталей и узлов.

1. Согласно первичным документам, на получение и отпуск материалов, вносит данные в ведомость номерного учета сборочных узлов и деталей.

2. Отслеживание движения узлов и деталей согласно соответствующим документам: акт приема-передачи технического имущества, товарная накладная. Внесение всех изменений в ведомость номерного учета сборочных узлов и деталей.

3. Согласно актам удовлетворения претензии и актам-рекламациям проводит подготовку акта на списание с подотчета деталей и узлов.

При внесении данных инженеру по подготовке производства необходимо вводить такую информацию, как:

1. Данные об узлах и деталях: номенклатурный номер; наименование; заводской номер; единица измерения; год выпуска; год ремонта (перепроверки); поставщик.

2. Данные о месте хранения узлов и деталей: наименование склада; ответственное лицо.

3. Вид документов, согласно которым происходит движение узлов и деталей: название документа; дата проводки документа; название деталей; номенклатура; единица измерения; количество.

Ввод вышеперечисленных данных занимает много времени. Устранить это возможно с помощью внедрения автоматизированной информационной системы учёта движения номерных деталей и узлов.

Разрабатываемая информационная система должна удовлетворять следующим основным требованиям.

1. Поиск данных о узлах и деталях по заводскому номеру, номенклатуре и наименованию.

2. Поиск данных о хранении имущества на том или ином складе.

3. Поиск данных числящегося имущества за ответственным лицом.

4. Возможность добавления, удаления и редактирования данных.

5. Обеспечение безопасности хранения данных.

6. Обеспечение многопользовательского режима работы.

Проанализировав деятельность участка материального обеспечения, и проведя пред-

проектное исследование, можно выделить два основных бизнес-процесса: принятие документов и оформление документов (рис. 1).

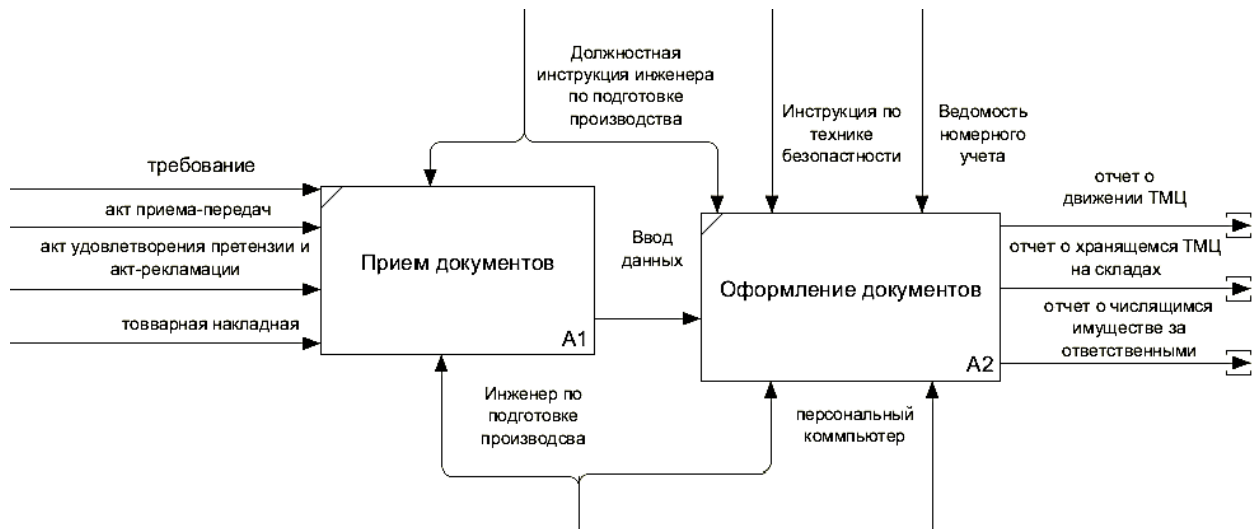


Рис. 1. Детальное рассмотрение механизма работы инженера по подготовке производства
Fig.1. Detailed consideration of the mechanism of the engineer for production preparation

В результате можно сделать вывод, что необходимо выделить две сущности: Номенклатура (деталь или узел, состоящий на учете), Движение (требование на получение/выдачу ТМЦ, акт приема, акт передачи, накладная, акт списания). Сущность (объектное множество, таблица) – абстракция реального или виртуального объекта, процесса, явления, о котором необходимо собирать и хранить информацию [10]. База данных по учету номерных деталей и узлов может быть дополнена справочниками.

В качестве Case-средства проектирования был выбран Dbdesigner 4, так как сочетает в себе простой интерфейс с полным набором опций, которые позволяют проектировать, моделировать, создавать и поддерживать базы данных [11]. В Dbdesigner 4 была построена схема данных, указаны связи между сущностями и типы данных атрибутов (рис. 2).

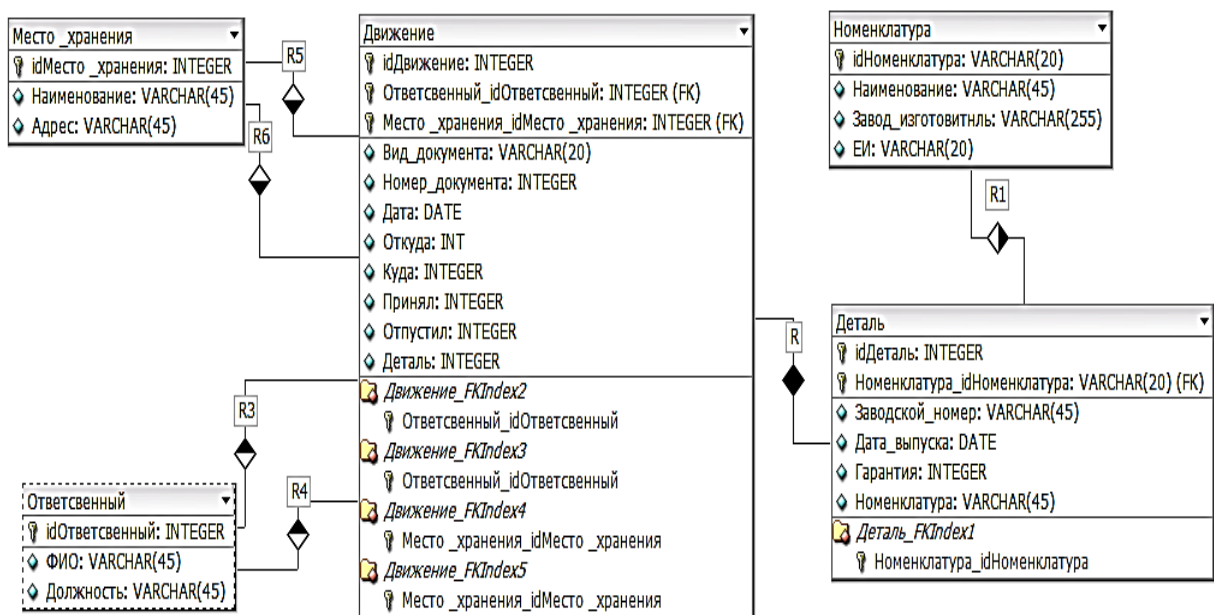


Рис. 2. Схема данных в Dbdesigner 4
Fig.2. Data schema in Dbdesigner 4

По данной схеме данных в среде Dbdesigner 4 был автоматически сгенерирован листинг кода – сценарий создания базы данных на языке SQL, для реализации базы данных выбран MySQL [12-13]. MySQL – это одна из самых распространенных полноценных серверных СУБД.

MySQL очень функциональная, свободно распространяемая СУБД, которая успешно работает с различными сайтами и Web - приложениями [14-16].

В результате выполнения кода была получена схема данных (рис. 3).

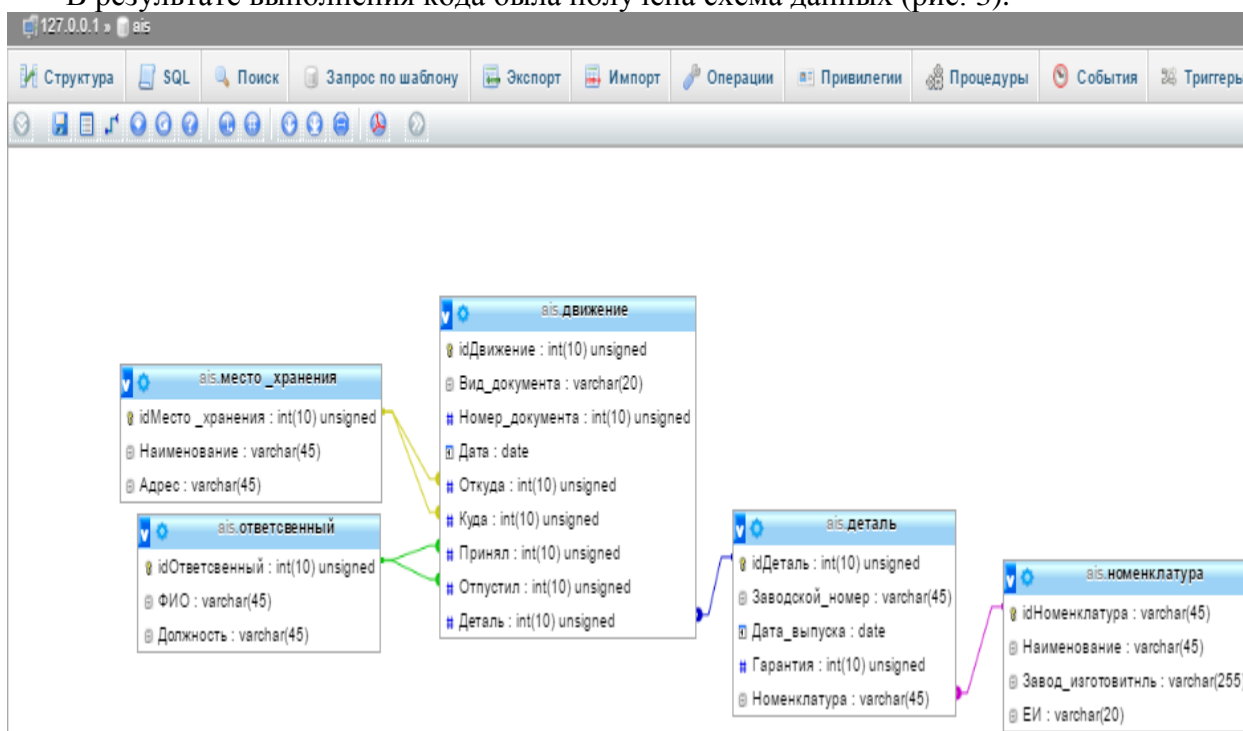


Рис. 3. Схема данных
Fig.3. Data schema

Для разработки Web-интерфейса системы был выбран текстовый редактор Notepad++, который является свободным с открытым исходным кодом для Windows с подсветкой синтаксиса большого количества языков программирования и разметки [17-18].

Web-интерфейс разработан при помощи объектно-ориентированного программирования и имеет схему представленную на рис. 4.

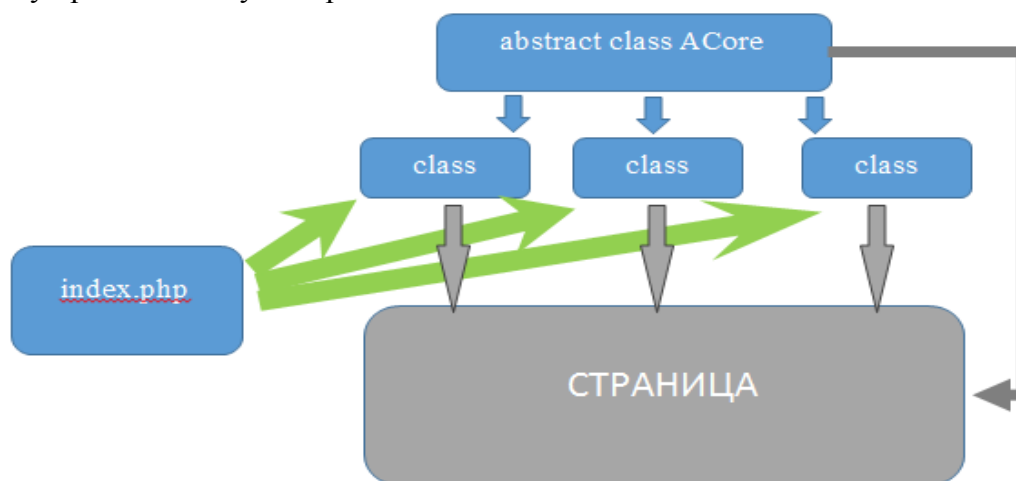


Рис. 4. Схема работы web-интерфейса
Fig. 4. The scheme of the web-interface

Диаграмма последовательности действий web-интерфейса приведена на рис.5. Диаграмма последовательностей отображает взаимодействие объектов в динамике. В UML взаимодействии объектов понимается как обмен информацией между ними [19].

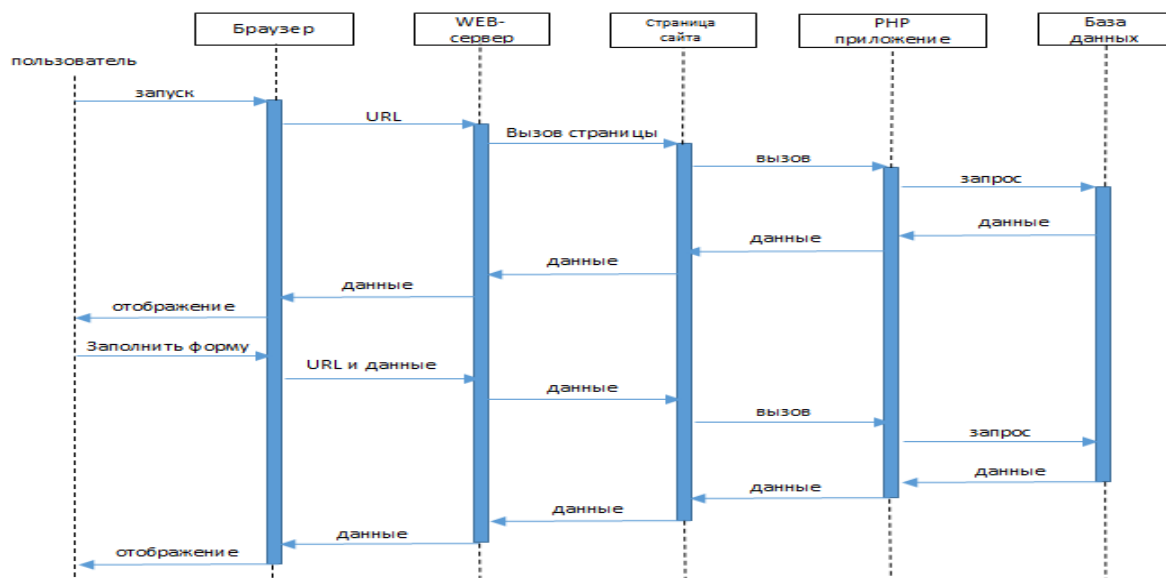


Рис. 5. Диаграмма последовательности действий web-сайта
 Fig. 5. Diagram of the sequence of actions of the website

Логическая структура Web-интерфейса относится к типу «Простая иерархия» [20].

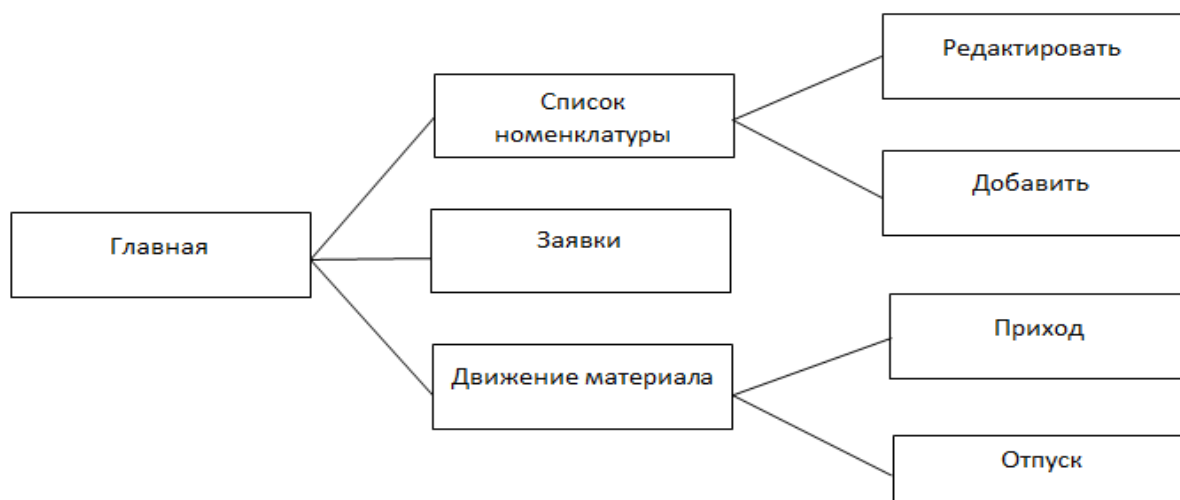


Рис. 6. Логическая структура сайта
 Fig. 6. Logical structure of the site

Создаем макет web-интерфейса (рис.7).

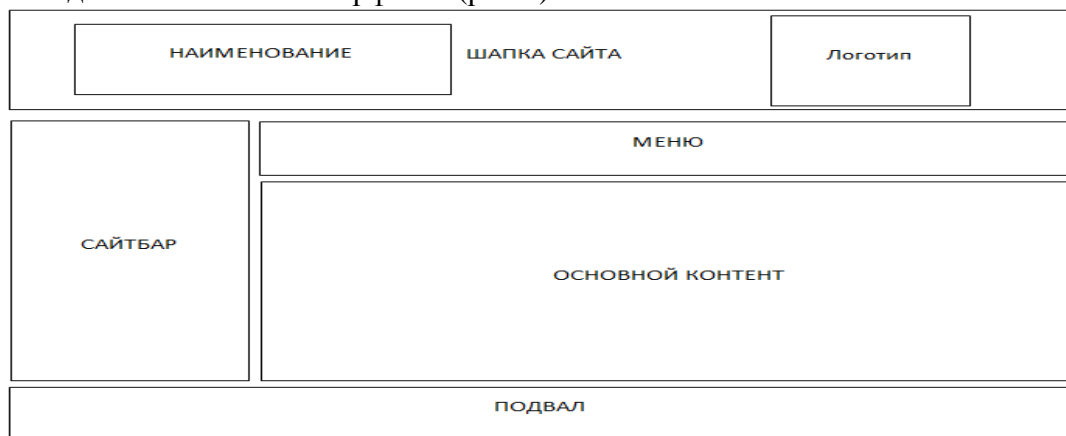


Рис. 7. Макет web-интерфейса
 Fig. 7. Web-interface layout

Построение страницы основных блоков (шапка, сайтбар, подвал) происходит при помощи файла *ACore.php*, а контент подключается при помощи классов. Создаем формы для работы с базой данных, которые будут подгружаться в блоке контент путем подключения соответствующих классов.

На рис. 8 представлена основная форма для работы с базой данных – движение материала.

Раздел админа

- « Приложение 1
- « Приложение 2
- « Приложение 3

Июнь • 2017

ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	ВС
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	1	2

Выход

ГЛАВНАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПОСМОТРЕТЬ ЗАЯВКИ ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА

Поступление имущества

Документ	№	Дата
<input type="text" value="введите документ"/>	<input type="text" value="номер"/>	<input type="text" value="дд.мм.гггг"/>
Откуда	Сдал	
<input type="text" value="Выберите значение"/>	<input type="text" value="Выберите значение"/>	
Куда	Принял	
<input type="text" value="Выберите значение"/>	<input type="text" value="Выберите значение"/>	
Номенклатурный номер	Наименование	Единица измерения
<input type="text" value="Выберите значение"/>	<input type="text" value="Выберите значение"/>	<input type="text" value="Выберите значение"/>

добавить заводской номер

Рис. 8. Форма «Движения материала»

Fig.8. The form of "Goods Movement"

Аналогичным образом созданы остальные страницы, на которых будут располагаться формы для ввода данных, или же страницы просмотра этих данных.

Разделы

- « Приложение 1
- « Приложение 2
- « Приложение 3

Июнь • 2017

ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	ВС
29	30	31	1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	1	2

Войти

ГЛАВНАЯ ПЕРЕЧЕНЬ СОЗДАТЬ ЗАЯВКУ

Поиск

№	п/п	Номенклатурный номер	Наименование	Ед.изм.	Завод	изготовитель
1		7107143	Прибор наблюдения "Catherine"	ШТ.	НПК	"Фотоприбор"
2		7108064	Электромагнитный усилитель ЭМУ-12ГМБ	ШТ.	НПК	"Электромагнит"
3		7108069	Нагнетатель 434.87.003сб	ШТ.	ОАО	"ЧТЗ"
4		7108061	Пульт управления К902	ШТ.	НПК	"Электромагнит"
5		7108150	2Э42-4 система	КМП.	НПК	"Красногорсктрансмаш"

1 2 3

Рис. 9. Форма поиска по номенклатуре

Fig. 9. Search form for the nomenclature

Вывод. В результате была спроектирована и реализована база данных, которая стала частью информационной системы. Спроектирован Web-интерфейс системы, который обеспечивает быстрый и интуитивно-понятный доступ ко всем данным, их внесение, изменение, сортировку и поиск. Произведено разделение базовых и сводных данных по разным вкладкам для упрощения работы персонала, и минимизации трудоемкости, связанной с обработкой разнородных данных.

Проделанная работа позволяет продемонстрировать возможность разработки информационной системы с Web-интерфейсом для автоматизации учета номерных деталей и узлов с использованием только свободного программного обеспечения.

Библиографический список:

1. David T. Bourgeois. Information Systems for Business and Beyond. – 2014. 167 p.
2. Ovidiu S. Noran. Businessmodelling: UML vs IDEF [Электронный ресурс] URL: http://www.academia.edu/22201964/UML_vs_IDEF_An_OntologyOriented_Comparative_Study_in_View_of_Business_Modelling (Дата обращения: 15.10.2017).
3. Вейцман В.М. Проектирование информационных систем / В.М. Вейцман. – Ярославль: Образовательная организация высшего образования «Международная академия бизнеса и новых технологий (МУБиНТ)», 2017. – 274 с.
4. Черемных С.В. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 192 с.
5. Статистика абизнес-процессов компании Cityconsultinggroup. [Электронный ресурс] URL: <http://www.citycg.ru/services/business-process/metody-opisanija-processov> (Дата обращения: 15.10.2017).
6. Фролова Т.П. Проектирование экономических информационных систем / Т.П. Фролова. – М.: Приоритет, 2009. – 310 с.
7. Зубрилина Т.В., Юрьев В.Н. Базы данных. Проектирование реляционных баз и хранилищ данных с использованием CASE-технологий: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2007. – 44с.
8. Голицина О. Л., Максимов Н. В. Базы данных. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2008. – 400 с.
9. Гвоздева Т. Проектирование информационных систем. – М.: Феникс, 2009. – 150 с.
10. Проектирование баз данных. [Электронный ресурс]. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1397350> (Дата обращения: 15.10.2017).
11. Db Designer.net Terms of Service [Электронный ресурс]. URL: <https://dbdesigner.net/terms-of-service> (Дата обращения: 15.10.2017).
12. Мартишин С.А., Симонов В.Л., Храпченко М.В. Проектирование и реализация баз данных в СУБД MySQL с использованием MySQL Workbench. – М.: Форум, 2012. – 160 с.
13. Цвелой В.А. Разработка баз данных в среде MySQL. / В.А. Цвелой. – Омск: АНО ВПО «Омский экономический институт», 2012. – 132 с.
14. Oracle. Legal Notices [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oracle.com/legal/terms.html> (Дата обращения: 15.10.2017).
15. Paul DuBois. MySQL. Addison-Wesley Professional, 2008. – 1326 p.
16. Статистические данные использования реляционных систем. [Электронный ресурс] URL: <http://tagline.ru/database-management-systems-rating/> (дата обращения: 15.10.2017).
17. Notepad++ Home. [Электронный ресурс]. URL: <https://notepad-plus-plus.org> (Дата обращения: 15.10.2017).
18. Прохоренок Н., Дронов В. HTML, javascript, PHP и MySQL. Джентльменский набор Web-мастера. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 766 с.
19. Буч Г. UML: Руководство пользователя. – М.: ДМК, 2008. – 356 с.
20. Байрон А., Берри Э., Хог Н., Игон Дж., Уокер Дж., Роббинс Дж. Drupal: Создание и управление сайтом. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 576 с.

References:

1. Bourgeois D.T. Information Systems for Business and Beyond. 2014. 167 p.
2. Noran O.S. Businessmodelling: UML vs IDEF [Electronic resource] URL: http://www.academia.edu/22201964/UML_vs_IDEF_An_OntologyOriented_Comparative_Study_in_View_of_Business_Modelling (Access date: 15.10.2017).
3. Veytsman V.M. Proektirovanie informatsionnykh sistem. Yaroslavl': Obrazovatel'naya organizatsiya vysshego obrazovaniya «Mezhdunarodnaya akademiya biznesa i novykh tekhnologiy (MUBiNT)»; 2017. 274 s. [Veytsman V.M. Designing of information systems. Yaroslavl: Educational Organization of Higher Education "International Academy of Business and New Technologies (MUBiNT)"; 2017. 274 p. (In Russ.)]
4. Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. Modelirovanie i analiz sistem. IDEF-tekhnologii: praktikum. M.: Finansy i statistika; 2006. 192 s. [Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. Modeling and analysis of systems. IDEF-technology: workshop. M.: Finansy i statistika; 2006. 192 p. (In Russ.)]
5. Statistika biznes-protsessov kompanii City consulting group [Elektronnyy resurs] URL: <http://www.citycg.ru/services/business-process/metody-opisanija-processov> (Data obrashcheniya: 15.10.2017). [Statistics of the business processes of City consulting group [Electronic resource] URL: <http://www.citycg.ru/services/business-process/metody-opisanija-processov> (Access date: 15.10.2017). (In Russ.)]
6. Frolova T.P. Proektirovanie ekonomicheskikh informatsionnykh sistem. M.: Prioritet; 2009. 310 s. [Frolova T.P. Designing of economic information systems. M.: Prioritet; 2009. 310 p. (In Russ.)]
7. Zubrilina T.V., Yur'ev V.N. Bazy dannykh. Proektirovanie relyatsionnykh baz i khranilishch dannykh s ispol'zovaniem CASE-tekhnologiy: Ucheb.posobie. SPb.: Izd-vo Politekhicheskogo universiteta; 2007. 44 s. [Zubrilina T.V., Yur'ev V.N. Database. Designing relation databases and data repository using CASE-technologies: A Tutorial. SPb.: Publishing house of the Polytechnic University; 2007. 44 p. (In Russ.)]
8. Golitsina O.L., Maksimov N.V. Bazy dannykh. M.: FORUM: INFRA-M; 2008. 400 s. [Golitsina O.L., Maksimov N.V. Databases. M.: FORUM: INFRA-M; 2008. 400 p. (In Russ.)]

9. Gvozdeva T. Proektirovanie informatsionnykh sistem. M.: Feniks; 2009. 150 s. [Gvozdeva T. Designing information systems. M.: Feniks; 2009. 150 p. (In Russ.)]
10. Proektirovanie baz dannykh. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1397350> (Data obrashcheniya: 15.10.2017) [Proektirovanie baz dannykh. [Electronic resource]. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1397350> (access date: 15.10.2017) (In Russ.)]
11. DbDesigner.netTermsofService [Electronic resource]URL: <https://dbdesigner.net/terms-of-service> (access date:15.10.2017).
12. Martishin S.A., Simonov V.L., Khrapchenko M.V. Proektirovanie i realizatsiya baz dannykh v SUBD MySQL s ispol'zovaniem MySQL Workbench. M.: Forum; 2012. 160 s. [Martishin S.A., Simonov V.L., Khrapchenko M.V. Designing and implementing databases in the MySQL database using MySQL Workbench. M.: Forum; 2012. 160 p. (In Russ.)]
13. Tsveloy V.A. Razrabotka baz dannykh v srede MySQL. Omsk: "Omskiy ekonomicheskiy institut"; 2012. 132 s. [Tsveloy V.A. Development of databases in the MySQL environment. Omsk: Omsk Economic Institute; 2012. 132 p. (In Russ.)]
14. Oracle. LegalNotices [Electronic resource].URL:<https://www.oracle.com/legal/terms.html> (access date:15.10.2017).
15. DuBoisP. MySQL. Addison-Wesley Professional; 2008. 1326 p.
16. Statisticheskie dannye ispol'zovaniya relyatsionnykh sistem [Elektronnyyresurs] URL: <http://tagline.ru/database-management-systems-rating> (Dataobrashcheniya: 15.10.2017). [16. Statistical data on the use of relational systems [Electronic resource] URL: <http://tagline.ru/database-management-systems-rating> (access date: 15.10.2017). (In Russ.)]
17. Notepad++ Home. [Electronic resource]. URL: <https://notepad-plus-plus.org> (access date: 15.10.2017).
18. Prokhorenok N., Dronov V. HTML, javascript, PHPиMySQL. Dzhentl'menskiy naborWeb-mastera. SPb.: BHV-Peterburg; 2015. 766 s. [Prokhorenok N., Dronov V. HTML, javascript, PHPиMySQL. Gentlemen's set of a Web-master. SPb.: BHV-Peterburg; 2015. 766 p. (In Russ.)]
19. Buch G. UML: Rukovodstvo pol'zovatelya. M.: DMK; 2008. 356 s. [Buch G. UML: User's Guide. M.: DMK; 2008. 356 p. (In Russ.)]
20. Bayron A., Berri E., Khog N., Iton Dzh., Uoker Dzh., Robbins Dzh. Drupal: Sozdanie i upravlenie saytom. SPb.: Simvol-Plyus; 2010. 576 s. [BayronA., BerriE., KhogN., ItonDzh., UokerDzh., RobbinsDzh. Drupal: Creation and management of the site. St. Petersburg: Simvol-Plyus; 2010. 576 p. (In Russ.)]

Сведения об авторах.

Васева Елена Сергеевна – кандидат педагогических наук, доцент, кафедра информационных технологий.

Кашин Сергей Валерьевич – инженер-технолог, АО «Научно-производственная кооперация «Уралвагонзавод», управление сопровождения жизненного цикла выпускаемой продукции.

Information about the authors:

Elena S. Vaseva – Cand. Sci. (Pedagogical), Assoc.Prof., Department of Information Technologies.

Sergey V. Kashin – Technological Engineer, Scientific and Production Corporation «Uralvagonzavod», the Office for Support of Products Life Cycle.

Конфликт интересов.

Авторы заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.08.2017.

Принята в печать 26.09.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.08.2017.

Accepted for publication 26.09.2017.

Для цитирования: Ветров А.Н. Блок параметрических когнитивных моделей для системного анализа эффективности обмена информацией в адаптивной среде автоматизированного обучения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44(3):112-125. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-112-125

For citation: Vetrov A.N. Block of parametric cognitive models for system analysis of informational exchange efficiency in an adaptive automated training environment. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44(3):112-125. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-112-125

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.81+308.8+519.688

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-112-125

**БЛОК ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ
В АДАПТИВНОЙ СРЕДЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ**

Ветров А.Н.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, Россия,
Международный банковский институт,
191023, г. Санкт-Петербург, Невский пр., д. 60, Россия,
e-mail: vetrovan@nwgsm.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. *Результат.* Обоснована необходимость системного анализа и повышения эффективности информационного взаимодействия между разнородными субъектами и средствами сложного технологического процесса автоматизированного формирования дистанционных знаний. Установлено, что инновационный блок параметрических когнитивных моделей является информационной основой системного анализа, содержит когнитивные модели субъекта обучения и средства обучения, каждая из которых выступает сложным репертуаром параметров (показателей), эшелонированным на ряд портретов и стратифицированным на несколько независимых множеств, расположенных на двух различных уровнях выделенной иерархии. При формализации структуры параметрической когнитивной модели применяется ряд инновационных способов представления ее структуры (моделей (метаданных): математическое исчисление с использованием кортежей на доменах (аналитическое), ориентированный граф, сочетающий теорию математических множеств (графическое) и (иерархическая) многоуровневая структурная схема. Предложенный алгоритм входит в основу разработанного автором аппарата технологии когнитивного моделирования и обеспечивает формализацию итеративной последовательности упорядоченных этапов, формирующих структуры параметрической когнитивных моделей. *Вывод.* Системный анализ информационно-образовательных сред инициирует необходимость учета широкого спектра фундаментальных и прикладных направлений современной науки, а также обуславливает необходимость использования инновационного аппарата исследования. Когнитивная модель субъекта обучения позволяет характеризовать особенности первичного сенсорного восприятия, обработки, понимания содержания и последовательности разнородных информационных фрагментов на национальном или иностранном языке, которые отражают содержание конкретной дисциплины.

Ключевые слова: информационно-образовательная среда, когнитивная модель, система автоматизированного обучения, технология когнитивного моделирования

TECHNICAL SCIENCES
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

**BLOCK OF PARAMETRIC COGNITIVE MODELS FOR SYSTEM ANALYSIS
OF INFORMATIONAL EXCHANGE EFFICIENCY IN AN ADAPTIVE AUTOMATED
TRAINING ENVIRONMENT**

Anatoly N. Vetrov

*Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»,
5 Professora Popova Str., Saint Petersburg 197376, Russia,
International Banking Institute,
60 Nevsky Ave., Saint Petersburg 191023, Russia,
e-mail: vetrovan@nwgsm.ru*

Введение. Процессы информатизации разных предметных областей (проблемных сфер), протекающие в условиях глобализации информационной среды и потребления информации, оказывают существенное влияние на создание, внедрение и использование информационных ресурсов, продуктов и услуг, а современный уровень развития информационных и коммуникационных технологий позволяют осуществить программную реализацию адаптивных систем и средств обучения нового поколения [1-14].

Традиционные модели и технологии в основе автоматизированных информационных сред разнородных образовательных учреждений (учебных центров) теряют свою актуальность (линейная, линейная разветвленная и линейная разветвленная многоуровневая) [1-14] и непосредственно инициируют появление инновационных (на основе информационных технологий): адаптивная – обуславливает создание, внедрение и использование контуров адаптации и параметрических (когнитивных) моделей для обеспечения учета различных факторов (параметров) и индивидуально-ориентированная – реализует потенциальную возможность учета и исследования физиологических, психологических, лингвистических и прочих особенностей личности обучаемых [2-4].

Возникает существенная необходимость системного анализа и повышения эффективности информационного взаимодействия между разнородными субъектами и разными средствами сложного технологического процесса автоматизированного формирования знаний (на расстоянии) [12-15] посредством создания адаптивных средств и сред обучения с использованием аппарата когнитивной информатики (теории информации) (Ветров А.Н., Солсо Р. и др.), частной физиологии сенсорных систем (анализаторов) (Кроль В.М., Измайлов Ч.А. и др.), когнитивной психологии (Дружинин В.Н., Холодная М.А. и др.) и лингвистики (Гик М.Л. и др.).

Постановка задачи. Целью научного исследования является повышение эффективности функционирования информационно-образовательной среды системы автоматизированного (дистанционного) обучения за счет реализации индивидуально ориентированного формирования знаний обучаемого с использованием адаптивной генерации разнородных образовательных воздействий на основе инновационного блока параметрических когнитивных моделей [3, 4, 6, 8, 11] и комплекса программ для обеспечения автоматизации задач исследования [3, 6, 8, 9, 11].

Созданная автором структура системы автоматизированного обучения (САО) со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей (КМ) [3, 4, 6] представляет собой замкнутый контур управления с двумя уровнями информационного взаимодействия (канал инкапсуляции модели требуемых знаний, канал анализа параметров когнитивной модели, канал анализа эффективности обучения; канал репрезентации разнородной информации, канал диагностики параметров индивидуальных особенностей субъектов обучения, канал диагностик уровня остаточных знаний контингента обучаемых) между разнородными субъектами и средствами управляемого автоматизированного процесса индивидуально-ориентированного формирования знаний контингента обучаемых, включает несколько основных компонентов выполняющих разные

функции и задачи: адаптивный электронный учебник (ЭУ) [3, 6, 9], основной диагностический модуль (ДМ) [3, 4, 6, 8] и прикладной ДМ [3, 6], а также непосредственно блок параметрических КМ [2-4, 6, 7, 10].

В общем виде структура предложенной адаптивной САО со свойствами адаптации на основе блока параметрических КМ выступает существенно сложным объектом исследования, формализуется посредством использования аппарата классической теории автоматического управления и представлена следующим образом в виде структурно-функциональной схемы (рис. 1).

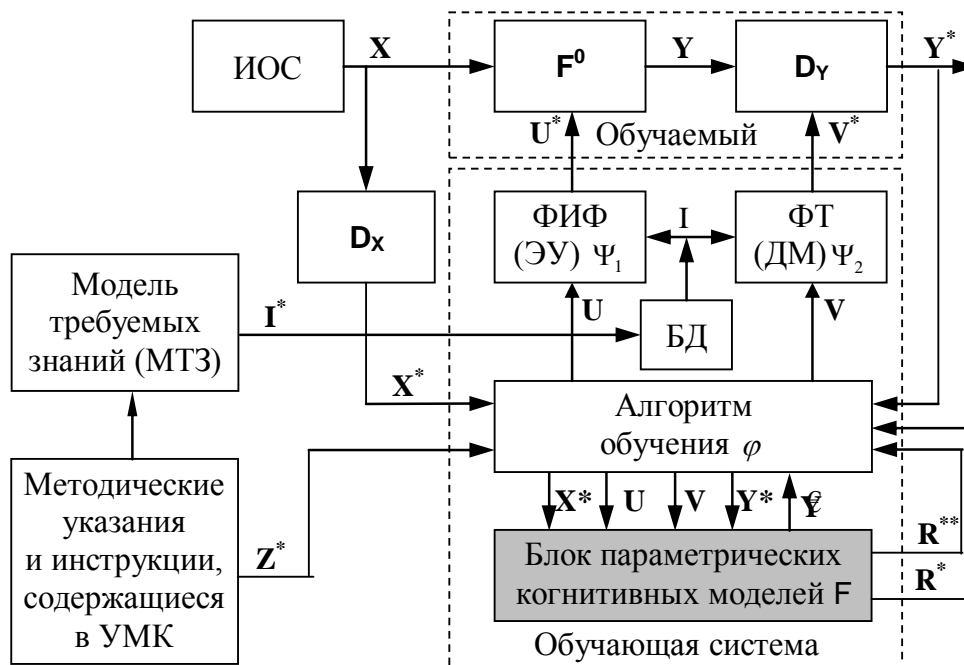


Рис. 1. Структурно-функциональная схема
 Fig. 1. Structural-functional scheme

Представленная на схеме САО со свойствами адаптации на основе блока параметрических КМ функционирует одновременно как неотъемлемая часть и как независимый компонент инновационной адаптивной информационно-образовательной среды (ИОС) нового поколения, структурно декомпозируется на несколько основных элементов: обучающую систему и обучаемого [3, 6].

Обучающая система реализует генерацию последовательности образовательных воздействий, а уровень воздействий ИОС полагается пренебрежимо малым для целей определенности.

Средство обучения (ЭУ) генерирует последовательность информационных фрагментов, а обучаемый (субъект обучения) непосредственно изучает их содержание, что обеспечивает управляемый технологический процесс формирования знаний.

Обучаемый характеризуется определенным набором различных индивидуальных особенностей его личности (ИЮЛСО): физиологические, психологические, лингвистические и прочие параметры.

В предложенной структурной схеме используется ряд обозначений по отношению к структурным компонентам САО со свойствами адаптации на основе блока параметрических КМ:

- полиномиальная модель (F_0) – включает параметры и значения весовых коэффициентов, которые характеризуют индивидуальные особенности определенного обучаемого;
- датчик D_x – обеспечивает измерение уровня воздействий ИОС, которые пренебрежимо малы по отношению к образовательным воздействиям заданного средства обучения (ЭУ);
- датчик D_y – измеряет оценку результативности формирования знаний обучаемого;

- методические указания – содержат инструкции по использованию УМК со структурированной совокупностью упорядоченных основных и дополнительных информационных фрагментов, которые отражают содержание раздела, модуля, параграфа и элементарной страницы, а также предполагают наличие основного и дополнительного блоков контрольных вопросов;
- база данных (БД) – содержит структурированные данные по заданной предметной области для последующей обработки и визуального отображения конечному пользователю;
- модель требуемых знаний (МТЗ) – отражает разные требования, задачи, цели обучения, ограничения в ИОС и структурированный материал по набору предметов изучения;
- алгоритм обучения (φ) – формирует последовательность возвращаемых значений содержащих ссылки на обучающие воздействия в БД и параметры их отображения (U) посредством процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов в ЭУ, а также последовательность возвращаемых значений ссылок на основной и дополнительный блоки контрольных вопросов (V) связанные с определенными элементами курса в ДМ;
- формирователь последовательности информационных фрагментов (ФИФ) Ψ_1 – реализует индивидуально-ориентированную визуальную репрезентацию последовательности образовательных воздействий (информационных фрагментов) с учетом определенных ссылок на различные информационные фрагменты и параметры блока параметрических КМ;
- формирователь тестовых заданий (ФТ) Ψ_2 – обеспечивает отображение последовательности предустановленных вопрос-ответных структур тестовых заданий с учетом ссылок на разные информационные фрагменты, которые отражают содержание предмета изучения;
- блок параметрических КМ (F) – содержит совокупность значений репертуаров параметров КМ субъекта обучения ($R^* = \overline{P^1}$) и КМ средства обучения ($R^{**} = \overline{P^2}$), которые характеризуют соответственно ИОЛСО и потенциальные технические возможности средства обучения при адаптивной генерации последовательности информационных фрагментов (оптимальное сочетание значений параметров отображения информации реализуется посредством процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов [3, 6, 8, 9]).

Ограниченность коммуникативной дуплексности «виртуального» диалога между группами профицитных и дефицитных единиц (участников) обуславливается опосредованностью информационного взаимодействия (субъекты взаимодействуют через электронный учебник и диагностический модуль) и является недостатком любой системы автоматизированного (дистанционного) обучения, который нужно качественно исследовать и технологически устранять.

Особенности блока параметрических когнитивных моделей. Блок параметрических КМ содержит в своей структуре КМ двух типов и выступает информационной основой для реализации автоматизированного системного анализа информационной среды образовательного учреждения (учебного центра), обеспечивает непосредственную поддержку и оценку эффективности функционирования технологического процесса индивидуально-ориентированного формирования знаний контингента обучаемых в САО со свойствами адаптации на основе параметрических КМ.

Для каждого произвольно выбранного объекта, процесса или явления в определенной среде его функционирования подбирается набор разработанных методик и алгоритмов, которые включаются в основу созданной технологии когнитивного моделирования (ТКМ), а затем формируются параметрические КМ, включающие фиксированный набор портретов имеющих специфическое научное обоснование в рамках заданных предметных областей.

При разработке комплекса методик и алгоритмов для реализации системного анализа определенной предметной области и объекта исследования ключевую роль имеет итеративный

циклы модифицированная обобщенная методика использования ТКМ для заданной предметной области.

Модель представляет собой структурно и функционально обедненную сущность (структуру), которая отражает динамику функционирования объекта исследования в заданной локальности.

Параметрическая КМ отражает ключевые особенности объекта, процесса или явления при его наблюдаемом и регистрируемом (вычислимом средствами наблюдения) изоморфизме в определенной среде функционирования для последующего (сложного) системного анализа, выступает расширяемым в ширину и глубину репертуаром параметров (показателей), который эшелонирован на несколько портретов с определенным научным обоснованием и стратифицирован на ряд множеств расположенных на двух уровнях выделенной иерархии.

В ходе реализации системного анализа рекомендуется подходить дифференциально к исследованию заданного объекта, процесса или явления выделенного в среде его функционирования, поэтому каждому из них непосредственно вводится в соответствие параметрическая КМ. Портрету КМ соответствует ключевой аспект системного анализа и его научное обоснование.

Разработка структуры параметрической КМ реализуется посредством использования алгоритма формирования структуры КМ в составе созданного автором аппарата ТКМ [2, 4, 6, 7, 10] на базе одного из классических (формальная логическая модель, фреймовая модель, семантическая сеть, теория множеств, кортежи на доменах или онтология) или одного из предложенных автором новых способов представления КМ (ориентированный граф сочетающий теорию множеств или многоуровневая структурная схема).

Методы исследования. Создание новой и (ре)конструирование существующей структуры параметрической КМ осуществляется на основе одной из классических (традиционных) или инновационных моделей (способов) представления структурированных (мета) данных посредством последовательного заполнения двух имеющихся уровней представленной иерархии информационными элементами полученными при системном анализе заданного объекта, процесса или явления.

Структура параметрической КМ представляется посредством использования ряда способов:

- формальные способы представления – аналитические (формула) и процедурные (алгоритм):
- логическая модель – основана на использовании элементов исчисления высказываниями и предикатами первого и второго порядка (включая кванторы и сложные операции);
- простое логическое выражение – логически неделимо и не может быть упрощено посредством использования законов булевой алгебры логики выступающих правилами эквивалентного преобразования сложных логических выражений к простым;
- сложное логическое выражение – структурно декомпозируется к совокупности простых;
- продукционная модель – иерархическая структура с множеством продукционных ядер, каждое из которых эквивалентно элементарному правилу, включающему антецедент (условие на основе логики) и консеквент (прямое и альтернативное действия, которые выполняются соответственно в случае истинности или ложности исходного условия);
- простое продукционное ядро (правило): если (условие), то (действие);
- расширенное продукционное ядро (правило) имеет более сложную структуру: если (условие), то (прямое действие), иначе (альтернативное действие);
- граф, сочетающий теорию множеств (предложен автором) [4, 6] – совокупность вершин, которые расположены на двух различных уровнях выделенной иерархии, соединены дугами и образуют несколько независимых множеств (рис. 2, 3, 4);
- неформальные способы представления – графические и декларативные:

- фреймовая модель – совокупность протофреймов и фреймов-экземпляров в виде таблиц (кортежей) содержащих определенные идентификаторы и значения информационных полей;
- семантическая сеть – включает множество вершин соответствующих различным (сложным) объектам, процессам или явлениям и связей между ними на основе принципов принадлежности, подчинения и включения одного информационного элемента (математического множества) по отношению к другому;
- онтология – представление слабо структурируемых и слабо формализуемых предметных областей (проблемных сфер) посредством использования структурной схемы, сочетающей элементы фреймовой модели и семантической сети с использованием методов объектно-ориентированного подхода (программирования);
- многоуровневая структурная схема (предложена автором) – исключает графические связи между разнородными информационными элементами и представляет собой совокупность информационных элементов, которые расположены на разных уровнях выделенной иерархии по принципу взаимного включения (соподчинения) математических множеств.

Реконструирование новой или полученной структуры КМ осуществляется посредством использования алгоритма формирования структуры КМ в основе созданной автором ТКМ [2, 4, 6].

Программная реализация блока параметрических КМ проводилась непосредственно в структуре информационных полей реляционной базы данных формата «Paradox» в интегрированной среде программирования «BorlandC++ Builder» на языке высокого уровня «C++».

Применяя аппарат исчисления с использованием кортежей на доменах разрабатываемую структуру параметрической КМ можно представить в следующем формально-аналитическом виде:

- система обозначений позволяет создать иерархическую многоуровневую пирамидальную структуру (КМу – КМ; ПРу, i – портрет КМ; НОи, i – научное обоснование портрета; ВСи, i, j – вид свойств; Си, i, j, k – свойство; ВПу, i, j, k, l – вектор параметров; Пу, i, j, k, l, m – параметр; u – индекс параметрической КМ; i – индекс портрета КМ; j – индекс вида свойств; k – индекс свойства; l – индекс вектора параметров; m – индекс параметра);
- каждому объекту, процессу или явлению вводится в соответствие КМ (КМу), которая включает счетное конечномерное множество портретов (ПРу, i), имеющих четкое научное обоснование (НОи, i) для обеспечения интерпретации в рамках определенной предметной области (проблемной сферы) и отрасли наук:

$$\begin{cases} KM_1 = \{ \langle PP_{1.1}, NO_{1.1} \rangle, \langle PP_{1.2}, NO_{1.2} \rangle, \dots, \langle PP_{1.i}, NO_{1.i} \rangle \}; \\ KM_2 = \{ \langle PP_{2.1}, NO_{2.1} \rangle, \langle PP_{2.2}, NO_{2.2} \rangle, \dots, \langle PP_{2.i}, NO_{2.i} \rangle \}; \\ KM_u = \{ \langle PP_{u.1}, NO_{u.1} \rangle, \langle PP_{u.2}, NO_{u.2} \rangle, \dots, \langle PP_{u.i}, NO_{u.i} \rangle \}; \end{cases}$$

каждый портрет КМ (ПРу, i) включает множество видов свойств (ВСи, i, j):

$$\begin{cases} PP_{1.1} = \{ BC_{1.1.1}, BC_{1.1.2}, \dots, BC_{1.1.j} \}; \\ PP_{2.2} = \{ BC_{2.2.1}, BC_{2.2.2}, \dots, BC_{2.2.j} \}; \\ PP_{u.i} = \{ BC_{u.i.1}, BC_{u.i.2}, \dots, BC_{u.i.j} \}; \end{cases}$$

каждый вид свойств (ВСи, i, j) включает множество элементарных свойств (Си, i, j, k):

$$\begin{cases} BC_{1.1.1} = \{ C_{1.1.1.1}, C_{1.1.1.2}, \dots, C_{1.1.1.k} \}; \\ BC_{2.2.2} = \{ C_{2.2.2.1}, C_{2.2.2.2}, \dots, C_{2.2.2.k} \}; \\ BC_{u.i.j} = \{ C_{u.i.j.1}, C_{u.i.j.2}, \dots, C_{u.i.j.k} \}; \end{cases}$$

каждое свойство (Си, i, j, k) включает векторы параметров (ВПу, i, j, k, l):

$$\begin{cases} C_{1.1.1.1} = \{BP_{1.1.1.1.1}, BP_{1.1.1.1.2}, \dots, BP_{1.1.1.1.l}\}; \\ C_{2.2.2.2} = \{BP_{2.2.2.2.1}, BP_{2.2.2.2.2}, \dots, BP_{2.2.2.2.l}\}; \\ C_{u.i.j.k} = \{BP_{u.i.j.k.1}, BP_{u.i.j.k.2}, \dots, BP_{u.i.j.k.l}\}; \end{cases}$$

каждый вектор параметров (ВПу, i, j, k, l) включает несколько элементарных параметров (Пу, i, j, k, l, m) на нижнем уровне выделенной иерархии представленной КМ:

$$\begin{cases} BP_{1.1.1.1} = \{P_{1.1.1.1.1.1}, P_{1.1.1.1.1.2}, \dots, P_{1.1.1.1.1.m}\}; \\ BP_{2.2.2.2} = \{P_{2.2.2.2.2.1}, P_{2.2.2.2.2.2}, \dots, P_{2.2.2.2.2.m}\}; \\ BP_{u.i.j.k.l} = \{P_{u.i.j.k.l.1}, P_{u.i.j.k.l.2}, \dots, P_{u.i.j.k.l.m}\}. \end{cases}$$

Параметрическая КМ может быть непосредственно представлена не только аналитически (логическая модель или продукционная модель), но также в виде структурно-графического представления (граф или многоуровневая схема).

В процессе (ре)конструирования структуры параметрической КМ на основе представленной системы аналитических (алгебраических) уравнений можно получить инновационную иерархическую (пирамидальную) структуру (рис. 2).

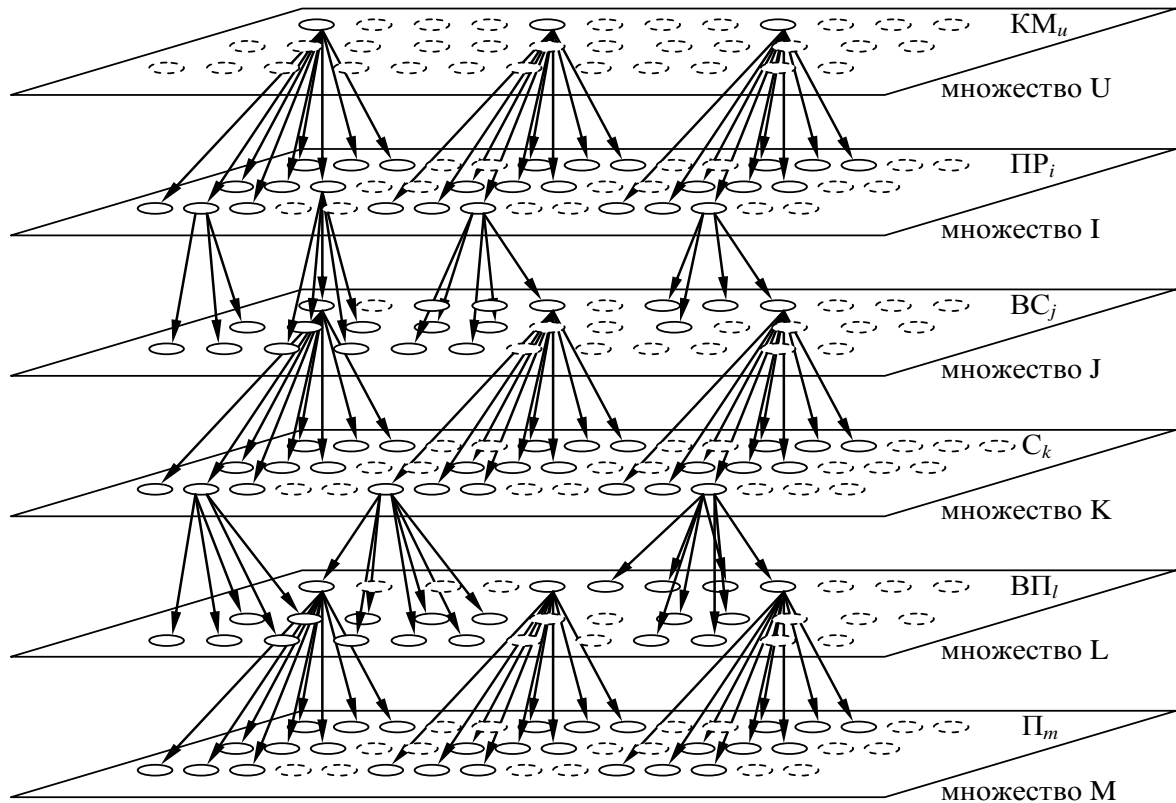


Рис. 2. Иерархическая структура когнитивной модели посредством кортежей на доменах
 Fig. 2. Hierarchical structure of the cognitive model by means of tuples on domains

Получена параметрическая КМ в виде иерархической (пирамидальной) структуры, которая представляет собой совокупность взаимно вложенных пирамид с однородными параметрами включает несколько математических (аналитических) множеств разной мощности расположенных непосредственно на различных уровнях выделенной иерархии: множество КМУ – u', множество портретов КМИ – i', множество НО портретов КМИ – i', множество векторов свойств J – j', множество элементарных свойств K – k', множество векторов параметров L – l' и множество элементарных параметров M – m'.

Интегральная мощность полученной пирамидальной структуры КМ: $p = u' \cdot i' \cdot j' \cdot k' \cdot l' \cdot m'$.

После определения оптимального количества портретов параметрической КМ обеспечивается (автоматизированное) формирование математических (аналитических) множеств: видов свойств, элементарных свойств, векторов параметров и элементарных параметров.

Каждый информационный элемент полученной структуры параметрической КМ расположенный на произвольном (заданном) уровне выделенной иерархии обеспечивает возможность включения нескольких производных (взаимно подчиненных) различных информационных элементов (математических (аналитических) множеств), которые создаются непосредственно в процессе системного анализа в расширение на нижнем уровне.

Все математические (аналитические) множества конечномерны, а количество информационных элементов в базовом и соподчиненных математических (аналитических) множествах произвольно (задано), поэтому потенциально возможно дополнение и редукция информационных элементов сформированной структуры КМ на основе предложенного способа представления (кортеж или схема).

Ориентированный граф, сочетающий теорию множеств, позволяет непосредственно отобразить совокупность вершин, соответствующих разным информационным элементам, которые расположены на двух уровнях представленной иерархии параметрической КМ, а также связи между ними в виде набора дуг, отображающих разные отношения: соподчинения (взаимного подчинения), включения и вложения (рис. 3).



Рис. 3. Рекомендуемый способ представления когнитивной модели в виде ориентированного графа, сочетающего теорию математических множеств
Fig. 3. The recommended way to represent the cognitive model in the form of an oriented graph, combining the theory of mathematical sets

Обсуждение результатов. Когнитивная модель (КМ), представленная посредством использования ориентированного графа, сочетающего теорию математических множеств, пред-

ставляет собой иерархическую структуру, которая непосредственно включает ряд портретов с определенным НО (I) и различных математических (аналитических) множеств, расположенных на двух независимых различных уровнях выделенной иерархии (структуры): на первом уровне – расположены несколько независимых вершин, которые образуют множество видов свойств (J) и множество элементарных свойств (K); на втором уровне – находятся несколько различных вершин образующих множество векторов параметров (L) и множество элементарных параметров (M) в основе КМ.

Допускается детерминированная и случайная (автоматизированная) редукция, а также отсутствие некоторых информационных элементов параметрической КМ.

Многоуровневая структурная схема включает совокупность разнородных информационных элементов, отражающих особенности и локальности статики, и динамики определенного (заданного) объекта, процесса или явления исследования, которые расположены непосредственно на разных уровнях выделенной иерархии и образуют несколько взаимно независимых множеств в основе структуры параметрической КМ (рис. 4).



Рис. 4. Рекомендуемый способ представления когнитивной модели в виде многоуровневой структурной схемы

Fig. 4. The recommended way to represent the cognitive model in the form of a multilevel structural scheme

Многоуровневая структурная схема допускает относительную редукцию (исключение и отсутствие) некоторых информационных элементов в основе разрабатываемой структуры параметрической КМ.

Алгоритм формирования структуры когнитивной модели. При формализации структуры параметрической КМ для обеспечения системного анализа определенного объекта, процесса или явления непосредственно применяется ряд инновационных способов представления ее структуры (моделей представления метаданных): математическое исчисление с использованием кортежей на доменах (аналитическое), ориентированный граф сочетающий теорию математических множеств (графическое) и (иерархическая) многоуровневая структурная схема ((объемное) схематическое).

Предложенный алгоритм входит в основу разработанного аппарата ТКМи обеспечивает формализацию итеративной последовательности упорядоченных этапов, которые реализуют непосредственно формирование структуры параметрической КМ (рис. 5).



Рис. 5. Алгоритм формирования структуры когнитивной модели
 Fig. 5. Algorithm for the formation of the structure of the cognitive model

КМ субъекта обучения представляется в виде многоуровневой структурной схемы (рис. 6).

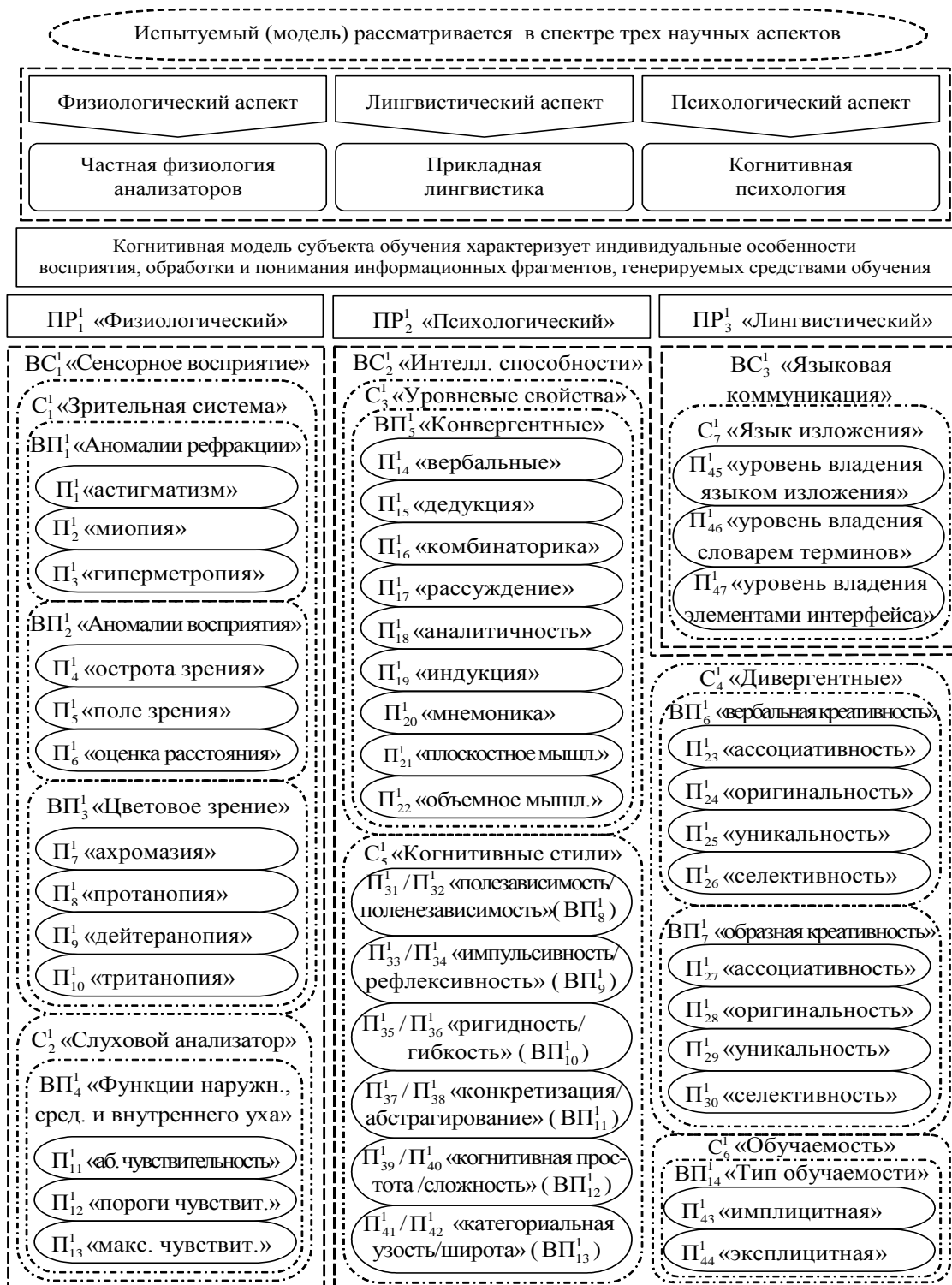


Рис. 6. Структура когнитивной модели субъекта обучения в виде многоуровневой структурной схемы
Fig. 6. Structure of the cognitive model of the subject of training in the form of a multilevel structural scheme

КМ средства обучения представляется в виде многоуровневой структурной схемы (рис. 7).

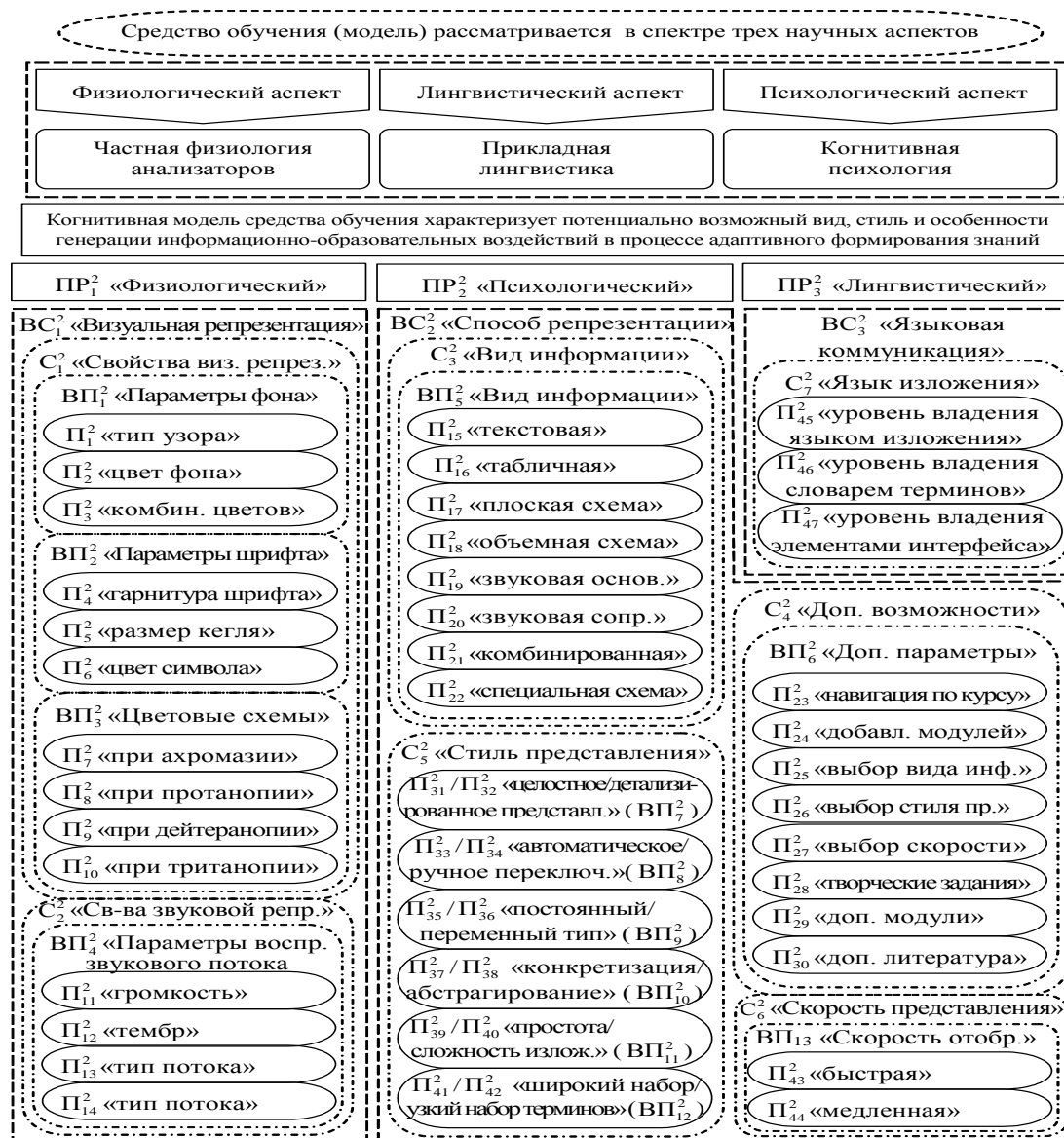


Рис. 7. Структура когнитивной модели средства обучения в виде многоуровневой структурной схемы
 Fig. 7. Structure of the cognitive model of the means of instruction in the form of a multilevel structural scheme

Вывод. 1. Когнитивная модель (КМ) субъекта обучения непосредственно позволяет охарактеризовать особенности первичного сенсорного восприятия (психофизиология), обработки (когнитивная психология) и понимания (когнитивная и прикладная лингвистика) содержания последовательности разнородных информационных фрагментов на национальном или иностранном языке, которые отражают содержание определенного предмета изучения.

2. КМ средства обучения отражает потенциальные технические параметры отображения информационных фрагментов разного вида разным способом [2-4, 6, 7, 10-11].

3. Блок параметрических КМ позволяет провести системный анализ эффективности функционирования ИОС и САО с учетом параметров КМ субъекта обучения и КМ средства обучения [2- 4, 6, 7, 10-11].

4. Предложены инновационные способы представления структуры параметрической КМ [6, 10 11].

5. Разработан процессор адаптивной репрезентации последовательности информационных фрагментов, который выполнен по блочно-модульному принципу с учетом особенностей параллельной архитектуры.

6. Практическое использование научных результатов осуществлялось с 2003 г. в учебном процессе «Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (г. Санкт-Петербург) и с 2004 г. в учебном процессе «Международного банковского института» (г. Санкт-Петербург), а в ходе проведения экспериментальных исследований были получены два акта о практическом использовании и четыре авторских свидетельства на разработанные фундаментальные и прикладные научные результаты [1-11].

7. Технологический процесс управляемого формирования знаний контингента обучаемых выступает сложным для проведения системного анализа на основе технологии когнитивного моделирования, включает совокупность технологических заделов и фаз обработки информации, существенно зависит от разных параметров обусловленных субъектом и техническим средством обучения.

8. Разработан научно-образовательный портал технологии когнитивного моделирования для системного и финансового анализа («АЕТ ТКМ СФА») Ветрова А.Н. www.vetrovan.spb.ru [12].

Библиографический список:

1. Ветров А.Н. Факторы успеха в образовательной деятельности современного ВУЗа: Тенденции развития информационной среды дистанционного образования / А.Н. Ветров, Н.А. Ветров; колл. монография под ред. члена-корр. МАН ВШ И.Н. Захарова. – СПб: МБИ, 2004. – С.54-65 (148 с.).
2. Ветров А.Н. Факторы успеха в образовательной деятельности современного ВУЗа: Когнитивная модель для адаптивных систем дистанционного обучения / А.Н. Ветров, Е.Е. Котова; колл. монография под ред. члена-корр. МАН ВШ И.Н. Захарова. – СПб: МБИ, 2004. – С.65-78. (148 с.).
3. Ветров А.Н. Особенности структуры информационной среды адаптивных систем ДО / А.Н. Ветров, Н.А. Ветров // Актуальные проблемы экономики и новые технологии преподавания: материалы IV междунар. науч.-практ. конф., г. С.-Петербург, 15-16 марта 2005 г. – СПб.: МБИ, 2005. – С.45-46.
4. Ветров А.Н. Информационная среда автоматизированного обучения на основе когнитивных моделей / А.Н. Ветров, Е.Е. Котова, Н.Н. Кузьмин // Известия МАН ВШ, №3(37). – М.: МАН ВШ, 2006. – 18 с.
5. Ветров А.Н. Особенности развития теории информации и информационных технологий на пороге XXI века: Монография. – М.: Деп. в РАО. – 2007. – 141с.
6. Ветров А.Н. Среда автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей: Монография. – М.: Деп. в РАО. – 2007. – 256 с.
7. Ветров А.Н. Методики и алгоритмы в основе технологии когнитивного моделирования / А.Н. Ветров // «Управление качеством в современном ВУЗе»: материалы V междунар. науч.-метод. конф., г. Санкт-Петербург, 21-22 июня 2007 г. – СПб.: МБИ, 2007. – С.86-89.
8. Ветров А.Н. Реализация адаптивного обучения в автоматизированной образовательной среде на основе когнитивных моделей / А.Н. Ветров // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ", Вып. 1, Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2007. – С.10-16.
9. Ветров А.Н. Электронный учебник на основе процессора адаптивной репрезентации информационных фрагментов в автоматизированной образовательной среде. – М.: Деп. во ВИНТИ РАН. – 2008, ВКИТ №11, 2008 – С.38-50.
10. Ветров А.Н. Технология когнитивного моделирования в автоматизированной образовательной среде. – М.: Деп. во ВИНТИ РАН. – 2008, Вестник РУДН №4, 2008. – С.46-42.
11. Ветров А.Н. Отчет по индивидуальной инициативной НИР «Исследование среды автоматизированного обучения со свойствами адаптации на основе когнитивных моделей» за 2003-2005 г.– СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТ», МБИ, СПбГУЭФ «ФИНЭК» М.: Деп. во ВНИИЦ РАН, 2005 (2006). – 451 Научно-образовательный портал «АЕТ ТКМ СФА» Ветрова А.Н. www.vetrovan.spb.ru.
12. Горелов И.Н. Разговор с компьютером. – М.: «Наука», 1987. – 255 с.
13. Лобачев С.Л., Солдаткин В.И. ДО технологии: Информационный аспект. – М., 1998. – 104 с.
14. Шенк Р. Обработка концептуальной информации. – М.: «Энергия», 1980. – 256 с.

References:

1. 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. pp.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. pp.65–78. (In Russ.)]
3. Vetrov A.N., Vetrov N.A. Osobennosti struktury informatsionnoy sredy adaptivnykh sistem DO. Materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Aktual'nye problemy ekonomiki i novye tekhnologii prepodavaniya". S.-Peterburg. 2005. P.45-46. [Vetrov A.N., Vetrov N.A. Features of the structure of the information environment of adaptive systems. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference "Relevant Issues of Economics and New Teaching Technologies". St. Petersburg. 2005. pp.45-46. (In Russ.)]
 4. 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.)]
 5. Vetrov A.N. Osobennosti razvitiya teorii informatsii i informatsionnykh tekhnologii na poroge XXIveka: 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.)]
 6. Vetrov A.N. Sreda avtomatizirovannogo obucheniya so svoystvami 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.)]
 7. Vetrov A.N. Metodiki i algoritmy v osnove tekhnologii kognitivnogo modelirovaniya. Materialy V mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii "Upravlenie kachestvom v sovremennom VUZe". Sankt-Peterburg, MBI; 2007. S.86-89. [Vetrov A.N. Techniques and algorithms as the base for the technology of cognitive modeling. Materials of the V International scientific and methodological conference «Quality management in a modern university». St. Petersburg, MBI; 2007. pp.86-89. (In Russ.)]
 8. Vetrov A.N. Realizatsiya adaptivnogo obucheniya v avtomatizirovannoi obrazovatel'noi srede na 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.)]
 9. Vetrov A.N. Elektronnyi uchebnyk 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.)]
 10. 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.)]
 11. Vetrov A.N. Otchet po individual'noy initsiativnoy NIR "Issledovanie sredy avtomatizirovannogo obucheniya so svoystvami adaptatsii na osnove kognitivnykh modeley" za 2003-2005 g. SPb.: SPbGETU «LET», MBI, SPbGUEF «FINEK», M.: Dep. vo VINITI RAN, 2005 (2006). 451 s. [Vetrov A.N. Report on the individual initiative R & D "Study of the environment of automated learning with the properties of adaptation based on cognitive models" for 2003-2005. SPb.: SPbGETU «LET», MBI, SPbGUEF «FINEK», M.: Dep. in VINITI RAS, 2005 (2006). 451 p. (In Russ.)]. Nauchno-obrazovatel'nyy portal «AET TKM SFA» Vetrova A.N. www.vetrovan.spb.ru. [Scientific and educational portal «AET TKM SFA» Vetrova A.N. www.vetrovan.spb.ru (In Russ.)]
 12. Gorelov I.N. Razgovor s komp'yuterom. M.: Nauka; 1987. 255 s. [Gorelov I.N. Conversation with the computer. M.: Nauka; 1987. 255 p. (In Russ.)]
 13. Lobachev S.L., Soldatkin V.I. DO tekhnologii: Informatsionnyy aspekt. M.; 1998. 104 s. [Lobachev S.L., Soldatkin V.I. Distance Learning (DL) technology: Information aspect. M.; 1998. 104 p. (In Russ.)]
 14. Shenk R. Obrabotka kontseptual'noy informatsii. M.: Energiya; 1980. 256 s. [Shenk R. Processing of conceptual information. M.: Energiya; 1980. 256 p. (In Russ.)]

Сведения об авторе.

Ветров Анатолий Николаевич – инженер кафедры автоматизации и процессов управления, президент ГМО «Академия когнитивных естественных наук».

Information about the author.

Anatoly N. Vetrov – engineer, Department of Automation and Control Processes, President of the «Academy of Cognitive Sciences».

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.07.2017.

Принята в печать 30.08.2017.

Conflict of interest

The author declare no conflict of interest.

Received 25.07.2017.

Accepted for publication 30.08.2017.

Для цитирования: Пыльский В.А., Якунин А.Г. Программный комплекс для расчета и проектирования активных фильтров на основе модели ε -слоя. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):126-135. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-126-135

For citation: Pylsky V.A., Yakunin A.G. Program complex for the calculation and design of active filters based on the ε -layer model. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (3):126-135. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-126-135

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-126-135

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ε -СЛОЯ

Пыльский В.А.², Якунин А.Г.¹

¹⁻² Алтайский государственный технический университет,

¹⁻² 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, Россия

¹ e-mail: yakunin@agtu.secna.ru, ² e-mail: almpas@list.ru.

Резюме. Цель. Статья посвящена разработке метода проектирования аналоговых, в том числе активных фильтров, отличающегося от известных методов использованием принципиально иного подхода к выбору критериев оптимизации. **Метод.** Большинство современных методов рассчитывают параметры образующих фильтр электронных компонентов исходя лишь из обеспечения требуемых значений коэффициентов полинома передаточной функции. При этом обеспечение требуемой стабильности и воспроизводимости характеристик фильтра достигается преимущественно технологическими приемами, например, за счет использования прецизионных элементов. В то же время достичь аналогичного эффекта можно и иным способом, а именно рациональным выбором значений параметров компонентов схемы. Такой подход возможен в силу того, что при расчете имеется возможность выбирать значения отдельных компонентов схемы произвольным образом, а необходимые значения коэффициентов полинома передаточной функции получать подбором значений оставшихся элементов. Таким образом, решая оптимизационную задачу, можно добиваться наилучших результатов проектирования в соответствии с выбранным критерием качества. **Результат.** В работе предлагается за основу такого критерия выбрать модель ε -слоя, в соответствии с которой отклонения передаточной функции, либо пропускаемого через фильтр сигнала должны минимально отличаться от заданного вида и лежать в пределах заданного слоя либо во всей области определения функции или сигнала, либо в заданном наиболее важном диапазоне. **Вывод.** В соответствии с предложенным подходом был разработан программный комплекс для расчета активных фильтров. Выполненные с его применением расчеты и экспериментальные исследования подтвердили продуктивность применения.

Ключевые слова: аналоговые фильтры, допустимые отклонения параметров электронных компонентов фильтра, оптимизация параметров электронных компонентов фильтра, критерии оптимизации, модель ε -слоя

TECHNICAL SCIENCE
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

**PROGRAM COMPLEX FOR THE CALCULATION AND DESIGN OF ACTIVE
FILTERS BASED ON THE E-LAYER MODEL**

Vadim A. Pylsky², Alexey G. Yakunin¹

¹⁻²Polzunov Altai State Technical University,

¹⁻²46 Lenina Ave., Barnaul 656038, Russia,

¹e-mail:yakunin@agtu.secna.ru, ²e-mail:almpas@list.ru

Abstract Objectives. The article is devoted to the development of a method for designing analogue filters, including active, which differs from known methods due to the fundamentally different approach taken to the selection of optimisation criteria. **Methods.** Most contemporary methods, as a rule, calculate the parameters of filter forming electronic components based solely on the required values of the transfer function polynomial coefficients. At the same time, the maintenance of the required stability and reproducibility of filter characteristics is achieved primarily by technological methods; for example, by using precision elements. Nevertheless, it is possible to achieve a similar effect in a different way, namely, by appropriate choice of the circuit component parameter values. This approach is possible by selecting the individual circuit component values in an arbitrary manner, while the necessary transfer function polynomial coefficients are obtained by selecting the values of the remaining elements. Thus, having solved the optimisation task, it is possible to achieve optimal design results in accordance with the chosen quality criterion. **Results.** In this paper, the ε -layer model is proposed as the basis for this criterion, according to which either the deviations of the transfer function or the signal passed through the filter should be minimally different from the given type and be located within the given layer, either in the entire domain of the function or signal definition, or in the most significant defined range. **Conclusion.** The software package for the calculation of active filters is developed according to the proposed approach. The productivity of its application is confirmed by experimental studies and the calculations performed using this application.

Keywords: analogue filters, permissible deviations of the parameters of the filter electronic components, optimisation of electronic filter component parameters, optimisation criteria, ε -layer model

Введение. Цифровые технологии и методы расчета цифровых фильтров в наше время развиваются очень быстро. Цифровые фильтры постепенно заменяют аналоговые, однако всё еще остаются области, где существует необходимость использовании активных фильтров. Например, если сигнал с ограниченным спектром наблюдается на фоне сильного шума, лежащего в другой спектральной области, аналоговая фильтрация получается более выгодной и экономичной, особенно когда нет необходимости ставить контроллеры для дополнительной цифровой обработки сигнала.

Аналоговые фильтры нижних частот незаменимы для подавления пульсаций напряжения на выходе выпрямителей переменного тока, для разделения частотных полос в акустических системах, в системах передачи данных для подавления высокочастотных помех и ограничения спектра сигнала, для выделения электрофизиологических сигналов при медицинской диагностике кардиограмм, реограмм, миограмм [1], селекции сигнала в радиочастотных диапазонах [2], подавления шумов на входе аналого-цифровых преобразователей [3], при обработке сейсмологических сигналов [4] а также для ряда других применений [5].

Таким образом, использование аналоговых фильтров всё еще остается актуальным и, соответственно, сохраняют актуальность и методы, используемые для их расчета и проектирования. В настоящее время существует большое разнообразие таких методов, рассматривающих самые различные аспекты, связанные с применением разрабатываемых устройств [4-15].

Наряду с универсальными методиками разработчики компонентов радиоэлектронной аппаратуры предлагают конкретные инструкции, ориентированные на выпускаемые микросхемы фильтров [16-17]. Однако анализ таких методов, показал, что при расчете фильтров все еще остаются отдельные нерешенные проблемы. Остановимся на них более подробно.

Первой из них можно назвать отсутствие в этих методах учета дискретного характера номинальных значений, используемых в фильтрах величин сопротивлений резисторов и емкостей и конденсаторов. Это не позволяет задавать эти значения в точном соответствии с результатами расчета, что может привести к отклонению формы амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) от требуемого вида. Можно, конечно, ввести в схему фильтра множество подстроечных элементов, но это приведет к существенному ухудшению массогабаритных и экономических показателей проектируемого устройства.

Другой проблемой, тесно связанной с предыдущей, является отсутствие в известных методиках оценки влияния на форму АЧХ допустимых отклонений, использованных в фильтре элементов от их номинальных значений, а также от флуктуации фактических значений из-за физических процессов старения, температурных и иных факторов. Использование элементов с минимальным допуском, особенно конденсаторов для уменьшения отклонения АЧХ от расчетной формы может существенно повысить стоимость устройства, хотя, вполне возможно, необходимости в применении высокоточных элементов вовсе и не требуется, во всяком случае, для части из электронных компонентов.

Одним из путей решения данных проблем является применение методов оптимизации. Из теории проектирования электронных фильтров известно, что как минимум один параметр в схеме фильтра всегда остается свободным [15] и его значение можно выбирать произвольным, исходя не из обеспечения заданных значений коэффициентов полинома, а из каких-либо иных соображений. Очевидно, в данном случае можно потребовать, например, подбора таких значений свободных элементов, чтобы минимизировать степень отклонения практически реализуемой АЧХ от ее расчетного вида.

Совершенно очевидно также и то, что отклонение формы АЧХ на разных участках спектрального диапазона, равно как и отклонение фазочастотной характеристики и группового времени запаздывания, может по-разному повлиять на качество обработки сигнала. Более того, характер вносимых фильтром искажений будет зависеть от формы самого сигнала и свойств сопровождающих сигнал шумов и помех. Отсюда следует, что для правильного решения оптимизационной задачи нужно верно выбрать критерий оценки качества работы фильтра.

Постановка задачи. Таким образом, целью данной работы является выбор критерия оптимизации для подбора свободных элементов фильтра; создание на его основе метода и реализующего его программного комплекса для расчета и подбора номинальных значений и всех элементов активного фильтра в соответствии с выбранным критерием.

Методы исследования. Разработка метода расчета активных фильтров на основе ε -слоя.

Как известно, однопараметрические критерии имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что оптимизация при их применении выполняется по одному, или заданному набору выделенных показателей АЧХ или фазочастотной характеристики (ФЧХ). Однако, зачастую более важным является сохранение формы кривой АЧХ в рабочей зоне или сохранение формы отдельных составляющих отфильтрованного сигнала. В этом случае имеется непрерывный набор параметров для оптимизации.

Одним из наиболее перспективных подходов к решению задачи оптимизации в такой постановке является метод ε -слоя, который уже хорошо зарекомендовал себя при решении подобных задач, когда имеется некоторая функция, заданная с точностью до некоторого слоя ее неопределенности [18-21]. Изначально метод был разработан для оценки потенциальной точности измерительных устройств.

Суть метода заключалась в том, что, полагалось, что наблюдаемый квазидетерминированный сигнал из-за влияния шумов, помех и неизвестных параметров сопровождения может лежать относительно идеальной модельной функции в пределах некоторого ε -слоя. Тогда, по-

лагая, что вариации неизвестного контролируемого параметра сигнала не должны приводить к выходу сигнала за данный слой, можно определить интервал значений, в которых должен лежать этот параметр.

Аналогично, наблюдая конкретную реализацию сигнала, можно, зная толщину ε -слоя, можно рассчитать интервальную оценку контролируемого параметра, при которой может наблюдаться данная реализация. Применительно к решению задачи расчета фильтров ε -слой может описывать вариации какой-либо описывающей его функции, например, АЧХ. Тогда при расчете фильтра нужно будет подобрать параметры его компонентов так, чтобы при их возможных допустимых вариациях АЧХ не вышла за границы заданного слоя. Можно также усилить постановку задачи, потребовав, чтобы при заданных допустимых вариаций параметров компонентов фильтра минимизировать толщину слоя, в которой могут наблюдаться вариации АЧ относительно ее идеального вида. Таким образом, метод ε -слоя позволяет свести задачу к однопараметрической путем построения функционала на пространстве непрерывных функций и последующей его минимизации. Рассмотрим особенности применения метода для оптимального проектирования активных фильтров.

Пусть $F(x, v)$ – функция, сохранение формы участков которой на оси ОХ составляет суть задачи оптимизации. Это может быть АЧХ, ФЧХ или модель фильтруемого сигнала. Соответственно, аргумент x может быть либо частотой, либо временем, а v – параметры формы частотной характеристики или обрабатываемого сигнала.

Построим семейство параметрических функций $F'(x, v, \varepsilon)$, зависящих от скалярного вещественного параметра ε , удовлетворяющих условию монотонности:

$$F'(x, v, \varepsilon_1) > F'(x, v, \varepsilon_2), \text{ при } \varepsilon_1 > \varepsilon_2. \quad (1)$$

При этом логично потребовать, чтобы $F(x, v) = F'(x, v, 0)$. Наиболее просто функцию $F'(x, v, \varepsilon)$, удовлетворяющую таким требованиям можно задать в виде

$$F'(x, v, \varepsilon) = F(x, v) + \varepsilon \quad (2)$$

В зависимости от характера решаемой задачи, наряду с (2), возможны и другие семейства параметрических функций $F'(x, v, \varepsilon)$. Например, при проектировании активных фильтров по минимуму отклонений ее передаточной функции можно использовать семейство функций вида

$$F'(x, v, \varepsilon) = F(x, v) + \varepsilon \text{ при } x \in X_0, \quad (3a)$$

$$F'(x, v, \varepsilon) = F(x, v) + \varepsilon \cdot k \cdot |x - x_0| \text{ при } x \in \text{not} X_0 \quad (3b)$$

где X_0 , - полоса пропускания фильтра, $k > 1$ – некоторый постоянный коэффициент.

Для произвольного малого смещения вектора параметров $v' = (v_1 + \Delta v_1, \dots, v_n + \Delta v_n)$ в области допустимых значений определим минимальное значение ε , для которого выполнено условие:

$$|F(x, v') - F(x, v)| < |F'(x, v, \varepsilon') - F(x, v)| \quad (4)$$

Целью оптимизации является определение точки оптимума v , для которой параметр ε' достигает минимального значения. Дополнительными ограничениями оптимизации могут быть условия вида:

$$\Delta v_i / v_i > \delta_{i, \min}, \text{ где } i \in 1 \dots n \quad (5)$$

При такой модификации метода ε -слоя возможно использование существующих методов оптимизации, поскольку, несмотря на сложный характер зависимости, величина ε является непрерывной функцией от параметров v_1, \dots, v_n . Для ускорения вычисления значения целевой

функции в одной точке был предложен алгоритм нахождения значения ε' , удовлетворяющего условию (4).

Алгоритм содержит следующие этапы:

1. Определяется исходный интервал $[\varepsilon_{\min}, \varepsilon_{\max}]$, на левом конце которого условие (4) заведомо не выполняется. Для этого достаточно положить начальное значение ε_{\min} равным 0.
2. Вычисляется середина интервала $\varepsilon_{\text{cp}} = (\varepsilon_{\min} + \varepsilon_{\max}) / 2$.
3. Если для значения ε_{cp} выполняется условие (4), полагаем $\varepsilon_{\min} = \varepsilon_{\text{cp}}$, в противном случае $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{\text{cp}}$.
4. Если разность $\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}$ больше заданной точности решения, выполняется переход к пункту 2.

В противном случае полагается, что $\varepsilon = \varepsilon_{\text{cp}}$ и поиск решения завершается.

Для ускорения проверки условия (4) можно воспользоваться свойством гладкости функции $F'(x, v, \varepsilon)$, что позволяет проверять это условие с большим шагом по x , или даже всего при нескольких значениях x , при которых левая часть неравенства принимает максимальные значения. Если же $F'(x, v, \varepsilon)$ описывается выражением (2), то есть полагается, что не имеет значения, при каких значениях x отклонения функции $F(x, v)$ от заданного вида из-за отклонений значений v максимальны, неравенство (4) примет вид:

$$|F(x, v') - F(x, v)| < \varepsilon. \quad (6)$$

В этом случае для нахождения величины ε достаточно найти экстремум левой части неравенства (6). Для еще большего ускорения поиска оптимума можно искать для (4) или (6) величину максимального отклонения не во всем диапазоне изменения x , а лишь в полосе пропускания фильтра, справедливо предполагая, что вне этой полосы любые отклонения передаточной функции в пределах допустимых вариаций v не окажут существенного влияния на свойства фильтра.

Рассмотрим теперь общую методику расчета активных фильтров с использованием модели ε - слоя. Для ее применения сначала нужно произвести расчет параметров элементов схемы фильтра с произвольным значением параметра любого из входящих в схему «свободных» элементов. Наиболее удобно в качестве такого элемента выбирать конденсаторы с емкостью, равной одному из значений емкости имеющейся в распоряжении разработчика номенклатуры конденсаторов. Если схема имеет высокий порядок, то таких элементов может оказаться несколько. После этого находятся значения параметров всех остальных элементов схемы без учета номенклатурного ряда, и запоминается функция $F(x, v)$, вид которой, по определению, не должен зависеть от величины параметров «свободных» элементов.

На следующем шаге выполняется собственно процедура оптимизации. В процессе оптимизации подбираются емкости «свободны» конденсаторов и рассчитываются соответствующие им значения параметров остальных элементов схемы (с учетом выбора их номиналов из соответствующего допуску номенклатурного ряда), чтобы обеспечить в при произвольном изменении этих параметров в пределах допуску минимальное отклонение $F(x, v)$ от ее исходного вида, задаваемое неравенством (6).

При выполнении процедуры оптимизации нужно учитывать тот факт, что стоимость конденсаторов с малым допуском существенно выше стоимости резисторов с аналогичным, или даже меньшим допуском. Если при расчете отклонение формы функции $F(x, v)$ от заданного вида окажется слишком велико, может потребоваться пересчет фильтра для меньших значений допустимых отклонений параметров резисторов и конденсаторов. И наоборот, если отклонения окажутся пренебрежимо малы, можно увеличить допуск на величины используемых в схеме емкостей, так как это приведет к удешевлению стоимости электронных компонентов фильтра в целом.

Обсуждение результатов. В соответствии с изложенной методикой был разработан программный комплекс для расчета и проектирования активных фильтров. Комплекс позволяет производить расчет в соответствии с выбранным типом фильтра, видом его передаточной

функции и ее параметров, а также схемной реализацией звеньев фильтра. Экранная форма для задания перечисленных параметров приведена на рис.1.

Помимо перечисленных выше параметров, в ней дополнительно задается: толщина слоя, то есть пределы, в которых может находиться отклонение АЧХ фильтра от требуемого вида; начальная емкость используемых в схеме конденсаторов; минимально допустимое отклонение сопротивлений, используемых в схеме резисторов от их номинальных значений; минимально допустимое отклонение емкостей, используемых в схеме конденсаторов от их номинальных значений.

The screenshot shows a software interface for configuring a filter. It includes a dropdown menu for 'Тип фильтра' (Filter Type) set to 'Фильтр низких частот' (Low-pass filter). Under 'Характеристика фильтра' (Filter Characteristic), the 'Баттерворт' (Butterworth) option is selected. The 'Параметры' (Parameters) section contains: 'Порядок фильтра' (Filter Order) set to 2, 'Толщина слоя' (Layer Thickness) set to 3 dB, 'Начальная емкость C' (Initial Capacitance C) set to 1 microfarad, 'Допуск конденсатора' (Capacitor Tolerance) set to 10%, and 'Допуск резистора' (Resistor Tolerance) set to 2%.

Рис.1. Главная экранная форма для ввода входных данных

Fig.1. Main screen form for input of input data

После выполнения расчета в отдельное окно выводятся графики АЧХ фильтра (рис. 1), а также номинальные значения для всех входящих в схему пассивных элементов (рис. 3)

На графике АЧХ (рис. 2) приводится характеристика фильтра для идеальных значений параметров, использованных в его схеме элементов, а также максимально возможные границы положительного и отрицательного отклонений АЧХ от идеального случая, вызванные максимально допустимыми совокупными отклонениями емкостей и сопротивлений резисторов и конденсаторов от их номинальных значений.

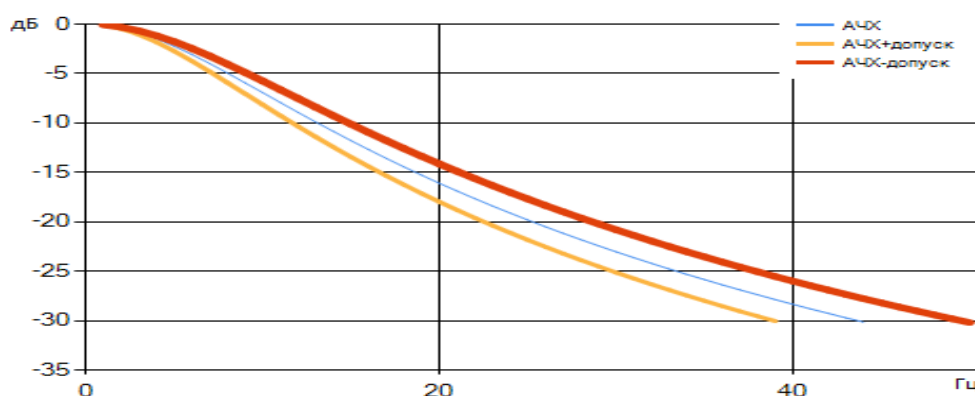


Рис. 2. Результаты расчета АЧХ по исходным данным, приведенным на рис. 1

Fig. 2. Results of the AFC calculation from the initial data given in Fig. 1

The screenshot displays the calculated component values for the filter. It shows: R1 = 100 Ом, R2 = 70 Ом, C1 = 1.1 мкФ, and C2 = 0.8 мкФ.

Рис.3. Результаты расчета фильтра по исходным данным, приведенным на рис.1.

Fig.3. Results of calculation of the filter according to the initial data given in Fig. 1

На рисунках 4-6 приведен другой пример использования разработанного комплекса для расчета низкочастотного фильтра Чебышева четвертого порядка. Фильтр содержал два идентичных звена с коэффициентом передачи, равным двум ($K=2$, $R=10k$).

Принципиальная электрическая схема звеньев, взятая из [22 - 23], приведена на рис. 7. Для приведенных на рис. 2-3 данных схема фильтра содержала одно такое же звено с таким же коэффициентом передачи.

Рис. 4. Входные данные для расчета низкочастотного фильтра Чебышева четвертого порядка
 Fig.4. Input data for the calculation of the Chebyshev low-frequency filter of the fourth order

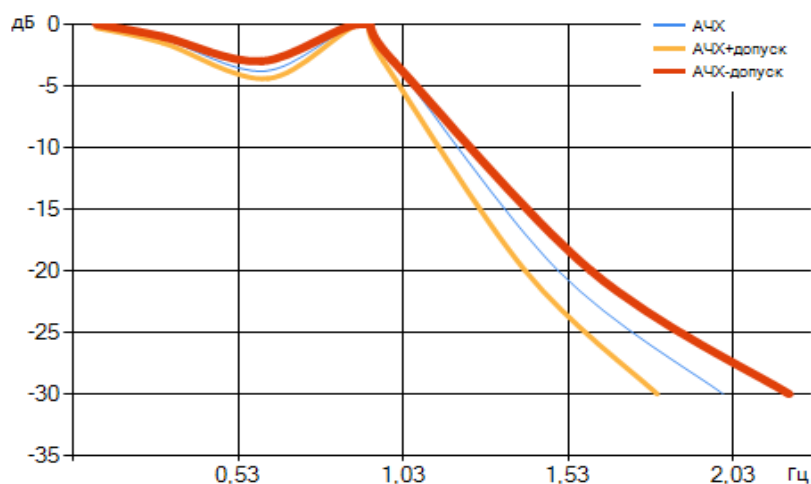


Рис. 5. Результаты расчета АЧХ фильтра по исходным данным, приведенным на рис. 4
 Fig. 5. The results of calculating the frequency response of the filter from the initial data shown in Fig. 4

Рис. 6. Результаты расчета фильтра по исходным данным, приведенным на рис. 4
 Fig.6. Results of calculation of the filter from the initial data, shown in Fig. 4

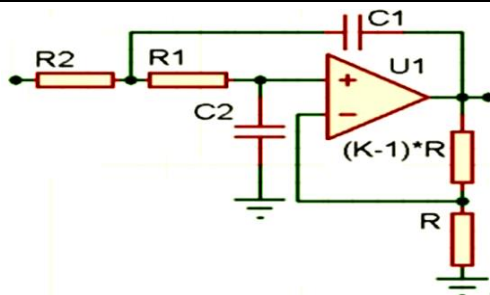


Рис.7. Схема электрическая принципиальная звена низкочастотных фильтров
Fig.7. Schematic diagram of the electrical circuit of low-frequency filters

Как видно из приведенных графиков (рис. 2, 5), использование предложенного в данной работе метода оптимизации обеспечило подбор таких значений параметров пассивных элементов схемы, при которых относительное отклонение формы АЧХ фильтров от ее идеального вида оказалось меньше значений допустимых отклонений входящих в их схему параметров пассивных элементов. При этом допуски на отклонения емкостей конденсаторов от их номинальных значений составляют 10%, что позволяет существенно снизить стоимость электронных компонентов фильтра.

Вывод. В разработанном программном комплексе пока не реализована возможность подбора фактически требуемых допусков для отдельных элементов схемы. Хотя, как показали исследования, отклонения АЧХ, обусловленные отклонениями емкостей и сопротивлений зависят от того, в каком месте схемы установлен тот или иной компонент, а также от того, по какой схеме собраны звенья фильтров.

Кроме того, отклонения различных элементов схем, вызванные температурными изменениями, коррелированы и не являются взаимно независимыми. Поэтому в дальнейшем предполагается учесть данные особенности в алгоритмической и программной реализации предложенного метода и тем самым дополнительно повысить качество расчетов, исключив завышение требований к величине допустимых отклонений параметров, использованных в схеме фильтра пассивных электронных компонентов.

Библиографический список:

1. Тушев А.Н. Методы расчета активных фильтров в медицинских диагностических системах: Дис. /Алт.гос.технолог. ун-т им. И.И. Ползунова. – Брн.,1997. URL: <http://tekhnosfera.com/metody-rascheta-aktivnyh-filtrov-v-meditainskih-diagnosticheskikh-sistemah>.
2. Wang Yu (王彧), Liu Jing (刘静), Yan Na (闫娜), Min Hao (闵昊) A low-noise widely tunable Gm-C filter with frequency calibration// J. Semicond. 2016.- Vol 37.- №9 095002 doi:10.1088/1674-4926/37/9/095002.- URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-4926/37/9/095002/pdf> -
3. Wakamatsu T, Yamanashi Yu, Yoshikawa N. High-Speed Superconductive Decimation Filter for Sigma-Delta Analog to Digital Converter // Journal of Physics: Conference Series, 2017 1742-6596 Vol 87, conference 1, 012068 doi:10.1088/1742-6596/871/1/012068.- URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/871/1/012068/pdf>
4. Boustani B., Torabi S., Javaherian A., Mortazavi S.A. Ground roll attenuation using a curvelet-SVD filter: a case study from the west of Iran / J. Geophys. Eng. 2013,10 055006 doi:10.1088/1742-2132/10/5/055006 URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-2132/10/5/055006/pdf>
5. Filters. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-8/what-is-a-filter/>
6. Расчет аналогового фильтра. Постановка задачи и способы аппроксимации АЧХ идеального нормированного ФНЧ. URL: <http://www.dsplib.ru/content/filters/ch2/ch2.html>
7. Second Order Filters. URL: <http://www.electronics-tutorials.ws/filter/second-order-filters.html>
8. Viztmuller, P. RF Design Guide: Systems, Circuits, and Equations. – Artech House, 1995. – С. 81-84.
9. Miroslav D. Lutovac. Filter Design for Signal Processing using MATLAB© and Mathematica©. – New Jersey, USA.: Prentice Hall, 2001
10. Williams Artur B. Analog Filter and Circuit Design Handbook. – NY.: Mc Graw Hill, 2006.-619 с.
11. M.E. Van Valkenburg. Analog Filter Design. – NY.: Oxford University Press, 1982. – 607с.
12. Bowick C. RFCircuit Design. - .UK: Newnes, 2008. – 242 с.
13. Palmer R. An Introduction To RF Circuit Design For Communication Systems. – Canada.: VE7AP, 2016. – 335с.

14. Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация. Пер. с англ. Г. Лэм. -М.: Мир, 1982. - 592 с.
15. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров. Пер. с англ. -М.: Мир, 1984. -320 с.
16. Karki J. Active Low-Pass Filter Design //Application Report SLOA049A – Texas Instrument, October 2000. 24pp. -URL: <http://www.science.unitn.it/~bassi/Signal/TInotes/sloa049.pdf>
17. Lacanette K. A Basic Introduction to Filters - Active, Passive, and Switched-Capacitor//National Semiconductor Application Note 779, April 1991.-22pp. URL: <http://www.science.unitn.it/~bassi/Signal/TInotes/sloa049.pdf>
18. Сучкова Л.И., Якунин А.Г. Нахождение интервальных оценок параметров квазидетерминированных процессов с применением модели ϵ -слоя//Материалы Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы математики и механики»- Самара, 2013. – С. 151-153.
19. Сучкова Л.И., Якунин А.Г. Прогнозирование нештатных ситуаций в системах контроля и управления на основе модели ϵ -слоя Л.И.//Материалы 10 Международной конференции «Измерение, контроль, информатизация». - Барнаул: АлтГТУ, 2009.- С. 103-105.
20. Сучкова Л.И., Якунин А.Г. Оценка параметров квазидетерминированных информативных сигналов методом ϵ -слоя Л.И.//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. № 4 -2011. - С.11-22.
21. Якунин А.Г. Тищенко А.Н. Применение моделей ϵ -слоев для моделирования сигналов ОЭПП. // Измерения и контроль при автоматизации производственных процессов. Барнаул, АлтГТУ, 1994.
22. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров. Пер. с англ. В.А. Старостина - М.: Советское радио, 1974. - 286 с.
23. Джонсон Д. Справочник по активным фильтрам. Пер с англ. Д. Джонсон. – М. 1983. -128 с.

References:

1. Tushev A.N. Metody rascheta aktivnykh fil'trov v meditsinskikh diagnosticheskikh sistemakh: Dissertatsiya. Altai gos. tekhnolog. un-t im. I.I. Polzunova. Barnaul, 1997. URL: <http://tekhnosfera.com/metody-rascheta-aktivnykh-filtrov-v-meditsinskikh-diagnosticheskikh-sistemah>. [Tushev A.N. Methods of calculation of active filters in medical diagnostic systems: Dissertation. 2Polzunov Altai State Technical University. Barnaul, 1997. URL: <http://tekhnosfera.com/metody-rascheta-aktivnykh-filtrov-v-meditsinskikh-diagnosticheskikh-sistemah>. (In Russ.)]
2. Wang Yu (王彧), Liu Jing (刘静), Yan Na (闫娜), Min Hao (闵昊). A low-noise widely tunable Gm-C filter with frequency calibration. J. Semicond. 2016;37(9):095002 doi:10.1088/1674-4926/37/9/095002. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-4926/37/9/095002/pdf>.
3. Wakamatsu T., Yamanashi Yu., Yoshikawa N. High-Speed Superconductive Decimation Filter for Sigma-Delta Analog to Digital Converter. Journal of Physics: Conference Series. 2017; 87:1742-6596.Confrence 1, 012068 doi:10.1088/1742-6596/871/1/012068. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/871/1/012068/pdf>.
4. Boustani B., Torabi S., Javaherian A., Mortazavi S.A. Ground roll attenuation using a curvelet-SVD filter: a case study from the west of Iran. J. Geophys. Eng. 2013;10:055006 doi:10.1088/1742-2132/10/5/055006.URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-2132/10/5/055006/pdf>.
5. Filters. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-8/what-is-a-filter>.
6. Raschet analogovogo fil'tra. Postanovka zadachi i sposoby approksimatsii AChKh ideal'nogo normirovannogo FNCh. URL: <http://www.dsplib.ru/content/filters/ch2/ch2.html>[Calculation of the analog filter. Statement of the problem and methods for approximating the AFC of an ideal normalized LFF (in Russ.)]
7. Second Order Filters. URL: <http://www.electronics-tutorials.ws/filter/second-order-filters.html>
8. Vizmuller P. RF Design Guide: Systems, Circuits, and Equations. Artech House; 1995. P. 81-84.
9. Lutovac M.D. Filter Design for Signal Processing using MATLAB© and Mathematica©. New Jersey, USA: Prentice Hall; 2001.
10. Williams A.B. Analog Filter and Circuit Design Handbook. NY: Mc Graw Hill; 2006. 619 p.
11. Van Valkenburg M.E. Analog Filter Design. NY: Oxford University Press; 1982. 607 p.
12. Bowick C. RFCircuit Design. UK: Newnes; 2008. 242 p.
13. Palmer R. An Introduction to RF Circuit Design For Communication Systems. Canada: VE7AP; 2016. 335 p.
14. Lem G. Analogovye i tsifrovye fil'try. Raschet i realizatsiya. M.: Mir; 1982. 592 s. [Lem G. Analog and digital filters. Calculation and implementation. M.: Mir; 1982. 592 p. (In Russ.)]
15. Moshits G., Khorn P. Design of active filters. M.: Mir; 1984. 320 s. [Moshits G., Khorn P. Proektirovanie aktivnykh fil'trov. M.: Mir; 1984. 320 p. (In Russ.)]
16. Karki J. Active Low-Pass Filter Design. Application Report SLOA049A – Texas Instrument, October 2000. 24p. URL: <http://www.science.unitn.it/~bassi/Signal/TInotes/sloa049.pdf>.
17. Lacanette K. A Basic Introduction to Filters - Active, Passive, and Switched-Capacitor. National Semiconductor Application Note 779, April 1991. 22p. URL: <http://www.science.unitn.it/~bassi/Signal/TInotes/sloa049.pdf>.
18. Suchkova L.I., Yakunin A.G. Nakhozhdenie interval'nykh otsenok parametrov kvazideterminirovannykh protsessov s primeneniem modeli ϵ -sloya. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii "Aktual'nye problemy matematiki i mekhaniki". Samara; 2013. S. 151-153. [Suchkova L.I., Yakunin A.G. Finding interval estimates for

- parameters of quasidetermined processes using the ε -layer model. Materials of the All-Russian scientific conference "Relevant issues of mathematics and mechanics"; 2013. P. 151-153. (In Russ.)]
19. Suchkova L.I., Yakunin A.G. Prognozirovaniye neshtatnykh situatsiy v sistemakh kontrolya i upravleniya na osnove modeli ε -sloya. Materialy 10 Mezhdunarodnoy konferentsii "Izmereniye, kontrol', informatizatsiya". Barnaul: AltGTU; 2009. S. 103-105. [Suchkova L.I., Yakunin A.G. Prediction of abnormal situations in control and management systems based on the ε -layer model. Materials of the 10th International Conference "Measurement, Control, Informatization". Barnaul: AltSTU; 2009. P. 103-105. (In Russ.)]
 20. Suchkova L.I., Yakunin A.G. Otsenka parametrov kvazideterminirovannykh informativnykh signalov metodom ε -sloya. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2011;4:11-22. [Suchkova L.I., Yakunin A.G. Estimation of parameters of quasideterministic informative signals by the ε -layer method. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2011;4:11-22. (In Russ.)]
 21. Yakunin A.G. Tishchenko A.N. Primeneniye modeley ε -sloev dlya modelirovaniya signalov OEPP. Izmereniya i kontrol' pri avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov. Barnaul: AltGTU; 1994. [Yakunin A.G. Tishchenko A.N. The use of ε -layer models for modeling the signals of the OEPP. Measurement and control in the automation of production processes. Barnaul: AltSTU; 1994. (In Russ.)]
 22. Khanzel G.E. Spravochnik po raschetu fil'trov. M.: Sovetskoe radio; 1974. 286 s. [Khanzel G.E. Handbook on the calculation of filters. Moscow: Sovetskoe radio; 1974. 286 p. (In Russ.)]
 23. Dzhonson D. Spravochnik po aktivnym fil'tram. M.: 1983; 128 s. [Dzhonson D. Reference book on active filters. M.: 1983; 128 p. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Пыльский Вадим Андреевич – магистрант.

Якунин Алексей Григорьевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики, вычислительной техники и информационной безопасности.

Information about the authors:

Vadim A. Pylsky - Post-graduate student.

Alexey G. Yakunin – Dr. Sci. (Technical), Prof., Head of the Department of Informatics, Computer Science and Information Security.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 02.08.2017.

Received 02.08.2017.

Принята в печать 15.09.2017.

Accepted for publication 15.09.2017

Для цитирования: Абрамкина Д.В. Моделирование свободноконвективных течений в системах вентиляции с тепловым побуждением. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):136-145. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-136-145

For citation: Abramkina D.V. Simulation of free current flows in buoyancy-driven ventilation systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3):136-145. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-136-145

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 697.952.2

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-136-145

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОКОНВЕКТИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ С ТЕПЛОВЫМ ПОБУЖДЕНИЕМ

Абрамкина Д.В.

Национальный исследовательский Московский строительный университет,
129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия,
e-mail:dabramkina@ya.ru

Резюме: *Цель.* Главной целью исследования является анализ влияния конструкции и способов подогрева вентиляционного канала системы с тепловым побуждением на формирование свободных конвективных течений воздуха в нем. **Метод.** Исследование свободной конвекции в условиях внутренней задачи проводилось с помощью программного обеспечения CFD, основанного на методе конечного объема с неструктурированной сеткой. В качестве расчетного инструмента исследования использовалась программа AnsysFluent, имеющая высокий уровень сходимости численных решений и натурных измерений конвективных течений. Для оценки достоверности полученных результатов используется процедура валидации, которая позволяет определить, насколько точно выбранная концептуальная модель описывает исследуемое течение путем сравнения экспериментальных и численных данных. **Результат.** В статье представлены результаты численного моделирования свободноконвективных потоков, возникающих в нагреваемом канале системы вентиляции последнего этажа многоэтажного жилого здания. В ходе исследования были выявлены зависимости скорости движения воздуха на входе в вентиляционный канал от расчетной разницы температур θ , °C при различных способах нагрева. При расчетной разнице температур $\theta > 20$ °C наблюдается постепенное увеличение расхождения результатов численного моделирования и эксперимента. Данное явление связано с тем, что при увеличении температуры кабеля достичь равномерного прогрева вентиляционного канала в реальных условиях достаточно трудно, что особенно заметно при рассмотрении варианта с нагревом вертикальной части воздуховода и отвода. При этом максимальное отклонение полученных результатов составляет 4,4%. Представленные профили скоростей в расчетных сечениях показывают влияние вентиляционного отвода на характер движения потоков воздуха. **Вывод.** Одним из недостатков существующих систем естественной вентиляции жилых зданий является низкая эффективность работы в теплый и переходный периоды года, особенно в помещениях санитарных узлов. Применение теплового побуждения с вертикальным подогревом вентиляционного канала совместно с отводом позволяет обеспечить стабильный воздухообмен в помещениях.

Ключевые слова: свободная конвекция, тепловое побуждение, вентиляция, микроклимат, воздухообмен

TECHNICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

SIMULATION OF FREE CURRENT FLOWS IN BUOYANCY-DRIVEN
VENTILATION SYSTEMS

Abramkina D.V.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),
26 Yaroslavskoye highway, Moscow 129337, Russia,
e-mail: dabramkina@ya.ru

Abstract Objectives. The aim of the study is to analyse the effect of the design and methods for heating the ventilation duct of a buoyancy-driven system on the formation of free convective air currents in it. **Methods.** The study of free convection under the conditions of interior problem was carried out using the CFD software, based on the finite volume method with unstructured grid. Ansys Fluent software was used as a calculation tool in the study, due to its having a high convergence of numerical solutions offering full-scale measurements of convective currents. To evaluate the reliability of the results obtained, a validation procedure was carried out, allowing us to determine how accurately the selected conceptual model describes the investigated flow through a comparison of experimental and numerical data. **Results.** The results of numerical modelling of free convective currents occurring in the heated channel of the ventilation system of the top floor of a multi-storey residential building are presented in the article. In the course of the study, the air velocity at the entrance to the ventilation duct was found to depend on the calculated temperature difference θ °C for various heating methods. A gradual increase in the discrepancy between the numerical simulation and experimental results is observed if the calculated temperature difference $\theta > 20$ °C. This phenomenon is due to the fact that with increased duct temperature, it is quite difficult to achieve even heating under actual conditions; this is especially noticeable when considering the variant when the vertical part of the vent duct and the take-off are both heated. The maximum deviation of the results is 4.4%. The obtained velocity profiles in the calculated sections indicate the impact of the ventilation take-off on the nature of the air flow motion. **Conclusion.** One of the drawbacks of the existing systems of natural ventilation of residential buildings is the low efficiency of work in the warm and transitional periods of the year, especially in bathrooms. The use of buoyancy-driven ventilation with vertical heating of the vent duct combined with the take-off allows a stable air exchange in the rooms to be provided.

Keywords: free convection, buoyancy-driven, ventilation, microclimate, air exchange

Введение. Существующие каналные системы естественной вентиляции жилых зданий обладают рядом недостатков. Если в холодный период года естественная вентиляция в полной мере обеспечивает создание и поддержание требуемых параметров внутреннего микроклимата в помещении, то в теплый и переходный периоды (при температуре наружного воздуха выше 5°C) работа систем оказывается нестабильной [1].

Фактически, в данное время года, вентиляция квартир осуществляется в основном за счет организации естественного проветривания, однако, данный подход порождает проблему поддержания расчетного воздухообмена в помещениях санитарных узлов [2]. Кроме того, установка осевых вентиляторов, сплит-систем и современных пластиковых окон значительно меняет аэродинамику естественной вентиляции, тем самым порождая целый ряд проблем: возникновение обратной тяги, ухудшение качества внутреннего воздуха, образование грибков и плесени в санитарном узле.

Для обеспечения стабильной работы естественной вентиляции типовых многоэтажных зданий используются специализированные методики, принципы работы которых, можно разделить на три группы: гибридные системы [3-4], системы с ветровым [5-6] и тепловым побуждением [7]. До настоящего момента, в современных научных исследованиях, касающихся теплового побуждения систем вентиляции [8-11] рассматривались исключительно системы с радиа-

ционным подогревом вентиляционных каналов. Однако в условиях холодного климата существует ряд препятствий, которые зачастую приводят данную систему в нерабочее состояние [12]. В данной статье представлен метод теплового побуждения канальных систем вентиляции, на основе которого было проведено численное моделирование свободноконвективных течений с целью определения наиболее эффективных способов подогрева вентиляционного канала.

Постановка задачи. В настоящее время в современных многоэтажных монолитных жилых домах проектируются системы естественной вентиляции с вертикальным сборным каналом, выполненные из стальных воздуховодов прямоугольного и круглого сечения.

Загрязненный воздух из помещения через вытяжную решетку поступает в ответвление вентиляционного канала, называемого «спутником», и далее в междуэтажном перекрытии над следующим этажом перепускается в магистральный сборный канал – «ствол» [13]. При этом последний и предпоследний этаж, имеют собственную, отдельную систему. Квартиры, расположенные на последних этажах находятся в наиболее сложной ситуации с точки зрения аэродинамики естественной вентиляции, вследствие низкого уровня располагаемого напора, зависящего от длины вентиляционного канала. Таким образом, в качестве расчетной модели для исследования свободной конвекции была принята система последнего этажа.

Физическая постановка задачи исследования: рассматривается формирование свободноконвективных течений в незамкнутой ограниченной области Ω_1 , возникающее за счет наличия пространственной неоднородности плотности, вызванной неоднородностью температуры (рис. 1).

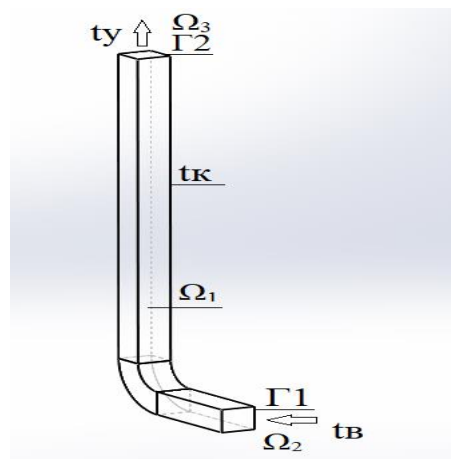


Рис.1 Схема расчетной модели
 Fig.1 Scheme of the calculation model

Γ_1 является входным сечением, через которое воздух из помещения (область Ω_2) с температурой t_v и давлением P_v поступает в канал. Γ_2 – выходной сечение, через которое воздух с температурой t_y удаляется в атмосферу (Ω_3). Условная температура на стенке вентиляционного канала принимается равной t_k .

Методы исследования. Представленная задача формирования свободно конвективных течений описывается уравнениями Обербека-Буссинеска [14]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \cdot v = -\frac{1}{\rho} \cdot \left(\frac{\partial p_x}{\partial x} + \frac{\partial p_y}{\partial y} + \frac{\partial p_z}{\partial z} \right) + v \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + g \cdot \beta \cdot T \\ v \cdot \left(\frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial T_y}{\partial y} + \frac{\partial T_z}{\partial z} \right) = \chi \cdot \left(\frac{\partial^2 T_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_z}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

где, v - скорость движения воздушного потока, м/с;
 p - конвективная добавка к гидростатическому давлению, соответствующему средним температуре и плотности, Па;
 $\bar{\rho}$ - средняя плотность, кг/м³;

T - температура, отсчитываемая от некоторого среднего значения, К;

g - ускорение силы тяжести, м/с^2 ;

ν и χ - коэффициенты кинематической вязкости ($\text{м}^2/\text{с}$) и температуропроводности ($\text{м}^2/\text{с}$), предполагаемые постоянными;

β - объемный коэффициент теплового расширения, $1/\text{К}$.

Основные предположения, используемые для построения математической модели:

1. Движение воздуха в канале, обусловленное наличием свободной конвекции, возникает из-за разности плотностей воздуха в помещении и в рассматриваемой области вентиляционного канала Ω_1 ;
2. Предполагается, что неоднородности плотности, вызванные неоднородностью давления малы, и ими можно пренебречь [15]. Возникновение конвективных течений определяет наличие теплового расширения воздушных масс у нагретых поверхностей.

Для описания зависимости плотности от температуры используется линейная аппроксимация [15]:

$$\rho = \bar{\rho} \cdot (1 - \beta \cdot \Delta T), \quad (2)$$

где, ΔT – отклонение температуры от равновесного состояния.

4. Воздух в канале прозрачен для теплового излучения стенок;
5. Воздух во внешних областях Ω_2 и Ω_3 покоится, а распределение давлений в них определяется гидростатикой [16];
6. Задача является стационарной;
7. Режим движения воздуха является ламинарным;
8. В связи с тем, что в уравнение Обербека - Буссинеска входит величина действующего давления, представляющая собой разность действительного и гидростатического давления, то во входном сечении Γ_1 и выходном сечении Γ_2 задается условие $p = 0$ [16].

В качестве расчетного инструмента исследования использовалась программа AnsysFluent, имеющая высокий уровень сходимости численных решений и натуральных измерений конвективных течений [17-19].

Обсуждение результатов. Одним из основных искомых параметров численного моделирования являлась скорость движения воздуха на входе в вентиляционный канал v_1 , м/с (рис.2). Как показали проведенные исследования, v_1 значительно зависит от расчетной разности температур $\theta = t_k - t_b$, $^{\circ}\text{C}$.

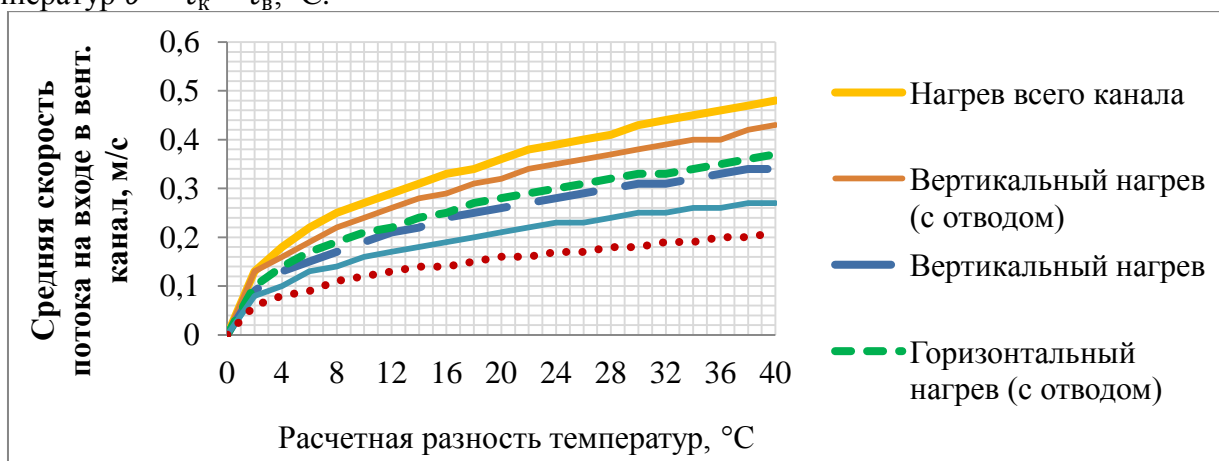


Рис.2. Графики зависимости средней скорости на входе в вентиляционный канал v_1 , м/с при различных способах его нагрева в зависимости от расчетной разности температур θ , $^{\circ}\text{C}$
 Fig. 2. Graphs of the dependence of the average velocity at the inlet to the ventilation channel v_1 , m/s , for various methods of heating it, depending on the calculated temperature difference θ , $^{\circ}\text{C}$

Исходя из представленных графиков (рис.2), можно сделать вывод, что наиболее эффективным способом теплового побуждения является нагрев всего вентиляционного канала.

Однако в связи с тем, что при монтаже системы длина горизонтального участка зависит от месторасположения вытяжной решетки и вентиляционной шахты, для унификации полученной схемы предлагается производить нагрев вертикальной части канала.

Согласно [20], при конструировании системы естественной вентиляции с вертикальным сборным каналом необходимо стремиться к минимальной длине «спутника», но не менее 2м.

На рис.3 и рис.4 представлено сравнение двух расчетных моделей с вертикальным нагревом с отводом (вариант 2) и без него (вариант 1). Длина вертикального участка принималась равной 2м.

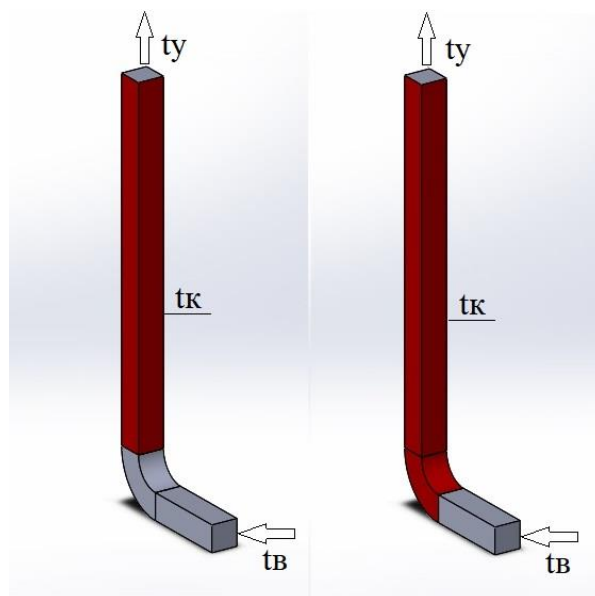


Рис. 3 Схемы вентиляционного канала с вертикальным подогревом:
слева – вариант 1, справа – вариант 2

Fig. 3 Schemes of the ventilation duct with vertical heating:
on the left - option 1, on the right - option 2

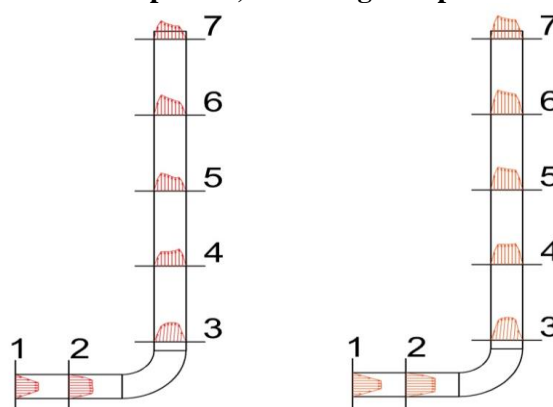


Рис. 4. Профили скоростей для варианта 1 и варианта 2 при расчетной разнице температур $\theta=10^{\circ}\text{C}$

Fig. 4. Speed profiles for option 1 and option 2 for the calculated temperature difference $\theta = 10^{\circ}\text{C}$

Представленные профили скоростей показывают, что дополнительный нагрев отвода позволяет выровнять поток воздуха, проходящий через вентиляционный канал.

Начиная с сечения 4, происходит постепенное формирование развитого конвективного течения, характерной особенностью которого является наличие седлообразного профиля скоростей [12], который возникает в связи с тем, прогрев пристеночных слоев происходит быстрее, чем ядра потока.

Для оценки достоверности полученных результатов используется процедура валидации, которая позволяет определить, насколько точно выбранная концептуальная модель описывает исследуемое течение путем сравнения экспериментальных и численных данных [21].

Экспериментальная установка состоит из стального оцинкованного воздуховода, толщиной 0,5 мм (рис. 5). Нагрев канала осуществляется с помощью резистивной греющей ленты ЭНГЛ-1 (шаг прокладки кабеля составил 90 мм), которая подключается к сети переменного тока через терморегулятор АРТ-18-10Н. Стандартная разница между температурами включения и выключения (гистерезис) терморегулятора составляет 2°C.

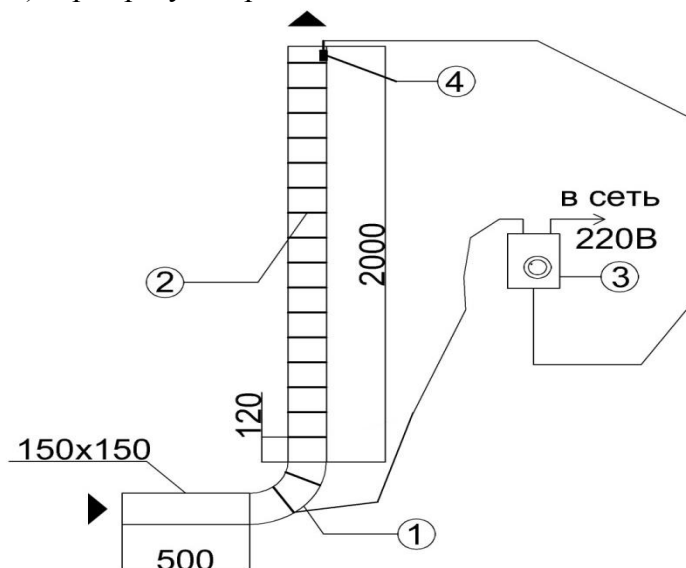


Рис. 5. Схема экспериментальной установки: 1 – воздуховод, 2 – резистивная нагревательная лента, 3 – терморегулятор, 4 – датчик температуры

Fig. 5. Scheme of the experimental installation: 1 - air duct, 2 - resistive heating tape, 3 - temperature controller, 4 - temperature sensor

Для обеспечения максимального контакта между нагревательным кабелем и воздуховодом использовалась самоклеющаяся алюминиевая армированная лента (рис. 6).

На месте контроля температуры был закреплен термоэлектрический датчик КТЧ-81-110, позволяющий изменять расчетную разницу температур θ , °C.

Для снижения тепловых потерь, снаружи вентиляционного канала прокладывается теплоизоляционный слой, таким образом, чтобы «холодный конец» кабеля оставался снаружи.



Рис.6. Фото экспериментальной установки

слева: прокладка резистивного греющего кабеля ЭНГЛ-1, справа: фиксация кабеля с помощью армированной ленты

Fig.6. Photo of the experimental setup

On the left: the laying of the resistance heating cable ENGL-1, on the right: fixing the cable with reinforced tape

Измерение осевой скорости и температуры воздушного потока на входе и выходе из вентиляционного канала производилось с помощью многофункционального прибора Testo AG 435-4, оборудованного зондом с обогреваемой струной со встроенным сенсором температуры и влажности на телескопической рукоятке. Модель прибора внесена в Государственный Реестр Средств измерений РФ.

При расчетной разнице температур $\theta > 20$ °С наблюдается постепенное увеличение расхождения результатов численного моделирования и эксперимента (рис.7).

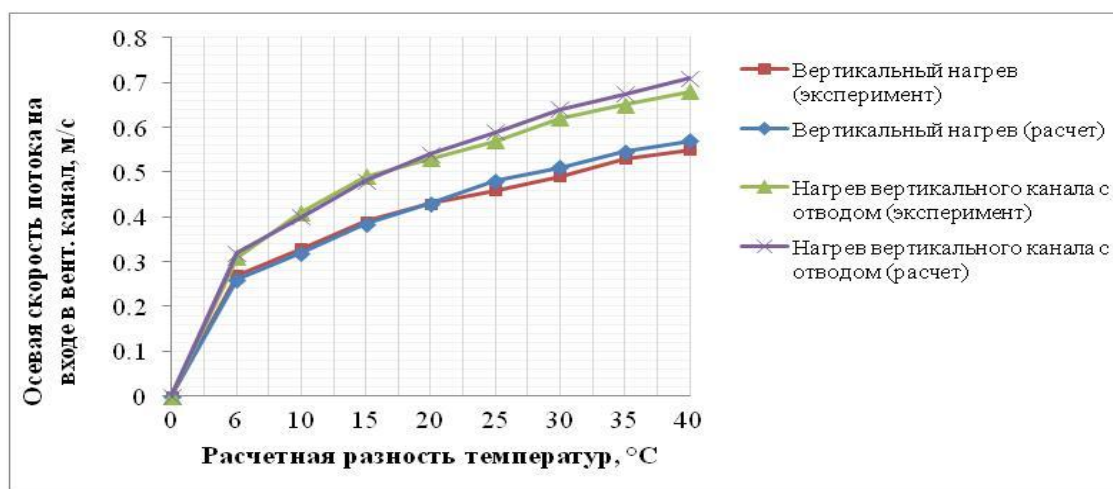


Рис.7. Сравнение результатов численного моделирования и эксперимента. Графики осевой скорости потока на входе в вентиляционный канал при различных способах нагрева в зависимости от расчетной разности температур
Fig.7. Comparison of the results of numerical simulation and experiment. Graphs of the axial flow velocity at the inlet to the ventilation duct for various heating methods depending on the calculated temperature difference

Данное явление связано с тем, что при увеличении температуры кабеля достичь равномерного прогрева вентиляционного канала в реальных условиях достаточно трудно, что особенно заметно при рассмотрении варианта с нагревом вертикальной части воздуховода и отвода. При этом максимальное отклонение полученных результатов составляет 4,4%.

Вывод. Проведенное экспериментальное исследование позволяет сделать вывод как о достоверности результатов экспериментов в рассматриваемом диапазоне значений основных параметров, так и о возможности CFD моделирования свободноконвективных течений в условиях внутренней задачи.

Из проведенных теоретических исследований, можно сделать вывод, что существующие системы естественной вентиляции жилых зданий не способны обеспечить требуемый микроклимат в помещении в течение всего года.

Тепловое побуждение является одной из технологий повышения эффективности работы систем вентиляции.

Численное моделирование канальной системы вентиляции с тепловым побуждением показало, что вертикальный нагрев канала совместно с отводом, с одной стороны позволяет создать стабильный поток воздуха, с другой стороны, является наиболее удобным при монтаже системы.

Библиографический список:

1. Ватин Н.И. Системы вентиляции жилых помещений многоквартирных домов: учебное пособие. / Н.И. Ватин, Т.В. Самопляс. – СПб.: Изд. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2004. – 66 с.
2. Ливчак И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий / И.Ф. Ливчак, А.Л. Наумов. - М.: АВОК-Пресс, 2005. – 133 с.
3. CIBSE - Mixed mode ventilation: CIBSE applications manual AM 13. - London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 2000. – 77p.
4. Бобровицкий И.И., Шилкин Н.В. Гибридная вентиляция в многоэтажных жилых зданиях. / И.И. Бобровицкий, Н.В. Шилкин // АВОК – 2003. - №10. – с. 16-27.
http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4573

5. T. van Hooff. A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. / T. van Hooff, B. Blocken, L. Aanen, B. Bronsema // *Building and Environment* – 2011. - № 46. – p. 1797-1807. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311000576>
6. Kleiven T. Natural ventilation in buildings: architectural concepts, consequences and possibilities: PhD thesis / Tommy Kleiven – Norwegian University of Science and Technology, 2003. – 305 p. https://www.researchgate.net/profile/Tommy_Kleiven/publication/267243303_Natural_Ventilation_in_Buildings_Architectural_concepts_consequences_and_possibilities/links/544e3c7d0cf26dda088e9459/Natural-Ventilation-in-Buildings-Architectural-concepts-consequences-and-possibilities.pdf
7. Харитонов В.П. Естественная вентиляция с побуждением / В.П. Харитонов // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК) – 2006. - №3. – с. 46-55. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3201
8. Bansal N.K. Solar chimney for enhanced stack ventilation / N.K. Bansal, R. Mathur, M. Bhandari // *Building and Environment* – 1993 – V. 28. № 3. – p. 373-377. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360132393900422>
9. Hirunlabh J. New configurations of a roof solar collector maximizing natural ventilation / J. Hirunlabh, S. Wachirapuwadon, N. Pratinthong, J. Khedari // *Building and Environment* – 2001. - Vol. 36 - №. 3. - p. 383-391. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132300000160>
10. Lal S. Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning / S. Lal, S.C. Kaushik, P.K. Bhargav // *International Journal of Development and Sustainability* – 2013. – Vol.2 - № 1. – p. 277-279 <https://isdsnet.com/ijds-v2n1-20.pdf>
11. Tongbai P. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation / P. Tongbai, T. Chitsomboon // *Journal of power and energy engineering* – 2014. - №2. – p. 22-29. https://file.scirp.org/pdf/JPEE_2014060916330973.pdf
12. Рымаров А.Г., Абрамкина Д.В. Системы естественной вентиляции с тепловым побуждением / А.Г. Рымаров, Д.В. Абрамкина // *Научное обозрение* – 2016. №9 – с. 43-46. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26206445>
13. Малявина Е.Г., Китайцева Е.Х. Естественная вентиляция жилых зданий / Е.Г. Малявина, Е.Х. Китайцева // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК) – 1999. - № 3. – с. 35-43. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=67
14. Остроумов Г.А. Свободная конвекция в условиях внутренней задачи / Г.А. Остроумов. – М.-Л.: ГИТТЛ, 1952. – 286 с.
15. Гершуни Г.З. Устойчивость конвективных течений / Г.З. Гершуни, Е.М. Жуховицкий, А.А. Непомнящий. – М: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 320 с.
16. Варапаев В.Н. Математическое моделирование задач внутренней аэродинамики и теплообмена зданий / В.Н. Варапаев, Е.Х. Китайцева. – М.: Изд. СГА, 2008. – 337 с.
17. Кузнецов Г.В. Естественная конвекция в замкнутом параллелепипеде при наличии локального источника энергии. / Г.В. Кузнецов, В.И. Максимов, М.А. Шеремет // *Прикладная механика и техническая физика* – 2013 – Т. 54 № 4. – с. 86-95. <http://www.sibran.ru/upload/iblock/3a3/3a3fe0339a7a2861ffedf697d79a4e8f.pdf>
18. Obula Reddy Kummitha, Pandey K.M. Experimental and numerical analysis of forced convection heat transfer in turbulent flows / Obula Reddy Kummitha, K.M. Pandey // *Procedia Engineering* – 2015. - №127. – p. 711-718. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815037352>
19. Труфанова Н.М., Навалихина Е.Ю., Марковский М.В. Математическое моделирование нестационарных процессов тепломассопереноса в прямоугольном кабельном канале. / Н.М. Труфанова, Е.Ю. Навалихина, М.В. Марковский // *ВЕСТНИК ПНИПУ* – 2014. - № 11. – с. 55-66. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-estestvennoy-i-vynuzhdennoy-ventilyatsii-na-protsessy-protokayushchie-v-kabelnom-kanale>
20. Справочное пособие к СНиП 2.08.01-89. Отопление и вентиляция жилых зданий. – М.: Стройиздат, 1990. - 19с.
21. Харитонов А.М. О верификации и валидации моделей и методов численного моделирования пространственных течений. / А.М. Харитонов // *Международная конференция «Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика»*, Новосибирск, 30 мая – 4 июня 2011 г. – 2011. – с.1-7.

References:

1. Vatin N.I., Samoplyas T.V. Sistemy ventilyatsii zhilykh pomeshcheniy mnogokvartirnykh domov: uchebnoye posobie. S-Pb.: Izd. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy politekhnicheskiy universitet; 2004. 66 s. [Vatin N.I., Samoplyas T.V. Ventilation systems for living quarters of apartment buildings: a tutorial. S-Pb.: Izd. St. Petersburg State Polytechnic University; 2004. 66 p. (In Russ.)]

2. Livchak I.F., Naumov A.L. Ventilyatsiya mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy. M.: AVOK-Press; 2005. 133 s. [Livchak I.F., Naumov A.L. Ventilation of multi-storey residential buildings. M.: ABOK-Press; 2005. 133 p. (In Russ.)]
3. CIBSE - Mixed mode ventilation: CIBSE applications manual AM 13. London: Chartered Institution of Building Services Engineers; 2000. 77p.
4. Bobrovitskiy I.I., Shilkin N.V. Gibrnaya ventilyatsiya v mnogoetazhnykh zhilykh zdaniyakh. ABOK. 2003; 10:16-27. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4573 [Bobrovitskiy I.I., Shilkin N.V. Hybrid ventilation in multi-storey residential buildings. ABOK. 2003;10:16-27. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4573 (In Russ.)]
5. Van Hooff T., Blocken B., Aanen L., Bronsema B. A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. Building and Environment. 2011; 46:1797-1807. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311000576>
6. Kleiven T. Natural ventilation in buildings: architectural concepts, consequences and possibilities: PhD thesis. Norwegian University of Science and Technology, 2003. 305 p. https://www.researchgate.net/profile/Tommy_Kleiven/publication/267243303_Natural_Ventilation_in_Buildings_Architectural_concepts_consequences_and_possibilities/links/544e3c7d0cf26dda088e9459/Natural-Ventilation-in-Buildings-Architectural-concepts-consequences-and-possibilities.pdf
7. Kharitonov V.P. Estestvennaya ventilyatsiya s pobuzhdeniem. Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika (ABOK). 2006;3:46-55. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3201 [Kharitonov V.P. Natural buoyancy-driven ventilation. Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermal physics (ABOK). 2006;3:46-55. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3201 (In Russ.)]
8. Bansal N.K., Mathur R., Bhandari M. Solar chimney for enhanced stack ventilation. Building and environment. 1993;28(3):373-377. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132393900422>
9. Hirunlabh J., Wachirapuwadon S., Pratinthong N., Khedari J. New configurations of a roof solar collector maximizing natural ventilation. Building and Environment. 2001; 36(3):383-391. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132300000160>
10. Lal S., Kaushik S.C., Bhargav P.K. Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning. International Journal of Development and Sustainability. 2013;2(1):277-279. <https://isdsnet.com/ijds-v2n1-20.pdf>
11. Tongbai P., Chitsomboon T. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation. Journal of power and energy engineering. 2014; 2:22-29. https://file.scirp.org/pdf/JPEE_2014060916330973.pdf
12. Rymarov A.G., Abramkina D.V. Sistemy estestvennoy ventilyatsii s teplovym pobuzhdeniem. Nauchnoe obozrenie. 2016;9:43-46. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26206445> [Rymarov A.G., Abramkina D.V. Natural buoyancy-driven ventilation systems. Scientific Review. 2016; 9:43-46. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26206445> (In Russ.)]
13. Malyavina E.G., Kitaytseva E.Kh. Estestvennaya ventilyatsiya zhilykh zdaniy. Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika (ABOK). 1999;3:35-43. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=67 [Malyavina E.G., Kitaytseva E.Kh. Estestvennaya ventilyatsiya zhilykh zdaniy. Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika (ABOK). 1999; 3:35-43. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=67 (In Russ.)]
14. Ostroumov G.A. Svobodnaya konvektsiya v usloviyakh vnutrenney zadachi. M.-L.: GITTL; 1952. 286 s. [Ostroumov G.A. Free convection under the conditions of interior problem. M.-L.: GITTL; 1952. 286 p. (In Russ.)]
15. Gershuni G.Z., Zhukhovitskiy E.M., Nepomnyashchiy A.A. Ustoychivost' konvektivnykh techeniy. M: Nauka; 1989. 320 s. [Gershuni G.Z., Zhukhovitskiy E.M., Nepomnyashchiy A.A. Stability of convective currents. M: Nauka; 1989. 320 p. (In Russ.)]
16. Varapaev V.N., Kitaytseva E.Kh. Matematicheskoe modelirovanie zadach vnutrenney aerodinamiki i teploobmena zdaniy. M.: Izd. SGA; 2008. 337 s. [Varapaev V.N., Kitaytseva E.Kh. Mathematical modeling of problems of internal aerodynamics and heat exchange of buildings. M.: Izd. SGA; 2008. 337 p. (In Russ.)]
17. Kuznetsov G.V., Maksimov V.I., Sheremet M.A. Estestvennaya konvektsiya v zamknutom paralelepipedu pri nlichii lokal'nogo istochnika energii. Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika. 2013;54(4):86-95. <http://www.sibran.ru/upload/iblock/3a3/3a3fe0339a7a2861ffedf697d79a4e8f.pdf> [Kuznetsov G.V., Maksimov V.I., Sheremet M.A. Natural convection in a closed parallelepiped in the presence of a local energy source. Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2013; 54(4):86-95. <http://www.sibran.ru/upload/iblock/3a3/3a3fe0339a7a2861ffedf697d79a4e8f.pdf> (In Russ.)]
18. Kummitha O.R., Pandey K.M. Experimental and numerical analysis of forced convection heat transfer in turbulent flows. Procedia Engineering. 2015;127:711-718. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815037352>
19. Trufanova N.M., Navalikhina E.Yu., Markovskiy M.V. Matematicheskoe modelirovanie nestatsionarnykh protsessov teplomassoperenosa v pryamougol'nom kabel'nom kanale. VESTNIK PNIPU. 2014;11:55-66. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-estestvennoy-i-vynuzhdennoy-ventilyatsii-na-protsessy-prottekayuschiev-kabel'nom-kanale> [Trufanova N.M., Navalikhina E.Yu., Markovskiy M.V. Mathematical modeling of non-stationary processes of heat and mass transfer in a rectangular cable channel. PNRPU Bulletin. Electrotechnics,

- Informational Technologies, Control Systems. 2014;11:55-66. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-estestvennoy-i-vynuzhdennoy-ventilyatsii-na-protsessy-protokayuschie-v-kabelnom-kanale> (In Russ.)]
20. Spravochnoe posobie k SNiP 2.08.01-89. Otoplenie i ventilyatsiya zhilykh zdaniy. M.: Stroyizdat; 1990. 19 s. [Reference guide to SNIP 2.08.01-89. Heating and ventilation of residential buildings. M.: Stroyizdat; 1990. 19 p. (In Russ.)]
21. Kharitonov A.M. O verifikatsii i validatsii modeley i metodov chislennogo modelirovaniya prostranstvennykh techeniy. Mezhdunarodnaya konferentsiya "Sovremennye problemy prikladnoy matematiki i mekhaniki: teoriya, eksperiment i praktika", Novosibirsk; 2011. S.1-7. [Kharitonov A.M. On verification and validation of models and methods for numerical modeling of spatial flows. International Conference "Modern Problems of Applied Mathematics and Mechanics: Theory, Experiment and Practice". Novosibirsk; 2011. P.1-7. (In Russ.)]

Сведения об авторе:

Абрамкина Дарья Викторовна – ассистент, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции.

Information about the author:

Darya V. Abramkina - Assistant, Department of Heat and Gas Supply and Ventilation.

Information about the author:

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 31.07.2017.

Принята в печать 25.08.2017.

Conflict of interest.

The author declares no conflict of interest.

Received 31.07.2017.

Accepted for publication 25.08.2017.

Для цитирования: Гаджиев А.М., Курбанов Р.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. Влияние зернового состава заполнителя на свойства жаростойкого базальтового бетона. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):146-155. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-146-155

For citation: Gadzhiev A.M., Kurbanov R.M., Khadzhashalapov G.N., Hezhev T.A. The influence of the filler grain composition on the properties of the heat-resistant basaltic concrete. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3):146-155. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-146-155

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.34

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-146-155

ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ЖАРОСТОЙКОГО БАЗАЛЬТОВОГО БЕТОНА

Гаджиев А.М.³, Курбанов Р.М.⁴, Хаджишалапов Г.Н.¹, Хежев Т.А.²

^{1,3,4}Дагестанский государственный технический университет,

367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

²Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,

²360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, Россия,

¹e-mail:dekanat_asf@mail.ru, ²e-mail: hejev_tolya@mail.ru,

³e-mail:5542334f@mail.ru, ⁴e-mail: kurbanov2020@mail.ru

Резюме. Цель. Оптимально подобранный гранулометрический состав заполнителя обеспечивает получение бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками при минимальном расходе вяжущего. Свойства жаростойкого бетона в большой степени зависят от вида и соотношения компонентов. С учетом этого, целью исследования является определение оптимального зернового состава жаростойкого бетона. **Метод.** В ходе исследования применялись методы оптимизации свойств жаростойкого базальтового бетона на композиционном вяжущем с механохимической активацией зернового состава заполнителя. Для этой цели был составлен симплексно-центроидный план эксперимента. Композиционное вяжущее подвергалось механохимической активации. Образцы изготавливали методом вибропрессования из бетонной смеси с осадкой конуса 2 см. **Результат.** Доказано, что наиболее важным переменным фактором, регулируя который можно варьировать свойствами бетона является зерновой состав жаростойкого бетона. Разработаны составы жаростойкого базальтового бетона на активированном композиционном вяжущем с максимальной температурой применения 700 °С. Определено влияние зернового состава базальтового заполнителя на свойства базальтового бетона с применением методов математического планирования эксперимента. Получены уравнения регрессии предела прочности на сжатие и изгиб базальтового бетона при нагреве до температуры 700 °С. **Вывод.** Гранулометрический состав жаростойкого базальтового бетона на основе активированного вяжущего оптимизирован по основным физико – техническим свойствам. Проектирование оптимальной гранулометрии состава жаростойких бетонов показало, что по мере увеличения в составе заполнителя крупной фракции (частицы более 0,63 мм) предел прочности при сжатии и изгибе жаростойкого базальтового бетона при нагреве до температуры 700 °С повышается. Это происходит за счет более компактного расположения зерен песка.

Ключевые слова: активированное композиционное вяжущее, жаростойкий базальтовый бетон, базальтовый заполнитель, зерновой состав, планирование эксперимента

TECHNICAL SCIENCE

BUILDING AND ARCHITECTURE

THE INFLUENCE OF THE FILLER GRAIN COMPOSITION ON THE PROPERTIES OF THE HEAT-RESISTANT BASALTIC CONCRETE

Abdulla M. Gadzhiev³, Ramazan M. Kurbanov⁴, Khaji N Khadzhisalapov¹, Tolya A. Hezhev²

^{1,3,4}Daghestan State Technical University,

^{1,3,4}70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²H.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,

173 Chernyshevsky Str., Nalchik 360004, Russia,

¹e-mail:dekanat_asf@mail.ru, ²e-mail: hejev_tolya@mail.ru,

³e-mail:5542334f@mail.ru, ⁴e-mail: kurbanov2020@mail.ru

Abstract Objectives. *The optimal granulometric composition of filler compound ensures the production of concrete having improved physical and mechanical characteristics, as well as minimal binder consumption. The properties of heat-resistant concrete largely depend on the type and the ratio of its components. Taking this into account, the aim of the study is to determine the optimal grain composition of heat-resistant concrete. **Methods.** Methods for optimising the properties of heat-resistant basaltic concrete with a composite binder and mechanochemical activation of the filler grains were used during the course of the research. A simplex-centroid experiment design is applied for this purpose. The composite binder was subjected to mechanochemical activation. Samples were made by vibration-pressing from a concrete mix with a cone draught of 2 cm. **Results.** The grain composition of heat-resistant concrete is proved to be the most important variable factor, regulating which the properties of concrete can be varied. The compositions of heat-resistant basaltic concrete with activated composite binder having a maximum application temperature of 700 °C are developed. The influence of the grain composition of the basaltic filler on the properties of basaltic concrete using mathematical experiment planning methods is determined. The regression equations for the ultimate tensile strength and bending stress of basaltic concrete are obtained for heating temperature of 700°C. **Conclusion.** The granulometric composition of heat-resistant basaltic concrete based on the activated binder is optimised for basic physical and technical properties. The optimal granulometric design of the composition of heat-resistant concrete indicates that as the coarse fraction (particles greater than 0.63 mm) in the filler composition increases, the ultimate tensile strength and bending stress of heat-resistant basaltic concrete is increased when heated to a temperature of 700°C. This is due to a more compact arrangement of sand grains.*

Keywords: *activated composite binder, heat-resistant basaltic concrete, basaltic filler, grain composition, experiment planning*

Введение. Для повышения прочности бетона, сокращения расхода вяжущего, улучшения реологических свойств бетонной смеси в технологии бетонов выполняют подбор зернового состава заполнителя [1-2]. Оптимально подобранный гранулометрический состав заполнителя обеспечивает получение бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками при минимальном расходе вяжущего.

Постановка задачи. Свойства жаростойкого бетона в большой степени зависит от вида и соотношения компонентов. Определение оптимального состава жаростойкого бетона усложняется из-за наличия различных видов жаростойких бетонов, вид и состав, которых зависит от условий эксплуатации. В качестве вяжущего для получения жаростойкого базальтового бетона в данной работе использован активизированное композиционное вяжущие на основе портландцемента.

Методы исследования. Впервые методика расчёта оптимального состава жаростойкого бетона была предложена в работе [20]. В дальнейшем было произведено её совершенствование

с целью упростить методы расчёта. Заполнитель, связывая часть воды затворения, влияет на реологические и технические свойства бетонной смеси, а, следовательно, на технологию формирования структуры бетона.

Большое влияние оптимальная гранулометрия оказывает на одну из основных характеристик жаростойких бетонов, как деформация под нагрузкой 0,2 МПа, которая зависит от того как сопротивляется не упругой деформации сложная структура жаростойкого бетона, при первом нагреве до температуры службы.

Одним из основных критериев высокого качества для всех видов бетона является прочность, которую в некоторых случаях с одним и тем же заполнителем, на одном и том же цементе можно в известных условиях получить более прочные бетоны, хотя и несколько менее плотные, если обеспечиваем лучший контакт между зернами-заполнителя.

Как указывается в работе [3], в различных температурных интервалах в жаростойком бетоне протекают физико-химические процессы, связанные с дегидратацией вяжущего и образования в новых химических соединений, полиморфным превращением или жидкостным спеканием, каталитической и термической полимеризацией.

Чем меньше число компонентом в таком бетоне при прочих равных условиях, чем ближе они друг другу по своей природе и химическому составу, тем меньше число новообразований, различные объемы которых способствуют образованию микротрещин в структуре конгломератного материала, что уменьшает его прочность.

Увеличение числа компонентов существенно усложняет технологию, что связано с увеличением производственных площадей, усложнением оборудования, т.е. снижением технико-экономических показателей [3]. Такая методика подбора состава жаростойких бетонов позволяет надежно регулировать физико-химические процессы, происходящие в бетоне при его нагреве, и обеспечить тем самым, однородность материала в горячей зоне, что положительно влияет на его эксплуатационные свойства и, в первую очередь, на термическую стойкость бетона, которая приводит к сокращению технологического цикла производства жаростойкого бетона.

Важным показателем качества жаростойкого бетона, определяющим продолжительность его службы, особенно при циклических воздействиях высоких температур, является термическая стойкость. Она же по существу определяет и тепловой режим работы того или иного теплового агрегата (первого нагрева и при последующих нагревах), от которого в значительной степени зависят технологические возможности тепловой установки.

Многочисленные исследования термической стойкости различных жаростойких материалов свидетельствуют о большом влияние на этот показатель гранулометрии заполнителя или гранулометрии шихты для обжиговых материалов. Большое влияние на термическую стойкость оказывает наибольшая крупность заполнителя.

Как указано в работе [3], практически во всех случаях, за некоторым исключением, применение крупного заполнителя снижает термическую стойкость жаростойкого бетона. Целесообразно также снижения среднего диаметра наиболее крупных частиц при получении обжиговых огнеупоров с целью повышения их термической стойкости. Особенно это касается материала с большим ТКЛР, так как крупные куски обуславливают при нагреве деформативную разновидность в структуре материала, вызывая тем самым, дополнительные напряжения.

Наряду с этим заполнители жаростойких бетонов следует рассматривать как химически активные компоненты, которые, взаимодействуя с вяжущим при высоких температурах, образуют окончательную структуру бетона с определёнными свойствами.

Основные свойства жаростойких бетонов формируются под действием физико-химических процессов, происходящих как на стадии твердения вяжущих, так и в процессе нагрева бетона до рабочей температуры и далее во время эксплуатации. Следовательно, в бетонах с мелкозернистой структурой интенсивность всех физико-химических процессов, особенно протекающих при высоких температурах, будет существенно выше, чем в бетонах на крупном заполнителе, поскольку она определяется при прочих равных условиях величиной контактирующей поверхности. Для бетонов, подверженных воздействию высоких температур, важное зна-

чение имеет определение оптимального соотношения между фракциями заполнителя и верхнего предела крупности зерен, так как это влияет на дисперсность структуры бетона.

Вопросу определения оптимальной гранулометрии посвящены работы [4-7]. Выбор наибольшего размера зерен заполнителя и соотношение фракций в смеси в каждом конкретном случае производится с учетом тангенциальных напряжений в зоне контакта вяжущего и заполнителя с учетом их коэффициента температурного расширения. Как отмечено в работах [4-7], крупный заполнитель из-за большой зоны контакта вызывает более высокие напряжения, что является причиной появления в структуре жаростойкого бетона дефектов при нагреве.

Наиболее важным переменным фактором, регулируя который можно варьировать свойствами бетона, является зерновой состав жаростойкого бетона. Влиянию зернового состава на свойства жаростойкого бетона посвящены работы [8-9].

Анализ литературных данных показывает, что верхний предел крупности зерен заполнителя в зависимости от химической и физической природы огнеупорного материала может колебаться для мелкозернистых бетонов от 0,5 до 5мм [10-11].

Следует отметить, что жаростойкие бетоны на различных заполнителях и различных вяжущих в нашей стране и за рубежом достаточно изучены. Базальтовый заполнитель в силу низкой огнеупорности ограничен по температуре применения до 700°С, хотя имеется достаточно конструкций различных тепловых агрегатов предприятий промышленности строительной индустрии, нефтехимической промышленности и металлургической промышленности, которые эксплуатируются в температурном диапазоне до 700°С.

Данные, приведенные в работе [4] по подбору оптимальной гранулометрии для зернового состава жаростойких бетонов, и опыт исследования свойств жаростойкого бетона в зависимости от крупности зерен заполнителя и компактной его упаковке, позволяют сформулировать вывод, что верхний предел крупности зерен заполнителей жаростойких бетонов для изготовления штучных изделий в виде жаростойких блоков для футеровки газопроводов можно принять равным 5мм.

При проектировании оптимальной гранулометрии состава жаростойких бетонов применяются два метода подбора зернового состава жаростойкого бетона.

По первому методу зерновой состав подбирают таким образом, чтобы добиться максимальной плотности упаковки зерен заполнителей различного диаметра. По первому методу применяют материал с более высокими показателями по прочности.

По второму методу применяют зерновой состав одинакового диаметра, бетон получают менее плотный, но показатели термостойкости выше [4].

Для заполнения пустоты, образованной зернами большого диаметра, зернами меньшего диаметра в жаростойких бетонах для получения более плотной упаковки в единице объема часто используют зерна с дискретной гранулометрией. Размер зерен каждой фракции должно быть строго определенным.

На практике, достичь использование в бетонах строго определенной фракции проблематично, поэтому бетоны характеризуются по средним размерам зерен заполнителя.

Так, П.И. Баженов и др.[11-12] считают, что для получения наиболее плотных бетонов соотношения между средними размерами зерен фракций должны находиться в пределах 1:4 – 1:5, с крупностью зерен заполнителя 0,2мм, 1мм и 5мм. Целесообразность снижения среднего диаметра крупных частиц смеси жаростойкого бетона связана с повышением их термической стойкости. Особенно это важно для бетонов с большим значением температурного коэффициента линейного расширения. Чем больше размеры заполнителя, тем больше возникают дополнительные напряжения. К.Д.Некрасов [13] считает, что в условиях повышенных температур напряжения бетона и дефектность структуры тем выше, чем крупнее заполнитель.

Жаростойкие бетоны, рассматриваемые в работах [14-17] на мелком заполнителе более благоприятной структурой с равномерно распределенными порами, что обеспечивает высокую их прочность при высоких температурах.

Анализируя и обобщая литературные данные об оптимальной гранулометрии жаростойких бетонов для изготовления штучных изделий, верхний предел крупности зерен заполните-

лей был принят до 5 мм. Исходя из этого размер фракции базальтового заполнителя был выбран 0,6мм; 1мм; 5мм. Количественное соотношение между отдельными фракциями в данной работе определяем на основе математико – статистических методов.

Гранулометрический состав жаростойкого базальтового бетона на основе активированного вяжущего оптимизирован по основным физико – техническим свойствам. Для получения бетона с высокими эксплуатационными свойствами, определяющими являются показатели прочности при сжатии, при испытании после сушки при температуре 105°С, при высокой температуре, а также пористость бетона.

По результатам проведенных экспериментов была составлена матрица планирования для трехкомпонентной смеси, где X_1, X_2, X_3 – соответствующие фракции компонентов 5мм; 1мм и мене 0,2мм.

Обсуждение результатов. В результате проведенных нами исследований установлена эффективность использования для получения жаростойких бетонов с максимальной температурой применения 700 °С базальтового заполнителя [18]. Получены жаростойкие базальтовые бетоны на композиционном вяжущем без активации, с механической и механохимической активацией.

Дальнейшие исследования были направлены на оптимизацию свойств жаростойкого базальтового бетона на композиционном вяжущем с механохимической активацией регулированием зернового состава заполнителя. Для этой цели был поставлен симплексно-центроидный план эксперимента [19]. Для получения функции отклика

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

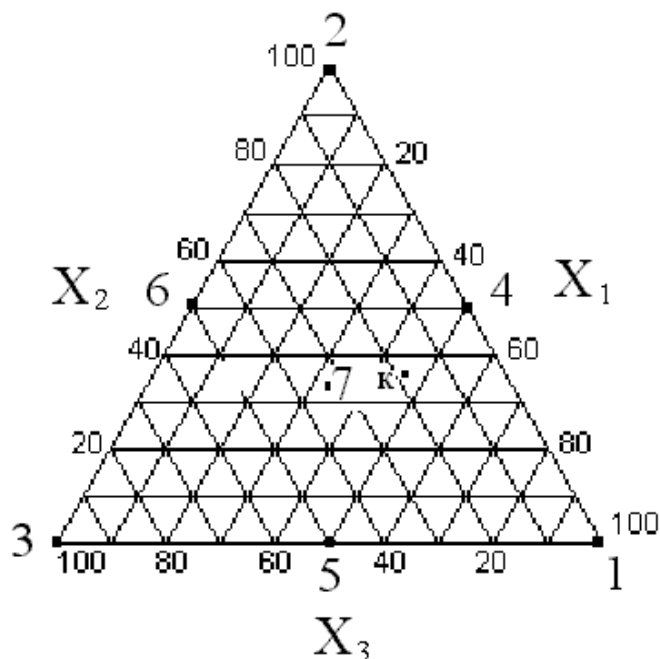


Рис.1. План эксперимента
 Fig.1. The plan of the experiment

необходимо расставить точки эксперимента в вершинах, серединах сторон и центре равностороннего треугольника (рис. 1).

Точка «к» соответствует контрольному зерновому составу – рядовому базальтовому песку месторождения «Ахвай» Рутульского района Республики Дагестан, просеянному через сито № 5 и имеющему следующие характеристики:

- содержание в заполнителе зёрен диаметром $0,16 < d < 0,63$ мм – 19,8 %;

- содержание в заполнителе зёрен диаметром $0,63 < d < 2,5$ мм – 35,2 %;
- содержание в заполнителе зёрен диаметром $2,5 < d < 5$ мм – 45,0 %;

Переменными при проведении эксперимента являлись:

- X_1 – содержание в заполнителе зёрен диаметром $2,5 < d < 5$ мм;
- X_2 – содержание в заполнителе зёрен диаметром $0,63 < d < 2,5$ мм;
- X_3 – содержание в заполнителе зёрен диаметром $0,16 < d < 0,63$ мм.

Параметры оптимизации:

- Y_1 – предел прочности на сжатие R, МПа;
- Y_2 – предел прочности на изгиб R_{tf} , МПа.

План эксперимента представлен в таблице 1.

Таблица 1. План эксперимента
Table 1. The plan of the experiment

№/№	Кодированные переменные (доля фракций песка в заполнителе)			Y_1 , МПа	Y_2 , МПа	y
	X_1	X_2	X_3			
1	1	0	0	43,30	9,18	y_1
2	0	1	0	30,11	9,48	y_2
3	0	0	1	27,22	7,50	y_3
4	0,5	0,5	0	49,42	11,23	y_4
5	0,5	0	0,5	41,77	8,26	y_5
6	0	0,5	0,5	33,42	8,01	y_6
7	0,33	0,33	0,33	38,10	8,36	y_7

Для получения базальтового бетона применялись: портландцемент ЦЕМ 142,5Н производства «Серебряковцемент» – 280 кг; бой глиняного кирпича Каспийского кирпичного завода – 120 кг; пластифицирующая добавка СП – 1 – 2 кг.

Композиционное вяжущее подвергалось механохимической активации.

Образцы изготовляли методом вибропрессования из бетонной смеси с осадкой конуса 2 см. Результаты испытаний базальтового бетона приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Результаты испытания на сжатие образцов в возрасте 28 суток естественного твердения и нагреве до температуры 700°C
Table 2. Results of a compression test of samples aged 28 days of natural hardening and heating to a temperature of 700° C

N/N	Значения параллельных измерений функции отклика Y_1 , МПа						Сред. знач. Y_1 , МПа	Дисперсия S_j^2	Коэф. вариации, %	Ошибка S_j
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6				
1	43,70	43,30	43,25	43,00	43,45	43,10	43,30	0,06	0,01	0,25
2	29,90	30,30	30,20	30,35	29,60	30,30	30,11	0,09	0,01	0,30
3	27,50	27,10	27,20	27,30	27,40	26,80	27,22	0,06	0,01	0,25
4	49,30	49,40	49,60	49,20	49,70	49,32	49,42	0,04	0,00	0,19
5	41,70	41,90	41,80	41,50	41,50	42,20	41,77	0,07	0,01	0,27
6	33,50	33,46	33,22	33,52	33,42	33,41	33,42	0,01	0,00	0,11
7	38,40	37,80	37,60	38,30	38,40	38,08	38,10	0,11	0,01	0,33

Таблица 3. Результаты испытания на изгиб образцов в возрасте 28 суток естественного твердения и нагреве до температуры 700°C
Table 3. Results of a bend test for samples aged 28 days of natural hardening and heating to 700°C

N/N	Значения параллельных измерений функции отклика Y_1 , МПа						Сред. знач. Y_1 , МПа	Дисперсия S_j^2	Коэф. вариации, %	Ошибка S_j
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6				
1	9,30	9,05	9,20	9,50	8,90	9,10	9,18	0,04	0,02	0,21
2	9,60	9,30	9,10	9,50	9,80	9,60	9,48	0,06	0,03	0,25
3	7,70	7,40	7,30	7,60	7,40	7,60	7,50	0,02	0,02	0,15
4	11,45	11,03	11,25	11,15	11,30	11,20	11,23	0,02	0,01	0,14
5	8,40	8,50	8,10	8,05	8,20	8,30	8,26	0,03	0,02	0,17
6	7,86	7,82	8,30	8,15	8,13	7,80	8,01	0,04	0,03	0,21
7	8,50	8,20	8,15	8,56	8,45	8,34	8,36	0,02	0,02	0,15

Средние значения функций отклика вычислялись по формуле

$$\bar{Y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ji}; \quad (2)$$

где, j – номер серии опытов ($j = 1, 2, \dots, 7$);

i – номер опыта в серии ($i = 1, 2, \dots, 6$);

k – число параллельных опытов в серии ($k = 6$).

Расчет коэффициентов регрессии производился по формулам 3.

$$\begin{aligned} \beta_i &= y_i; \\ \beta_{ij} &= 4y_{ij} - 2y_i - 2y_j; \\ \beta_{ijk} &= 27y_{ijk} - 12(y_{ij} + y_{ik} + y_{jk}) + 3(y_i + y_j + y_k). \end{aligned} \quad (3)$$

Для оценки значимости коэффициентов регрессии вычислялась их дисперсия по формуле:

$$S_b = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}} \quad (4)$$

и умножалась на критерий Стьюдента $t = 2,03$ при числе степеней свободы $f = N(k - 1) = 7(6 - 1) = 35$ и уровне значимости 0,05.

И в случае, когда $|b| \leq S_b t$, коэффициент принимался незначимым ($b = 0$).

После проверки значимости всех коэффициентов уравнения регрессии имеют вид:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 43,3X_1 + 30,11X_2 + 27,22X_3 + 50,86X_1X_2 + 26,04X_1X_3 + 19,02X_2X_3 - 15,29X_1X_2X_3 \\ Y_2 &= 9,18X_1 + 9,48X_2 + 7,5X_3 + 7,6X_1X_2 - 0,32X_1X_3 - 1,92X_2X_3 - 2,33X_1X_2X_3 \end{aligned} \quad (5)$$

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 2.

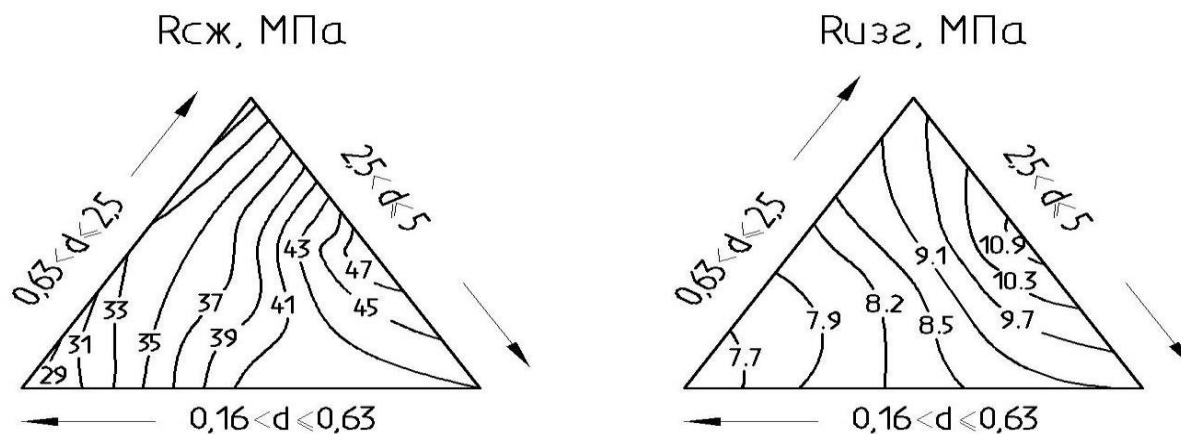


Рис. 2. Диаграммы состояния «состав–свойства»
 $R_{сж}$, МПа – предел прочности при сжатии; $R_{и32}$, МПа – предел прочности при изгибе

Fig. 2. Diagrams of the «composition-properties» state
 R_c , МПа - compressive strength; R_{ig} , МПа - the limit bending strength

Вывод. По мере увеличения в составе заполнителя крупной фракции (частицы более 0,63 мм) предел прочности при сжатии и изгибе жаростойкого базальтового бетона при нагреве до температуры 700 °С повышаются. Это происходит за счет более компактного расположения зерен песка. При переходе же от крупных фракций к мелким, предел прочности при сжатии и изгибе бетона снижается.

С повышением содержания в смеси пылевидных частиц увеличивается ее водопоглощение, что говорит об ухудшении структуры бетона. Точка, соответствующая рядовому (контрольному) составу базальтового песка находится примерно в середине плана эксперимента. Этот факт является благоприятным для изменения зернового состава песка в различных направлениях.

Необходимость отсева подразумевает установку дополнительного оборудования, что ведет к повышению энергозатрат и удорожанию производства, которое можно оправдать только комплексным улучшением характеристик бетона.

Поэтому для дальнейших исследований жаростойкого базальтового бетона целесообразно применение базальтового заполнителя контрольного зернового состава.

Библиографический список:

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высш. шк., 1978. – 455 с.
2. Иванов И.А. Легкие бетоны с применением зол электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
3. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат - натриевых композиций [Текст] / Б.Д. Тотурбиев. – М.: Стройиздат, 1988 – 203 с. Стрелов, К.К. Теоретические основы технологий огнеупорных материалов [Текст] / К.К. Стрелов. – М.: Metallurgy, 1979 – 180с.
4. Стрелов К.К. Теоретические основы технологий огнеупорных материалов [Текст] / К.К. Стрелов. – М.: Metallurgy, 1979 – 180с.
5. Некрасов К.Д. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур [Текст] / К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В.Ф. Гуляева. М.: Стройиздат. 1972. – 128с. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. К.К. Стрелов. М.: Metallurgy, 1982 – 208с.
6. Струмилин С.Г. О критериях оптимального планирования [Текст] / С.Г. Струмилин // Экономия. – 1974 – С.18-24
7. ГОСТ 20955 – 75 и ГОСТ 20956 – 75. Заполнители и добавки тонкомолотые для жаростойких бетонов. – М.: Издательство стандартов. 1976г. – 22 с.

8. Пособие к СНИП 2.03.04-84. По проектированию бетонных и железобетонных конструкций предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. – М.: ЦИТП Госстрой СССР, 1989. – 183с.
9. Гоберис С.Ю. Влияние максимального крупного заполнителя на термическую стойкость бетона на жидком стекле [Текст] / С.Ю. Гоберис, Л.И. Меркин // сер. 3 Тепломонтажные и изоляционные работы – 1982.– №2. – С.20-22.
10. Горчаков Г.И., Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов [Текст] / Г.И. Горчаков, И.И. Лифанов, Л.Н. Терехин. – М.: Изд. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР. 1969 – 167с.
11. Баженов П.И. Технология автоклавных материалов [Текст] / П.И. Баженов – Л.: Стройиздат, 1978. – 357с.
12. Некрасов К.Д. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур [Текст] / К.Д. Некрасов, В.В. Жуков, В.Ф. Гуляева. М.: Стройиздат. 1972. – 128с.
13. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – М: Высш. шк., 1985. – 327 с.
14. Будников П.П. Технология керамики и огнеупоров [Текст] / П.П. Будников, А.С. Бережной, А.И. Булавин. – М.: Стройиздат, 1962 – 249с.
15. Стрелов К.К. Технический контроль производства огнеупоров. К.К. Стрелов. М.: Metallurgiya, 1979 – 280с.
16. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. К.К. Стрелов. М.: Metallurgiya, 1982 – 208с.
17. Курбанов Р.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. Исследование жаростойкого бетона на основе базальтового заполнителя для обетонирования металлических конструкций // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала, ДГТУ, 2013, Т. 31 (№ 4). С. 61–66.
18. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. – М: Высш. шк., 1985. – 327 с.
19. Тарасова А.П. Подбор состава жаростойкого бетона и методы их расчета [Текст] / А.П. Тарасова. Н.П. Жданова // Новые в технологии жаростойких бетонов. Сб. трудов НИИЖБ. – 1981 – С.34-43.

References:

1. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona. M.: Vysshaya shkola; 1978. 455 s. [Bazhenov Yu.M. Technology of concrete. M.: Vysshaya shkola; 1978. 455 p. (In Russ.)]
2. Ivanov I.A. Legkie betony s primeneniem zol elektrostantsii. M.: Stroiizdat; 1986. 136 s. [Ivanov I.A. Lightweight concrete with the use of power plant ashes. M.: Stroiizdat; 1986. 136 p. (In Russ.)]
3. Toturbiev B.D. Stroitel'nye materialy na osnove silikat-natrievykh kompozitsii. M.: Stroiizdat; 1988. 203 s. [Toturbiev B.D. Building materials based on silicate-sodium compositions. M.: Stroiizdat; 1988. 203 p. (In Russ.)]
4. Strelov K.K. Teoreticheskie osnovy tekhnologii ogneupornykh materialov. M.: Metallurgiya; 1979. 180 s. [Strelov K.K. Theoretical foundations of technologies of refractory materials. M.: Metallurgiya; 1979. 180 p. (In Russ.)]
5. Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Gulyaeva V.F. Tyazhelyi beton v usloviyakh povyshennykh temperatur. M.: Stroiizdat; 1972. 128 s. [Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Gulyaeva V.F. Heavy concrete in the conditions of high temperatures. M.: Stroiizdat; 1972. 128 p. (In Russ.)]
6. Strelov K.K. Struktura i svoystva ogneuporov. M.: Metallurgiya; 1982. 208 s. [Strelov K.K. Structure and properties of refractories. M.: Metallurgiya; 1982. 208 p. (In Russ.)]
7. Strumilin S.G. O kriteriyakh optimal'nogo planirovaniya. M.: Ekonomika; 1974. S.18-24. [Strumilin S.G. About the criteria of optimal planning. M.: Ekonomika; 1974. P.18-24. (In Russ.)]
8. GOST 20955–75 i GOST 20956–75. Zapolniteli i dobavki tonkomolotye dlya zharostoikikh betonov. M.: Izdatel'stvo standartov; 1976. 22 s. [GOST 20955–75 i GOST 20956–75. Fine-ground fillers and additives for heat-resistant concrete. M.: Izdatel'stvo standartov; 1976. 22 p. (In Russ.)]
9. Posobie k SniP 2.03.04-84. Po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii prednaznachennye dlya raboty v usloviyakh vozdeystviya povyshennykh i vysokikh temperatur. M.: TsITP Gosstroii SSSR; 1989. 183 s. [Guidebook for SniP 2.03.04-84. On the design of concrete and reinforced concrete constructions exposed to elevated and high temperatures. M.: TsITP Gosstroii SSSR; 1989. 183 p. (In Russ.)]
10. Goberis S.Yu., Merkin L.I. Vliyanie maksimal'nogo krupnogo zapolnitelya na termicheskuyu stoikost' betona na zhidkom stekle. Teplomontazhnye i izolyatsionnye raboty. Ser. 3.1982;2:20-22. [Goberis S.Yu., Merkin L.I. The effect of the largest coarse filler on the thermal stability of concrete on a liquid glass. Teplomontazhnye i izolyatsionnye raboty. Ser. 3.1982;2:20-22. (In Russ.)]
11. Gorchakov G.I., Lifanov I.I., Terekhin L.N. Koeffitsienty temperaturnogo rasshireniya i temperaturnye deformatsii stroitel'nykh materialov. M.: Izd. Komiteta standartov, mer i izmeritel'nykh priborov pri Sovete Ministrov SSSR; 1969. 167 s. [Gorchakov G.I., Lifanov I.I., Terekhin L.N. Coefficients of thermal expansion and temperature deformation of building materials. M.: Izd. Komiteta standartov, mer i izmeritel'nykh priborov pri Sovete Ministrov SSSR; 1969. 167 p. (In Russ.)]

12. Bazhenov P.I. Tekhnologiya avtoklavnykh materialov. L.: Stroizdat; 1978. 357 s. [Bazhenov P.I. Technology of autoclave materials. L.: Stroizdat; 1978. 357 p. (In Russ.)]
13. Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Gulyaeva V.F. Tyazhelyi beton v usloviyakh povyshennykh temperatur. M.: Stroizdat; 1972. 128 s. [Nekrasov K.D., Zhukov V.V., Gulyaeva V.F. Heavy concrete in the conditions of high temperatures. M.: Stroizdat; 1972. 128 p. (In Russ.)]
14. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoi tekhnologii. M: Vysshaya shkola 1985. 327 s. [Akhazarova S.L., Kafarov V.V. Methods of experiment optimisation in chemical technology. M: Vysshaya shkola 1985. 327 p. (In Russ.)]
15. Budnikov P.P., Berezhnoi A.S., Bulavin A.I. Tekhnologiya keramiki i ogneuporov. M.: Stroizdat; 1962. 249 s. [Budnikov P.P., Berezhnoi A.S., Bulavin A.I. Technology of ceramics and refractories. M.: Stroizdat; 1962. 249 p. (In Russ.)]
16. Strelov K.K. Tekhnicheskii kontrol' proizvodstva ogneuporov. M.: Metallurgiya; 1979. 280 s. [Strelov K.K. Technical control of the production of refractories. M.: Metallurgiya; 1979. 280 p. (In Russ.)]
17. Strelov K.K. Struktura i svoystva ogneuporov. M.: Metallurgiya; 1982. 208 s. [Strelov K.K. Structure and properties of refractories. M.: Metallurgiya; 1982. 208 p. (In Russ.)]
18. Kurbanov R.M., Khadzhishalapov G.N., Khezhev T.A. Issledovanie zharostoikogo betona na osnove bazal'tovogo zapolnitelya dlya obetonirovaniya metallicheskiikh konstrukttsii. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2013;31(4):61–65. [Kurbanov R.M., Khadzhishalapov G.N., Khezhev T.A. Research of heat-resistant concrete on the basis of basalt filler for concreting of metal designs. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2013;31(4):61–65. (In Russ.)]
19. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoi tekhnologii. M: Vysshaya shkola; 1985. 327 s. [Akhazarova S.L., Kafarov V.V. Methods of experiment optimisation in chemical technology. M: Vysshaya shkola; 1985. 327 p. (In Russ.)]
20. Tarasova A.P., Zhdanova N.P. Podbor sostava zharostoikogo betona i metody ikh rascheta. Novye v tekhnologii zharostoikikh betonov. Sbornik trudov NIIZhB; 1981. S.34-43. [Tarasova A.P., Zhdanova N.P. Selection of the composition of heat-resistant concrete and methods for their calculation. New in the technology of heat-resistant concrete. Collected works of NIIZhB; 1981. P.34-43. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Хаджишалапов Гаджи Нурмагомедович – доктор технических наук, профессор, декан архитектурно-строительного факультета.

Хежев Толя Амирович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Кабардино-Балкарской республики, действительный член Адыгской (Черкесской) Международной академии наук, заведующий кафедрой строительного производства.

Гаджиев Абдулла Магомедсаламович - ассистент.

Курбанов Рамазан Магомедович – соискатель.

Information about the authors:

Khaji N. Khadzhishalapov – Dr. Sci. (Technical), Prof., Dean of the Faculty of Architecture and Construction.

Tolya A. Hezhev - Dr. Sci. (Technical), Prof., Honored Worker of Science of the Kabardino-Balkarian Republic, Full member of the Adyghe (Circassian) International Academy of Sciences, Head of the Department of Construction Industry.

Abdulla M. Gadzhiev – Assistant.

Ramazan M. Kurbanov –Aspirant.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.07.2017.

Принята в печать 23.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 13.07.2017.

Accepted for publication 23.08.2017.

Для цитирования: Инжутов И.С., Мезенцев В.В., Рожков А.Ф., Хованский М.Е. Напряженно-деформированное состояние шпренгельной подкрановой балки. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):156-164. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-156-164

For citation: Inzhutov I.S., Mezentsev V.V., Rozhkov A.F., Hovanskiy M.E. The calculation of wooden constructions taking into account the creep of wood on the example of a statically indeterminate lenticular blocked truss. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (3):156-164. (In Russ.) DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-156-164

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.074

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-156-164

УЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ ДРЕВЕСИНЫ В РАСЧЕТАХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ ЛИНЗООБРАЗНОЙ БЛОК-ФЕРМЫ

Инжутов И.С.¹, Мезенцев В.В.⁴, Рожков А.Ф.², Хованский М.Е.³

¹⁻⁴Сибирский Федеральный университет,

660000, г. Красноярск, Свободный проспект, 79, Россия,

¹e-mail:i.s.i.sfu@mail.ru, ²e-mail:89994433191@yandex.ru,

³e-mail:maximko222@mail.ru, ⁴e-mail:Vladslav.Mezentsev@yandex.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является уточнение расчета деревянных конструкций, а именно использование в расчете по второй группе предельного состояния переменного модуля упругости для более точного прогноза прогибов. **Метод.** Исследование проводилось по методике учета ползучести на основе использования в расчетах переменного модуля упругости или «модуля полных деформаций», в величине которых помимо упругих, учитываются остаточные деформации, доля которых увеличивается по мере возрастания уровня напряжений в деревянных элементах. **Результат.** Произведен расчет статически неопределимой пространственной деревометаллической линзобразной блок-фермы, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой. На первом этапе конструкция была рассчитана с модулем упругости всех деревянных элементов $E = 10000$ МПа в соответствии со сводом правил (СП 64.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП II-25-80)).

На втором этапе модуль упругости был заменен на переменный, то есть, подобран в зависимости от уровня напряжений в элементах с помощью интерполяции. Полученные значения прогибов проанализированы и сопоставлены с предельным значением для данной конструкции. Исследование проводилось без учета податливости узловых соединений и пороков древесины, что также может оказать существенное влияние на значение прогиба. **Вывод.** Использование переменного модуля упругости в расчетах существенным образом влияет на величину прогибов (в нашем случае увеличение составило 30%). Исследование подтверждает необходимость учета ползучести древесины и уточнения расчетов деревянных конструкций. Данная аппроксимирующая зависимость при разных уровнях влажности древесины позволит производить расчеты деревянных конструкций на более высоком теоретическом уровне.

Ключевые слова: ползучесть древесины, расчет деревянных конструкций, большепролетные конструкции, длительный модуль упругости, прогиб

TECHNICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

THE CALCULATION OF WOODEN CONSTRUCTIONS TAKING INTO ACCOUNT
THE CREEP OF WOOD ON THE EXAMPLE OF A STATICALLY INDETERMINATE
LENTICULAR BLOCKED TRUSS

Ivan S. Inzhutov¹, Vladislav V. Mezentsev⁴, Alexander F. Rozhkov², Maxim E. Khovansky³

¹⁻⁴Siberian Federal University,

¹⁻⁴79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk 660041, Russia,

¹e-mail: i.s.i.sfu@mail.ru, ²e-mail: 89994433191@yandex.ru,

³e-mail: maximko222@mail.ru, ⁴e-mail: Vladislav.Mezentsev@yandex.ru

Abstract Objectives The aim of the study is to refine the calculation of wooden constructions, in particular, to use variable elastic modulus for the calculation of the second group of the limiting state in order to predict the deformations more accurately. **Methods** The study is carried out using the method of creep consideration based on the use of either variable elastic modulus or the “modulus of total deformations” for the calculations. These moduli, besides the elastic, account for residual deformations, while the fraction of the latter increases with increasing stress levels in the wooden elements. **Results** The calculation of statically indeterminate spatial timber-metallic lenticular block-truss loaded with a uniformly distributed load is carried out. At the first stage, the construction was calculated using the elastic modulus of all wooden elements $E = 10000$ MPa in accordance with the set of rules (SP 64.13330.2011 (updated version of SNiP II-25-80)). At the second stage, the elastic modulus was replaced by variable, i.e., matched to the level of stresses in the elements by means of interpolation. The obtained deflection values are analysed and compared to the construction limiting value. The study was conducted without taking into account the flexibility of node connections and defects of the wood, which can also have a significant effect on the deflection value. **Conclusion** The use of a variable elastic modulus for calculations significantly influences the magnitude of deformations (in our case, deflections are increased by 30%). The study confirms the need to take into account the creep of wood and refine the calculations of wooden structures. Such approximating dependence at different moisture levels of wood will allow the calculation of wooden structures to be performed at a higher theoretical level.

Keywords: wood creep, calculation of wooden constructions, large-span constructions, long-term elastic modulus, deflection

Введение. В настоящее время в России все больше наращиваются объемы строительства сооружений с большепролетными покрытиями на основе древесины. Основная область применения большепролетных клееных деревянных конструкций (БКДК) сегодня – здания спортивно-зрелищного назначения (ледовые арены, конноспортивные манежи, аквапарки, бассейны, спортивные комплексы и т.д.) (рис.1).

За последние годы построены десятки спортивных сооружений с применением БКДК, пролет которых составляет до 100 м. С ростом пролета их преимущество в сравнении с традиционными плоскостными конструкциями из других материалов существенно возрастает. Это обусловлено малым объемным весом клееных деревянных конструкций, повышенной огнестойкостью, высокой химической стойкостью и малой теплопроводностью.

Применение БКДК, помимо конструктивных качеств, связано с созданием благоприятного микроклимата во внутреннем пространстве, возможностью реализации разнообразных архитектурных форм, а также архитектурной выразительностью.

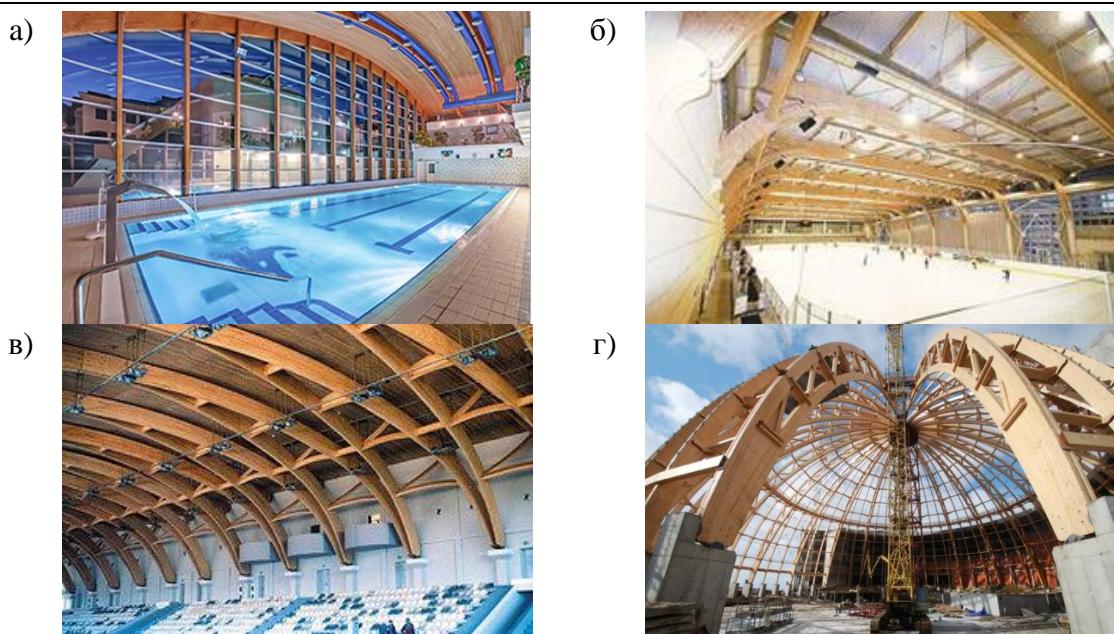


Рис.1. Примеры применения большепролетных клееных деревянных конструкций в России

Fig.1. Examples of the use of large-span glued wooden structures in Russia

- а) Трехшарнирные арки спорткомплекса пансионата «Буран» (Сергиево-Посадский р-н, Московская обл.);
- б) Бесшарнирные сборные большепролетные рамы с подкосами Дворца спорта «Янтарь» (р-н Строгино, г. Москва)
- в) Пересекающиеся арки пролетом 42 м спортивного манежа «Подмосковье» (г. Щелково, Московская обл.)
- г) Каркас ребристого купола аквапарка Piterland (г. Санкт-Петербург)

Особый интерес представляют пространственные деревянные конструкции, занимающие ведущее положение среди легких строительных конструкций.

К основным преимуществам пространственных деревянных конструкций над плоскими конструкциями можно отнести: ремонтпригодность; легкость; перераспределение усилий (в трех направлениях); способность выполнять одновременно несущую и ограждающую функции; имеют многообразные формы для различного функционального назначения.

В инженерной практике широкое использование получили деревометаллические блок-фермы.

В основу их формообразования заложен принцип блокировки плоскостных конструкций элементами ограждения, некоторым образом реализующий идею сплачивания по ширине поперечного сечения (а не по его высоте, как в плоскостных конструкциях).

В результате этого основным конструктивным элементом блочных конструкций являются крупноразмерные плиты с деревянными каркасами и обшивками из фанеры, плоских или профилированных металлических или асбестоцементных листов. Благодаря такому укрупнению элементов, по сравнению с традиционными плоскостными конструкциями, в блочных конструкциях обеспечивается возможность использования пиломатериалов с небольшими размерами поперечных сечений, а также ускорение возведения зданий.

Вследствие блокировки оказывается возможным вовлечь в совместную работу все элементы конструкции, обеспечив ее некоторую пространственность и рациональность расходования материалов.

Исследованиями и опытно-конструкторскими разработками в данной области занимались такие ученые, как Н.П. Абовский, Л.В. Енджиевский, И.С. Инжутов, П.А. Дмитриев, С.В. Деордиев, В.И. Жаданов, Р.Б. Орлович, и др.

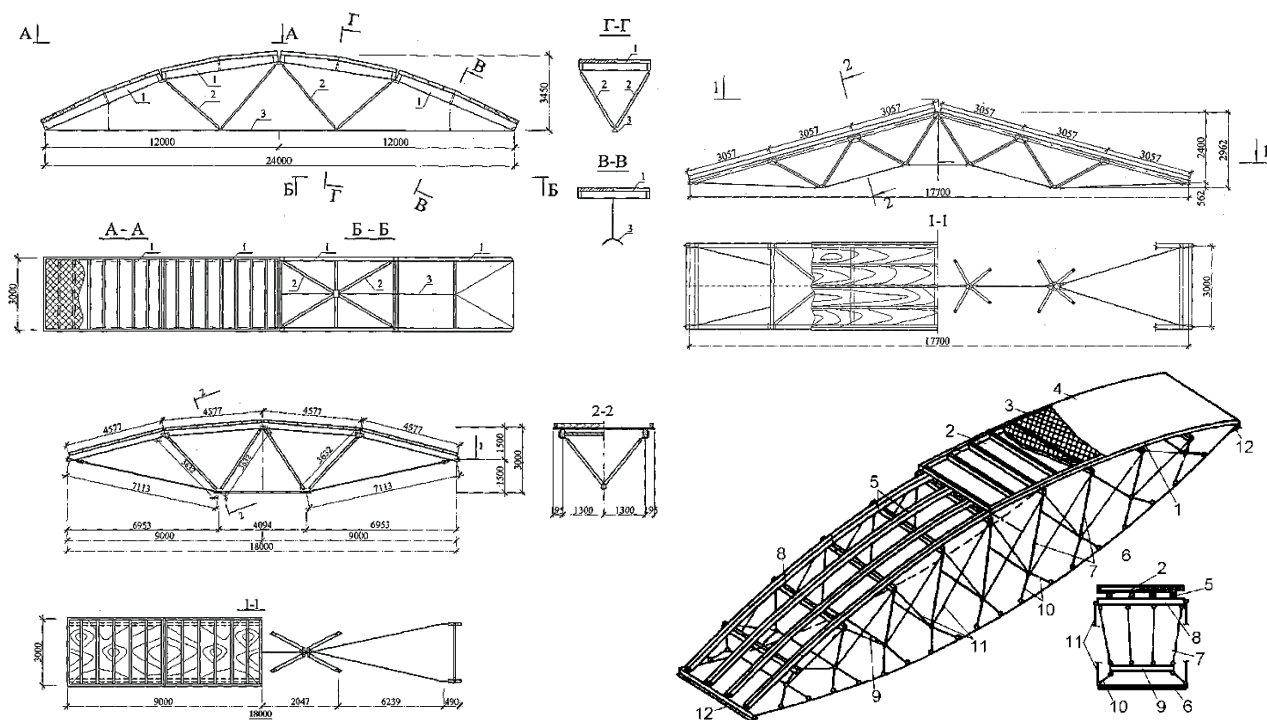


Рис. 2. Примеры конструкторских разработок блочных конструкций покрытий (блок-ферм)
Fig. 2. Examples of design developments of block constructions of coatings (block farms)

Ведущими научно-исследовательскими институтами, проектными и учебными заведениями проводились теоретические и экспериментальные исследования различных комбинированных на основе древесины пространственных конструкций покрытий.

Однако существуют объективные причины, сдерживающее более широкое применение БКДК в строительной индустрии.

К этим причинам можно отнести недостаточную оценку ползучести древесины при проектировании, следствием чего является неточный прогноз прогибов изгибаемых деревянных элементов при действии длительной нагрузки.

Известно, что в процессе эксплуатации происходит изменение физико-механических свойств древесины. Эта проблема достаточно подробно изучена в трудах К.П. Пятикрестовского, В.И. Травуша, Е.Н. Серова, Д.К. Арленинова и др. [4,6,8-17]. Но до сих пор малоизученным остается вопрос влияния уровня напряжений на рост ползучести древесины, а также отсутствует конкретная методика по расчету в нормативной литературе.

Постановка задачи. Целью данного исследования является уточнение расчета деревянных конструкций, а именно использование в расчете по второй группе предельного состояния переменного модуля упругости для более точного прогноза прогибов.

Модуль упругости или модуль Юнга – величина, характеризующая сопротивление материала растяжению/сжатию при упругой деформации, или свойство объекта деформироваться вдоль оси действия силы. Выражается из закона Гука и определяется, как отношение напряжения к деформации сжатия (удлинения)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

В современной нормативной литературе по проектированию деревянных конструкций [7] рекомендуется при расчетах по второй группе предельного состояния применять $E = 10000$ МПа; по первой группе – $E = 300R$, т.е. 3900 МПа.

Такой разброс в значениях модуля упругости обусловлен тем, что при использовании «модуля деформаций» (3900 МПа) в расчетах по обеим группам предельного состояния деревянные конструкции становятся неконкурентными металлическим и железобетонным. В теории расчета железобетонных конструкций [5] имеется направление, учитывающее реологические свойства бетона в линейной, но неравновесной постановке, т.е. с учетом запаздывания деформаций, влияния режима и длительности загрузки.

Согласно данному направлению ползучесть бетона может учитываться в линейных расчетах с помощью замены начального модуля упругости бетона некоторым, уменьшающимся во времени вследствие ползучести, т.е. «модулем деформации» бетона. Такой подход учета реологических свойств материала при определении деформативности изгибаемых и сжато-изгибаемых элементов в линейной постановке вполне приемлем при расчете деревянных конструкций.

Методы исследования. Основываясь на этом в работах [1-3] предложена методика учета ползучести, в которой, используя линейно-степенную зависимость между напряжением и относительными деформациями, а также экспериментальные данные по оценке ползучести древесины, при напряжениях, не превышающих расчетное сопротивление в работе на сжатие и изгиб, рекомендуется для расчета деревянных конструкций, в первую очередь статически неопределимых стержневых систем, использовать переменный модуль упругости, а точнее «модуль полных деформаций», в величине которых помимо упругих учитываются остаточные деформации, доля которых увеличивается по мере возрастания уровня напряжений в деревянных элементах. В таблице 1 приведена зависимость переменного модуля упругости от уровня напряжений в деревянных элементах.

Таблица 1. Зависимость переменного модуля упругости от уровня напряжений [2]
Table 1. Dependence of the variable modulus of elasticity on the stress level [2]

Напряжения, МПа	≤ 5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0
E, МПа	10000	9200	8300	7400	6500	5600	5000	4400	3900

В работе [2] приведен пример расчета статически определимой балки с учетом ползучести, нагруженной двумя сосредоточенными силами.

Обсуждение результатов. Нами в качестве примера приведен расчет статически неопределимой пространственной деревометаллической линзообразной блок-фермы, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой. Расчет производился с применением программного комплекса SCAD 21.1. Проекция блок-фермы представлена на рис. 3

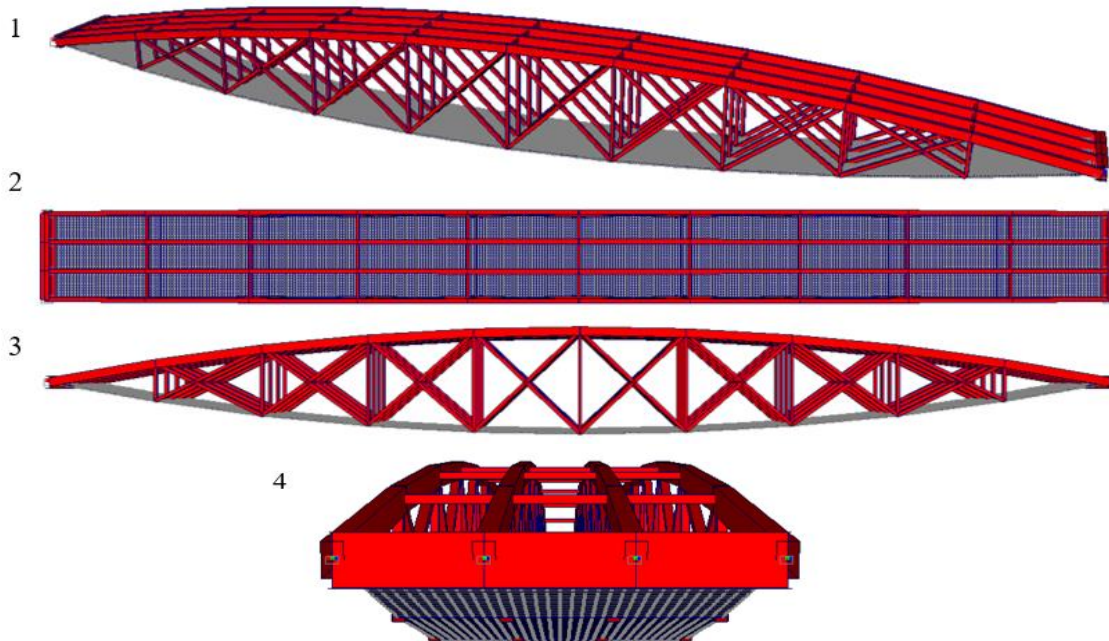


Рис.3. Проекция блок-фермы

1 – диаметрия; 2 – вид сверху; 3 – вид спереди; 4 – вид сбоку

Fig.3. Block farm projections

1 - the diameter; 2 is a plan view; 3 is a front view; 4 is a side view

Нижний пояс (затяжка) – стальная пластина толщиной 0,7 мм (тип элемента 44 – 4-х угольный КЭ оболочки); верхний – клееный брус 150x150 мм, стойки и раскосы – из цельной

древесины сечением 75 и 35 мм соответственно (тип элементов 5 – пространственный стержень). Пролет блок-фермы – 36 м.

Расчетная схема блок-фермы представлена на рис. 4.

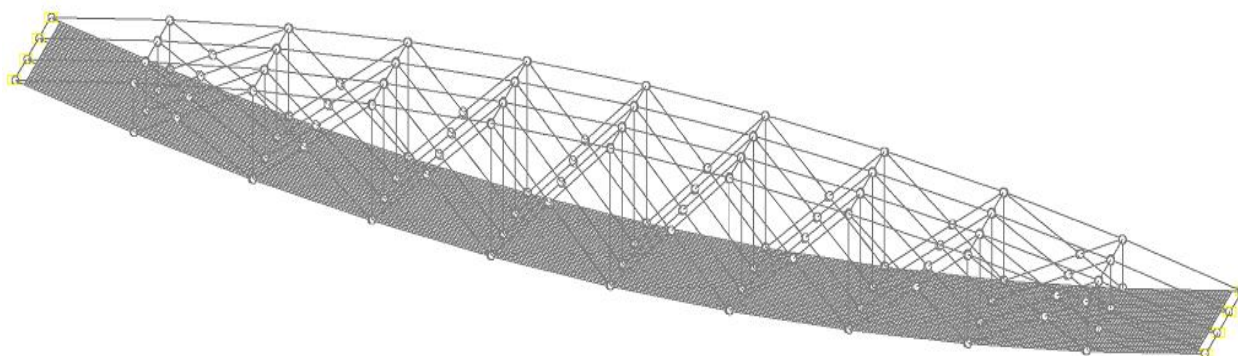


Рис.4. Расчетная схема линзообразной блок-фермы
Fig.4. Calculation scheme of lenticular block-truss

На первом этапе конструкция была рассчитана с модулем упругости всех деревянных элементов $E = 10000$ МПа в соответствии с СП [7]. При расчете конструкции на статическую нагрузку максимальный прогиб в середине пролета составил 63 мм, что меньше предельного $f = 1/300 = 36000/300 = 120$ мм. (2)

На рис.5 представлены изополя и изолинии перемещений по оси Z.

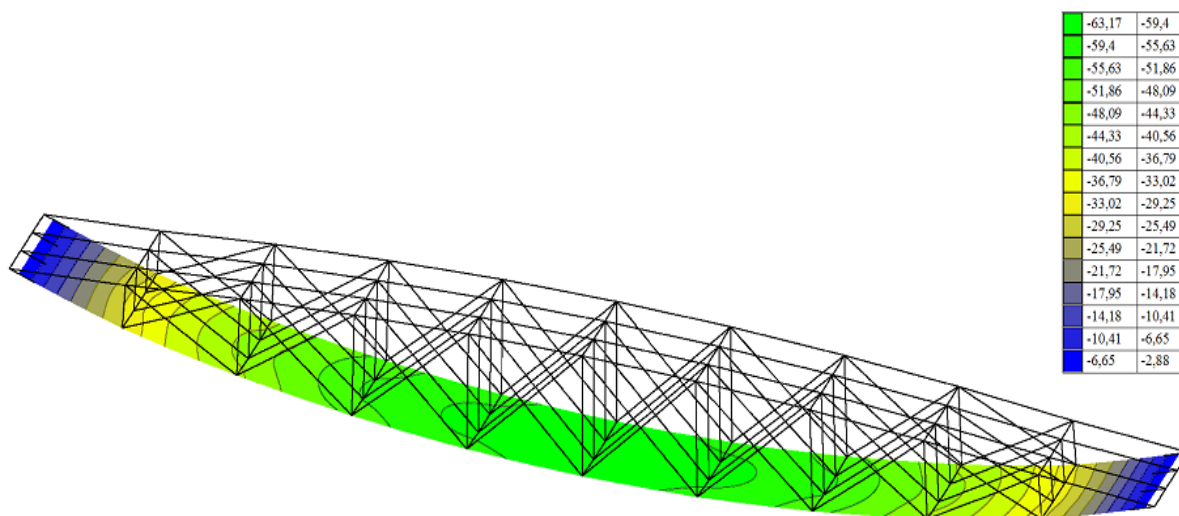


Рис. 5. Изополя и изолинии перемещений по оси Z, мм
Fig. 5. Isopolis and isolines of displacements along the Z axis, mm

На втором этапе модуль упругости был заменен на переменный, то есть, подобран в соответствии с таблицей 1 в зависимости от уровня напряжений в элементах с помощью интерполяции. Для верхнего сжато-изгибаемого пояса, напряжение в котором близко к расчетному сопротивлению и равно 12,15 МПа, переменный модуль упругости составил 4325 МПа; в стойках – 8532 МПа; в раскосах – 9291 МПа.

С учетом этих изменений прогиб конструкции в середине пролета изменился на 27 мм и составил 90 мм. На рис. 6 представлены изополя и изолинии перемещений по оси Z.

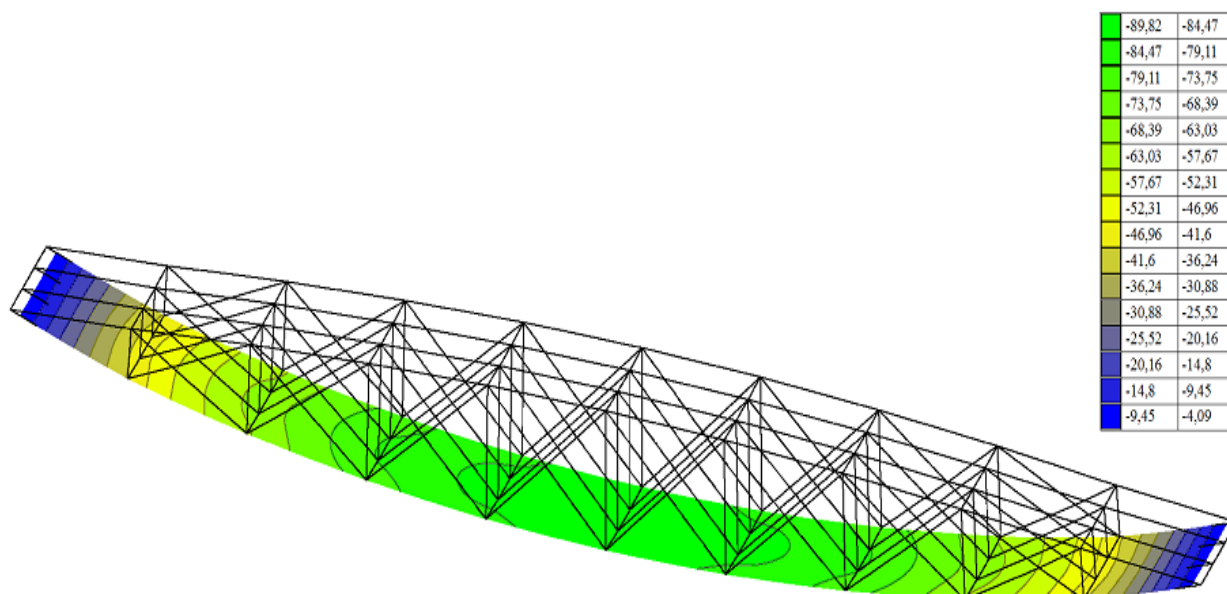


Рис. 6. Изополя и изолинии перемещений по оси Z, мм
Fig. 6. Isopoles and isolines of displacements along the Z axis, mm

На рис. 7 представлена гистограмма для сопоставления результатов расчетов по второй группе предельного состояния: с нормативным и переменным модулем упругости.

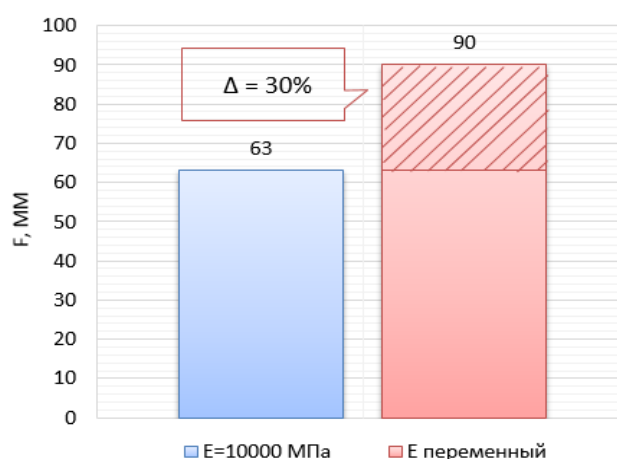


Рис. 7. Сопоставление полученных результатов
Fig.7. Comparison of the results obtained

Анализируя представленную гистограмму, можно сделать вывод, что использование переменного модуля упругости в расчетах существенным образом влияет на величину прогибов (в нашем случае увеличение составило 30%).

Вывод. Результаты проведенного исследования подтверждают необходимость учета ползучести древесины и уточнения расчетов деревянных конструкций.

Аппроксимирующая зависимость при разных уровнях влажности древесины позволит производить расчеты деревянных конструкций на более высоком теоретическом уровне.

Полученный прогиб конструкции не превысил предельного значения. Однако в нашем исследовании не учитывается податливость узловых соединений, пороки древесины, что также окажет существенное влияние на значение прогиба. Поэтому в дальнейшем нами будет предусмотрено устройство управления напряженно-деформированным состоянием данной конструкции.

Библиографический список:

1. Арленинов Д.К., Арленинов П.Д. Переменный модуль упругости древесины. Вестник МГСУ, 2011,2(1), 150-152.
2. Арленинов Д.К. Инженерный метод учета ползучести древесины при определении прогибов. Вестник МГСУ, 2011,2(1), 147-149.
3. Арленинов Д.К., Беккер Д.А. Влияние уровня напряжений на ползучесть древесины при изгибе. Лесной журнал, 2015,(6), 128-137.
4. Пятикрестовский К.П., Травуш В.И. О программировании нелинейного метода расчета деревянных конструкций. Academia. Архитектура и строительство, 2015,(2), 117-121.
5. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: Издательство Харьковского университета, 1968. 323 с.
6. Рожков А.Ф. Управляемые блок-секции с предварительно напряженными деревянными элементами. Дисс. канд. техн. наук. Красноярск, 2006. 191 с.
7. СП 64.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП II-25-80) «Деревянные конструкции» (утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. № 826) // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ОАНИЦ «Строительство», 20.05.2011.
8. Javier Estévez. Timberspatial trussesusinghollowbars // Internationales Holzbau-Forum 11 –Germany, 2011.
9. Peter R. Smith The behaviour of traditional timber roof framing in domestic buildings // Architectural Science Review – Australia, 2011.
10. Milan Šmak, Jan Barnat. Dowelled joints in timber structures. Experiment–design–realization // Wood Research – Slovakia, 2016.
11. Kaziolas D.N., Zygomas I., G.E. Stavroulakis & C.C. Baniotopoulos. LCA of timber and steel buildings with fuzzy variables uncertainty quantification // European Journal of Environmental and Civil Engineering – UK, 2016.
12. Saulius Kavaliauskas, Audronis Kazimieras Kvedaras & Kestutis Gurkšnyš. Evaluation of long-term behaviour of composite timber-concrete structures according to EC // UkioTechnologinisirEkonominisVystymas – Lithuania, 2010.
13. Huifeng Yang, Dongdong Ju, Weiqing Liu, Weidong Lu, Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars // Construction and Building Materials, 2016.
14. Akyildiz M.H. Screw-nail withdrawal and bonding strength of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. // Journal of Wood Science – Japan, 2014.
15. Ryuya Takashi, Kei Sawata, Yoshihisa Sasaki, Akio Koizumi. Withdrawal strength of nailed joints with decay degradation of wood and nail corrosion // Journal of Wood Science – Japan, 2016.
16. Barcik S., Gasparik, M., Horejs. P. Influence of Thermal Modification on Nail Withdrawal Strength of Spruce Wood // Bioresources – USA, 2014.
17. Smith Tobias. Post-tensioned Timber Frames with Supplemental Damping Devices // University of Canterbury – New Zealand, 2014.

References:

1. Arleninov D.K., Arleninov P.D. Peremennyy modul' uprugosti drevesiny. Vestnik MGSU. 2011; 2(1):150-152. [Arleninov D.K., Arleninov P.D. Variable elasticity moduli of wood. Scientific and Engineering Journal for Construction and Architecture. 2011; 2(1):150-152. (In Russ.)]
2. Arleninov D.K. Inzhenernyy metod ucheta polzuchesti drevesiny pri opredelenii progibov. Vestnik MGSU. 2011; 2(1):147-149. [Arleninov D.K. Engineering method of accounting for creep of wood in determining deflections. Scientific and Engineering Journal for Construction and Architecture. 2011;2(1):147-149. (In Russ.)]
3. Arleninov D.K., Bekker D.A. Vliyanie urovnya napryazheniy na polzuchest' drevesiny pri izgibe. Lesnoy zhurnal. 2015; 6:128-137. [Arleninov D.K., Bekker D.A. The influence of the stress level on the creep of wood during bending. Forestry journal. 2015; 6:128-137. (In Russ.)]
4. Pyatikrestovskiy K.P., Travush V.I. O programmirovani nelineynogo metoda rascheta derevyannykh konstruktсий. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2015; 2:117-121. [Pyatikrestovskiy K.P., Travush V.I. About programming of nonlinear method of calculation of wooden constructions. Academia. Architecture and Construction. 2015; 2:117-121. (In Russ.)]
5. Bondarenko V.M. Nekotorye voprosy nelineynoy teorii zhelezobetona. Khar'kov: Izdatel'stvo Khar'kovskogo universiteta; 1968. 323 s. [Bondarenko V.M. Some questions of the nonlinear theory of reinforced concrete. Khar'kov: Publishing house of Khar'kov University; 1968. 323 p. (In Russ.)]
6. Rozhkov A.F. Upravlyaemye blok-sektsii s predvaritel'no napryazhennymi derevyannymi elementami. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk. Krasnoyarsk. 2006. 191 s. [Rozhkov A.F. Managing of block sections with prestressed wooden elements. Published Candidate of Technical Sciences thesis. Krasnoyarsk. 2006. 191 p. (In Russ.)]
7. SP 64.13330.2011 (aktualizirovannaya redaktsiya SNIp II-25-80) "Derevyannye konstruktсий" (utverzhdenn pri kazom Ministerstva regional'nogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii (Minregion Rossii) ot 28 dekabrya 2010 g. № 826). TsNIISK im. V.A. Kucherenko, OANITs "Stroitel'stvo", 20.05.2011. [SP 64.13330.2011 (updated version

- of SNiP II-25-80) “Wooden constructions” (approved by the order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation (Ministry of Regional Development of Russia) on December 28, 2010 No. 826). CNIISK named after V.A. Kucherenko, OAO NITs “Stroitel'stvo”, 20.05.2011. (In Russ.)]
8. Estévez J. Timberspatial trusses using hollow bars. Internationales HolzBau-Forum 11. Germany, 2011. P.1-13. URL: http://www.forum-holzbau.com/pdf/ihf11_estevez.pdf
 9. Smith P.R. The behaviour of traditional timber roof framing in domestic buildings. Architectural Science Review. 1973; 16(3):152-154.
 10. Šmak M., Barnat J. Dowelled joints in timber structures. Experiment–design–realization. Wood Research. 2016; 61(4):651-662.
 11. Kaziolas D.N., Zygomalas I., Stavroulakis G.E. & Baniotopoulos C.C. LCA of timber and steel buildings with fuzzy variables uncertainty quantification. European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2017; 21(9):1128-1150.
 12. Kavaliauskas S., Kvedaras A.K. & Gurkšnyš K. Evaluation of long-term behaviour of composite timber-concrete structures according to EC. Ukie Technologinis ir Ekonominis Vystymas. 2005; 11(4):292-296.
 13. Huifeng Yang, Dongdong Ju, Weiqing Liu, Weidong Lu. Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars. Construction and Building Materials. 2016; 109:73-83.
 14. Akyildiz M.H. Screw-nail withdrawal and bonding strength of paulownia (*Paulownia tomentosa* Steud.) wood. Journal of Wood Science. 2014; 60(3):201-206.
 15. Takanashi R., Sawata K., Sasaki Y., Koizumi A. Withdrawal strength of nailed joints with decay degradation of wood and nail corrosion. Journal of Wood Science. 2017; 63(2):192-198.
 16. Barcik S., Gasparik M., Horejs P. Influence of Thermal Modification on Nail Withdrawal Strength of Spruce Wood. BioResources. 2014; 9(4):5963-5975.
 17. Smith T. Post-tensioned Timber Frames with Supplemental Damping Devices. Christchurch: University of Canterbury; 2014.

Сведения об авторах:

Инжутов Иван Семенович – доктор технических наук, профессор, кафедра строительных конструкций и управляемых систем.

Мезенцев Владислав Вадимович - магистрант

Рожков Александр Федорович - кандидат технических наук, доцент, кафедра строительных конструкций и управляемых систем.

Хованский Максим Евгеньевич - магистрант.

Information about the authors:

Ivan S. Inzhutov - Dr. Sci., (Technical) Prof., Department of Building Constructions and Controlled Systems.

Vladislav V. Mezentsev - Master's student.

Alexander F. Rozhkov - Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Building Constructions and Controlled Systems.

Maxim E. Khovansky - Master's student.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.08.2017.

Принята в печать 21.09.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.08.2017.

Accepted for publication 21.09.2017.

Для цитирования: Коллеганов А.В., Коллеганов Н.А., Маилян Д.Р., Несветаев Г.В. К расчету сечений, усиленных ремонтными составами. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):165-173. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-165-173

For citation: Kolleganov A.V., Kolleganov N.A., Mailyan D.R., Nesvetaev G.V. On the calculation of sections reinforced by repair com-pounds. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 165-173. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-165-173

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 658.562

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-165-173

К РАСЧЕТУ СЕЧЕНИЙ, УСИЛЕННЫХ РЕМОНТНЫМИ СОСТАВАМИ

Коллеганов А.В.³, Коллеганов Н.А.⁴, Маилян Д.Р.¹, Несветаев Г.В.²

^{1,2} Донской государственный технический университет,

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д.1, Россия,

^{3,4} Северо-Кавказский государственный технический университет,

^{3,4}355029, г. Ставрополь, просп. Кулакова, д.2, Россия,

¹e-mail: mailyan@rgsu.ru, ²e-mail: nesgrin@yandex.ru,

³e-mail: alekskoll@mail.ru, ⁴e-mail: alekskoll@mail.ru.

Резюме: Цель. Целью исследования является оценка влияния деформационных свойств бетонов при восстановлении и (или) усилении железобетонных сечений ремонтными составами. **Метод.** В исследовании применен метод расчета несущей способности бетонных сечений по нелинейной деформационной модели с использованием диаграмм деформирования бетонов с учетом влияния эффекта «обоймы» и рецептурных факторов на деформационные свойства бетонов. Построены диаграммы деформирования при кратковременном нагружении бетонов различных классов с учетом возможного изменения деформационных свойств бетона вследствие особенностей его структуры (мелкозернистый бетон) и наличия в составе бетона модифицирующих добавок (ремонтный бетон). **Результат.** Повышение несущей способности сечения при неизменной его общей площади не прямо пропорционально площади бетона усиления. Повышение несущей способности сечения не прямо пропорционально повышению класса бетона усиления. Повышение коэффициента обоймы от 1,3 до 1,5 обеспечивает повышение несущей способности сечения от 15,5 до 58%. Повышение модуля упругости ремонтного бетона в 1,5 раза приводит к повышению несущей способности сечения от 19 до 50%. При неизменной величине сечения и коэффициенте армирования применение ремонтного бетона позволяет повысить несущую способность рассмотренного сечения от 1,07 до 2,25 раза. **Вывод.** Расчет прочности железобетонных элементов, усиленных ремонтными составами, по нелинейной деформационной модели позволяет более точно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) и, соответственно, несущую способность после усиления, при этом выбор ремонтного состава целесообразно производить в зависимости от поставленной задачи с учетом деформационных свойств «старого» бетона.

Ключевые слова: нелинейная деформационная модель, эффект «обоймы», ремонтный бетон, деформационные свойства, несущая способность, диаграмма деформирования

TECHNICAL SCIENCE BUILDING AND ARCHITECTURE

*Aleksey V. Kolleganov*³, *Nikita A. Kolleganov*⁴, *Dmitry R. Mailyan*¹, *Grigory V. Nesvetaev*²
^{1,2}Donskoy State Technical University,
1 Gagarina Sq., Rostov-on-Don 344000, Russia,
^{3,4}North-Caucasian State Technical University,
^{3,4}2 Kulakov Ave., Stavropol 355029, Russia,
¹e-mail: mailyan@rgsu.ru, ²e-mail: nesgrin@yandex.ru,
³e-mail: alekskoll@mail.ru, ⁴e-mail: alekskoll@mail.ru.

ON THE CALCULATION OF SECTIONS REINFORCED BY REPAIR COMPOUNDS

Abstract Objectives. The aim of the study is to assess the influence of concrete deformation properties during the restoration and (or) reinforcement of reinforced-concrete sections using repair compounds. **Methods.** In the study, a method of calculation of the load-carrying capacity of concrete sections is used according to a non-linear deformation model using diagrams of concrete deformation, taking into account the influence of the confinement effect and prescription factors on the deformation properties of concrete. Deformation diagrams are constructed for short-term loading of concrete of various classes, taking into account the possible change in its deformation properties due to its structural features (e.g. fine-grained) and the presence of modifying additives (repair concrete) in its composition. **Results.** The increase in the load-bearing capacity of a section with its total area unchanged is not directly proportional to the area of the reinforced concrete. The increase in the load-bearing capacity of the section is not directly proportional to the increase in the class of concrete reinforcement. Increasing the confinement coefficient from 1.3 to 1.5 provides an increase in the load-bearing capacity of the section from 15.5% to 58%. An increase in the elastic modulus of repair concrete by 1.5 times leads to an increase in the load-bearing capacity of the section from 19% to 50%. While keeping sectional value and reinforcement factor constant, the use of repair concrete makes it possible to increase the bearing capacity of the section under consideration from 1.07 to 2.25. **Conclusion.** The calculation of the strength of reinforced concrete elements reinforced with repair compounds according to the nonlinear deformation model allows the stress-strain state (SSS) – and, consequently, the bearing capacity after the reinforcement – to be estimated more accurately, while the choice of the repair compound depends on the deformation properties of the “old” concrete.

Keywords: nonlinear deformation model, confinement effect, repair concrete, deformation properties, bearing capacity, deformation diagram

Введение. В процессе эксплуатации железобетонные конструкции часто приобретают повреждения, связанные с потерей сечения конструктивных элементов, а также разрушением защитного слоя бетона различного генезиса. В большинстве случаев компенсирующие мероприятия при обнаружении дефектов подобного рода сводятся к рекомендациям по удалению поврежденного бетона, восстановлению сечений или защитного слоя с обеспечением последующей совместной работы коренного и наращиваемого материалов конструкции, усиление конструкции внешним армированием [1-4]. При этом дополнительные рекомендации по адаптации ремонтных составов к железобетонным конструкциям с различными свойствами бетона, эксплуатируемых в разных средах и различных условиях напряженно-деформированного состояния (НДС), как правило, отсутствуют.

Постановка задачи. Очевидно, что при проведении оценки влияния деформационных свойств бетонов при восстановлении и (или) усилении железобетонных сечений ремонтными составами следует различать два случая:

- ремонтный состав используется для восстановления защитного слоя, в этом случае толщина ремонтного бетона, как правило, не превышает 50 – 60 мм, а для эффективной

совместной работы «старого» и «нового» бетонов целесообразно обеспечение более высокой деформативности ремонтного бетона в сравнении со «старым» бетоном:

$$R_{b,1} \leq R_{b,2} \text{ и } E_{0,1} \geq E_{0,2} \quad (1)$$

где, $E_{0,1}$, $E_{0,2}$, $R_{b,1}$, $R_{b,2}$ – соответственно модули упругости и пределы прочности на сжатие «старого» бетона и бетона усиления;

- ремонтный состав используется для восстановления (или повышения) несущей способности конструкции, в т.ч. наращиванием сечения, в этом случае геометрические параметры ремонтного слоя должны обеспечивать размещение (при необходимости) дополнительной арматуры, а прочностные и деформационные свойства бетона следует принимать с учетом НДС конструкции и свойств «старого» бетона.

Методы исследования. В качестве простейшего примера рассмотрим несущую способность N сечения короткой центрально-сжатой стойки, усиленной ремонтным составом, которая может быть определена как

$$N = R_{b,1}^* \cdot A_{b,1} + R_{sc,1} \cdot A_{sc,1} + R_{b,2} \cdot A_{b,2} + R_{sc,2} \cdot A_{sc,2} \quad (2)$$

$A_{sc,1}$, $A_{sc,2}$ – площадь рабочей арматуры в «старом» бетоне и в усиливающем сечении (ремонтный бетон или бетон усиления);

$A_{b,1}$, $A_{b,2}$ – площадь «старого» бетона и усиливающего бетонного сечения;

$R_{sc,1}$, $R_{sc,2}$ – расчетное сопротивление на сжатие арматуры в «старом» бетоне и в усиливающем сечении;

$R_{b,1}^* = k \cdot R_{b,1}$ – расчетное сопротивление «старого» бетона с учетом его упрочнения в обойме [5-8] и ремонтного бетона;

$R_{b,1}$ – расчетное сопротивление «старого» бетона.

На рис. 1 представлены диаграммы деформирования при кратковременном нагружении бетонов различных классов с учетом возможного изменения деформационных свойств бетона вследствие особенностей его структуры (мелкозернистый бетон) и наличия в составе бетона модифицирующих добавок (ремонтный бетон).

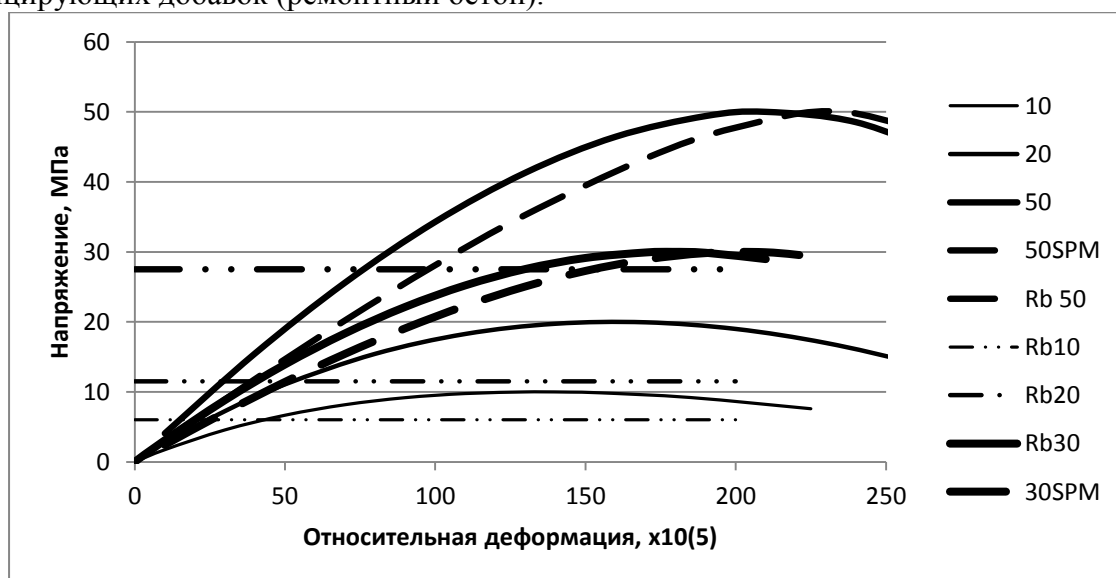


Рис.1. Диаграммы деформирования бетонов различных классов

10 – 50 – класс бетона по прочности на сжатие;

$R_{b,10}$ – $R_{b,50}$ – расчетные сопротивления бетонов соответствующих классов по СП63.13330; SPM– модифицированные бетоны соответствующих классов

Fig.1. Diagrams of deformation of concrete of various classes

10 - 50 - class of concrete for compressive strength;

$R_{b,10}$ - $R_{b,50}$ - design resistance of concrete of the corresponding classes according to SP63.13330; SPM-modified concrete of the corresponding classes

Для обеспечения полного включения в работу при условии равенства деформаций должно выполняться условие

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2,$$

при этом

$$R_{b,1}(R_{b,1}^*) = \sigma_{b,1} = f(\varepsilon_1), \quad (3)$$

$$\sigma_{b,2} = f(\varepsilon_2) \quad (4)$$

Очевидно, что выполнение указанных условий предопределяет $R_{b,1}(R_{b,1}^*) = R_{b,2}$, в связи, с чем, например, в [1] указано: «класс бетона усиления следует принимать по значению, ближайшему большему, чем условный класс бетона усиливаемой конструкции...».

При этом отмечается, что «для конструкций, работающих в агрессивной среде или имеющих повреждения от коррозии, класс бетона усиления должен приниматься по плотности или по стойкости, соответствующим требованиям данной агрессивной среды».

Согласно СП 28.13330 минимальный класс бетона железобетонных конструкций составляет от В25 для класса среды ХС1 до В45 для классов ХС2, ХС3, ХД2, ХД3, ХА3.

При этом фактический класс бетона восстанавливаемых конструкций может быть значительно ниже [11].

Кроме того, для восстановления железобетонных конструкций в настоящее время производится и применяется значительное количество ремонтных составов в виде сухих строительных смесей (ССС), которые характеризуются классами по прочности на сжатие от В25 до В60, мелкозернистой структурой и наличием модифицирующих добавок, что предопределяет возможность повышения деформационных свойств бетонов в сравнении с традиционными бетонами (табл. 1).

Таблица 1. Свойства некоторых ремонтных бетонов
 Table 1. Properties of some repair concretes

Производитель	Марка	ρ , кг/м ³	R, МПа	B_{ϕ}^*	E_0 , ГПа
Sika	Mono Top 412N	2204	63,5	50,8	31,31
	Mono Top 336N	2204	66,6	53,3	29,19
КТ-ТРОН	КТ-ТРОН-3 Т500	2118	45,8	36,6	30,82
	КТ-ТРОН-3 Л600	2203	76,6	61,3	32,94
BASF	Master Emaco S488	2176	72,4	57,9	31,51
	Master Emaco S488 PG	2244	73,3	58,6	29,72

Примечание: * $B_{\phi} = 0,8 \cdot R$

Обсуждение результатов. Представленные на рис. 2 данные свидетельствуют о том, что:

- начальный модуль упругости ремонтных бетонов в целом подчиняется среднестатистической зависимости $E_0 = f(R)$;
- возможно отклонение значений E_0 до 10%, вероятно связанное с влиянием добавок в составе бетонов на величину модуля упругости [12].

$$T1 - E_0 = 0,95 \cdot \frac{(0,05R_{pr} + 57)(\rho/2,4)^{1,25}}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}}; \quad T2 - E_0 = 0,85 \cdot \frac{(0,05R_{pr} + 57)(\rho/2,4)^{1,25}}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}},$$

где, в ф.(Т1) значение ρ составляет 2200 кг/м³, в ф. (Т2) – 2100 кг/м³; 0,95 и 0,85 соответственно учитывает возможное влияние добавок в составе бетонов на модуль упругости.

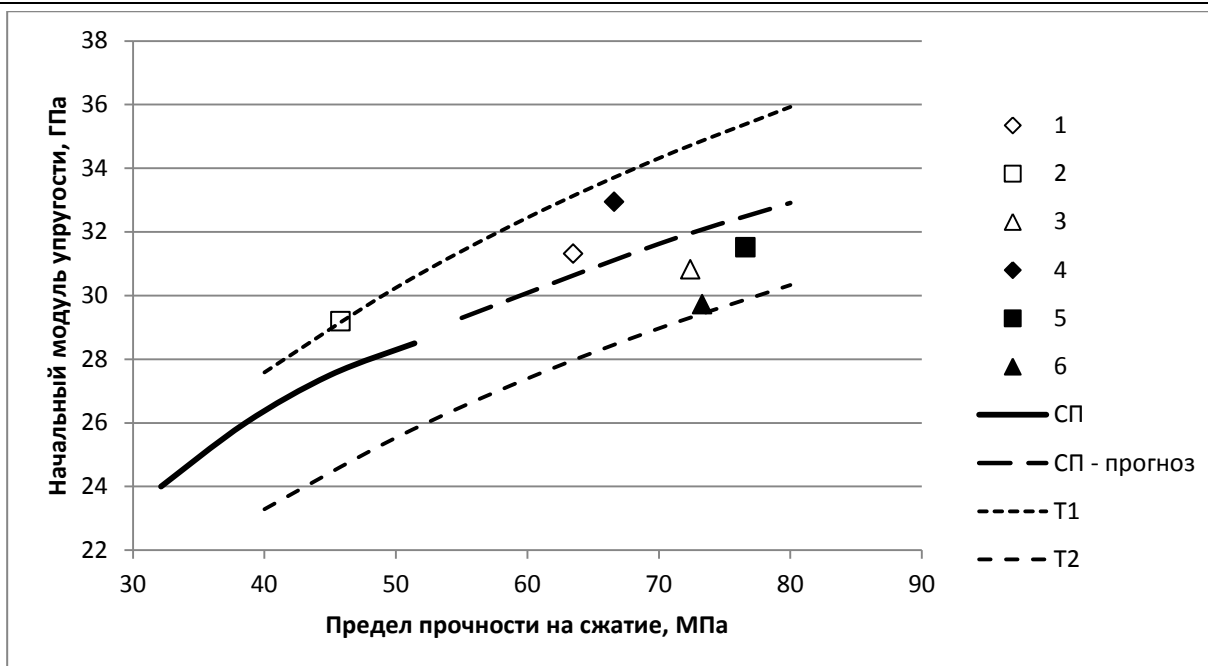


Рис. 2 Зависимость начального модуля упругости бетона от предела прочности на сжатие
 1 – 6 исследованные бетоны; СП – по СП 63.13330; СП-прогноз – экстраполяция значений СП для бетонов классов более В 40 (в СП 63.13330 нормирование классов мелкозернистых бетонов предусмотрено до В40)

Fig. 2 Dependence of the initial modulus of elasticity of concrete on the compressive strength
 1 - 6 investigated concrete according; JV - according to SP 63.13330; SP-forecast - extrapolation of SP values for concretes of classes more than 40 (in SP 63.13330 rationing of classes of fine-grained concretes is provided up to В40)

В связи вышеизложенным становится очевидным тот факт, что при применении сухих строительных смесей (ССС) для восстановления железобетонных конструкций важной задачей становится обоснованное назначение расчетных параметров бетона усиления с учетом:

- повышенных, как правило, деформационных свойств бетона усиления в связи с особенностями его структуры (мелкозернистый бетон) и наличия модифицирующих добавок, которые могут влиять на деформационные свойства и прочность [12-15];
- повышения фактической прочности бетона усиливаемой конструкции за счет работы в «обойме» [5,7-10].

Изменение свойств бетона усиливаемой конструкции в обойме можно представить в виде

$$R_{b,1}^* = k \cdot R_{b,1}, \quad (5)$$

$$E_{1,0}^* = c \cdot E_{1,0}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{R,1}^* = d \cdot \sqrt{\frac{R_1^*}{E_{1,0}^*}} = d \cdot \sqrt{\frac{k \cdot R_1}{c \cdot E_{1,0}}} = \sqrt{\frac{k}{c}} \cdot d \cdot \sqrt{\frac{R_1}{E_{1,0}}} = \sqrt{\frac{k}{c}} \cdot \varepsilon_{R,1} = m \cdot \varepsilon_{R,1}, \quad (7)$$

где, $R_{b,1}^* = k \cdot R_{b,1}$, – расчетное сопротивление «старого» бетона ($R_{b,1}$) с учетом его упрочнения в обойме [5,7-8,10];

c – коэффициент, учитывающий изменение начального модуля упругости «старого» бетона ($E_{1,0}$) с учетом его упрочнения в обойме [7-8];

m – итоговый коэффициент, учитывающий изменение деформационных свойств «старого» бетона ($\varepsilon_{R,1}$) с учетом его упрочнения в обойме [7-8];

Уровень напряжения бетона усиления при расчете по 1 группе предельных состояний может быть определен, например, из уравнения

$$\frac{\sigma_{b,2}}{R_{b,2}} = \frac{k_2 \cdot \left(\frac{m \cdot \varepsilon_{R,1}}{\varepsilon_{R,2}} \right) - \left(\frac{m \cdot \varepsilon_{R,1}}{\varepsilon_{R,2}} \right)^2}{1 + (k_2 - 2) \cdot \frac{m \cdot \varepsilon_{R,1}}{\varepsilon_{R,2}}} \quad (8)$$

В табл. 2 представлены значения расчетной «несущей способности» бетонного сечения общего размера 400x400 мм (без учета работы арматуры)

$$N = N_1 + N_2 = k \cdot R_{b,1} \cdot A_{b,1} + \sigma_{b,2} \cdot A_{b,2} \quad (9)$$

Таблица 2. Зависимость величины N от геометрических параметров сечения и свойств «старого» бетона и бетона усиления

Table 2. Dependence of the value of N on the geometrical parameters of the section and the properties of "old" concrete and concrete reinforcement

№	A _{b,1} , см ²	A _{b,2} , см ²	k	R _{b,1} , МПа	σ _{b,2} , МПа	N ₁ , кН	N ₂ , кН	N, кН	N/ A _{b,1} · R _{b,1}
бетон усиления В 50, E ₀ = 30160 МПа									
1	900	700	1,0	6,0	13	540	910	1450	1,51
2			1,3	7,8	14,1	702	987	1689	1,76
3			1,5	9,0	14,4	810	1008	1818	1,89
4	1225	375	1,0	6,0	13	735	488	1223	1,27
5			1,3	7,8	14,1	956	529	1485	1,55
6			1,5	9,0	14,4	1103	540	1643	1,71
бетон усиления В 50, E ₀ = 46400 МПа									
7	900	700	1,0	6,0	18,8	540	1316	1856	1,93
8			1,3	7,8	20,6	702	1442	2144	2,23
9			1,5	9,0	20,7	810	1449	2259	2,35
бетон усиления В30, E ₀ = 24600 МПа									
10	900	700	1,0	6,0	10,2	540	714	1254	1,31
11			1,3	7,8	11,0	702	770	1472	1,53
12			1,5	9,0	11,2	810	784	1594	1,66
бетон усиления В 30, E ₀ = 37800 МПа									
13	900	700	1,0	6,0	14,2	540	994	1534	1,6
14			1,3	7,8	15,3	702	1071	1773	1,85
15			1,5	9,0	15,6	810	1092	1902	1,98
бетон усиления В 50, E ₀ = 30160 МПа									
16	900	700	1,0	11,5	13,4	1035	938	1973	1,07
17			1,3	15,0	15,0	1346	1050	2396	1,3
18			1,5	17,3	17,3	1553	1211	2764	1,5
бетон усиления В 50, E ₀ = 46400 МПа									
19	900	700	1,0	11,5	22,6	1035	1582	2617	1,42
20			1,3	15,0	30,8	1346	2156	3502	1,9
21			1,5	17,3	37,0	1553	2590	4143	2,25

Анализ приведенных в таблице 2 данных показывает, что:

- повышение несущей способности сечения при неизменной его общей площади не прямо пропорционально площади бетона усиления (увеличение площади в $700/375 = 2$ раза привело к повышению несущей способности на 10,5 – 18,5%), в связи, с чем не следует стремиться к максимальной площади бетона усиления, она должна обеспечивать размещение арматуры, требуемую толщину защитного слоя и эффект «обоймы» для «старого» бетона, для чего толщина бетона усиления должна составлять не менее 80 мм [5-8];
- повышение несущей способности сечения не прямо пропорционально повышению класса бетона усиления (повышение класса бетона с В30 до В50, т.е. в 1,67 раза привело к повышению несущей способности от 14 до 21%, в зависимости от модуля упругости бе-

тона усиления при классе «старого» бетона В10), что следует учитывать при обосновании выбора класса ремонтного бетона;

- повышение коэффициента обоймы k от 1,3 до 1,5 обеспечивает повышение несущей способности сечения от 15,5 до 58% в зависимости от класса «старого» бетона, класса и модуля упругости ремонтного бетона;
- повышение модуля упругости ремонтного бетона в 1,5 раза приводит к повышению несущей способности сечения от 19 до 50% в зависимости от класса «старого» бетона, класса и модуля упругости ремонтного бетона, в связи, с чем при выборе бетона усиления целесообразно делать акцент не на повышение класса бетона, а на повышение модуля упругости бетона усиления, что важно и с точки зрения создания эффекта «обоймы» для «старого» бетона;
- при неизменной величине сечения и коэффициенте армирования применение ремонтного бетона позволяет повысить несущую способность сечения в рассматриваемом примере от 1,07 до 2,25 раза в зависимости от класса «старого» бетона, класса и модуля упругости ремонтного бетона, площади ремонтного бетона.

При длительном нагружении с учетом влияния добавок, входящих в ремонтные составы, на ползучесть [16] и усадку [17] бетона и, вследствие этого, а также возраста «старого» бетона, диаграммы деформирования «старого» и «нового» бетонов будут существенно различаться. Оценка напряженно-деформированного состояния в этом случае представляет отдельную задачу.

Вывод. Таким образом, расчет прочности железобетонных элементов, усиленных ремонтными составами, по нелинейной деформационной модели позволяет более точно оценить напряженно-деформированное состояние (НДС) и, соответственно, несущую способность после усиления, при этом выбор ремонтного состава целесообразно производить в зависимости от поставленной задачи с учетом деформационных свойств «старого» бетона.

Библиографический список:

1. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения. М.: Стройиздат, 1992
2. Шилин А.А. Ремонт железобетонных конструкций М.: Издательство «Горная книга», 2010. – 519 с.
3. Шилин А.А, Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. – М.: Стройиздат, 2004. – 144 с.
4. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. Под руководством д.т.н., проф. В.А. Клевцова. М.: НИИЖБ, 2006-48с.
5. Мкртчян А.М., Маилян Д.Р. Расчет железобетонных колонн из высокопрочного бетона по недеформированной схеме// Научное обозрение. 2013. № 11. С. 72-76.
6. V. Muradyan, D.Mailyan, A.Mkrtchyan and S. Osadchenko Investigation of reinforced concrete columns with recessed longitudinal rods without transverse reinforcement//MATEC Web Conf. Volume 106, 2017 International Science Conference SPbWOSCE-2016 “SMART City” <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710602008>
7. Маилян Д.Р. Метод расчета сжатых железобетонных элементов с учетом трансформированных диаграмм деформирования бетона при различных воздействиях: монография / Маилян Д.Р., Ахмед Аббуд, Ганди Джахажах. - 2008. - 67 с. 2.
8. Резван И.В., Маилян Д.Р. Несущая способность бетонного сердечника трубно-бетонных колонн // Вестник Майкопского государственного технологического университета. - 2011. - №3. - С. 18 - 25. 6.
9. Аксёнов В.Н. К расчету колонн из высокопрочного бетона по недеформированной схеме // Бетон и железобетон.– 2009.– № 1. – С. 24- 26.
10. MetinHusem, SelimPul. Investigation of stress–strain models for confined high strength concrete [Текст] // “Sadhana” Vol. 32, Part 3, June 2007, pp. 243–252. – India.
11. Коллеганов А.В., Маилян Д.Р., Несветаев Г.В., Блягоз А.М. Оценка критической конструктивной прочности бетона, подверженного коррозии// Новые технологии вып. 4/2012. Майкоп: ФГБОУ ВПО «МГТУ». С. 122-125
12. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Модуль упругости цементного камня с суперпластификаторами и минеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении// Бетон и железобетон. 2013. № 6. С. 10-13.
13. Низина Т.А., Пономарев А.Н., Балыков А.С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // Строительные материалы. 2016. № 9. С. 68–72.

14. Низина Т.А., Бальков А.С. Анализ комплексного влияния модифицирующих добавок и дисперсного армирования на физико-механические характеристики мелкозернистых бетонов // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 4. С. 25–32.
15. Зоткин А.Г. Прочностная совместимость цементов с суперпластификаторами // Технологии бетонов. 2014. № 9. С. 22–26.
16. G.V. Nesvetaev, I.V. Korchagin, Y.Y. Lopatina On Effect of Superplasticizers and Mineral Additives on Creep Factor of Hardened Cement Paste and Concrete// Solid State Phenomena Submitted: ISSN: 1662-9779, Vol. 265, pp 109-113 © 2017 Trans Tech Publications, Switzerland. <https://doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.265.109>
17. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны (SCC): усадка// Строительные материалы. 2009. № 8. С. 52-54.

References:

1. Rekomendatsii po proektirovaniyu usileniya zhelezobetonnykh konstruksii zdaniy i sooruzhenii rekonstruiruemyykh predpriyatii. Nadzemnye konstruksii i sooruzheniya. M.: Stroizdat; 1992. 191 s. [Recommendations on designing the reinforcement of reinforced concrete buildings and construction structures of the reconstructed enterprises. Overground constructions and structures. M.: Stroizdat; 1992. 191 p. (In Russ.)]
2. Shilin A.A. Remont zhelezobetonnykh konstruksii M.: Gornaya kniga; 2010. 519 s. [Shilin A.A. Repair of reinforced concrete structures. M.: Gornaya kniga; 2010. 519 p. (In Russ.)]
3. Shilin A.A., Pshenichnyi V.A., Kartuzov D.V. Usilenie zhelezobetonnykh konstruksii kompozitsionnymi materialami. M.: Stroizdat; 2004. 144 s. [Shilin A.A., Pshenichnyi V.A., Kartuzov D.V. Reinforcement of reinforced concrete constructions by composite materials. M.: Stroizdat; 2004. 144 p. (In Russ.)]
4. Rukovodstvo po usileniyu zhelezobetonnykh konstruksii kompozitnymi materialami. Pod rukovodstvom d.t.n., prof. V.A. Klevtsova. M.: NIIZhB; 2006. 48 s. [Guidelines for reinforcing reinforced concrete structures with composite materials. Under the guidance of Doctor of Technical Sciences, prof. V.A. Klevtsov. M.: NIIZhB; 2006. 48 p. (In Russ.)]
5. Mkrtychyan A.M., Mailyan D.R. Raschet zhelezobetonnykh kolonn iz vysokoprochnogo betona po nedeformirovannoi skheme. Nauchnoe obozrenie. 2013;11:72-76. [Mkrtychyan A.M., Mailyan D.R. Calculation of reinforced concrete columns made of high-strength concrete under the undeformed scheme. Science Review. 2013;11:72-76. (In Russ.)]
6. Muradyan V., Mailyan D., Mkrtychyan A., Osadchenko S. Investigation of reinforced concrete columns with recessed longitudinal rods without transverse reinforcement. MATEC Web Conf. Volume 106, 2017 International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City" <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710602008>
7. Mailyan D.R., Abbud A., Dzhakhazhakh G. Metod rascheta szhatykh zhelezobetonnykh elementov s uchetom transformirovannykh diagramm deformirovaniya betona pri razlichnykh vozdeistviyakh: monografiya. 2008. 67 s. [Mailyan D.R., Abbud A., Dzhakhazhakh G. Method of calculation of compressed reinforced concrete elements taking into account the transformed diagrams of concrete deformation at various influences: a monograph. 2008. 67 p. (In Russ.)]
8. Rezvan I.V., Mailyan D.R. Nesushchaya sposobnost' betonnoy serdechnika trubno-betonnykh kolonn. Vestnik Maikopskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. 2011;3:18 - 25. [Rezvan I.V., Mailyan D.R. Bearing capacity of a concrete core of pipe-concrete columns. The bulletin of Maikop state technological university. 2011;3:18 - 25. (In Russ.)]
9. Aksenov V.N. K raschetu kolonn iz vysokoprochnogo betona po nedeformirovannoi skheme. Beton i zhelezobeton. 2009;1:24- 26. [Aksenov V.N. On the calculation of columns of high-strength concrete by undeformed scheme. Beton i zhelezobeton. 2009;1:24- 26. (In Russ.)]
10. Metin H. Selim P. Investigation of stress-strain models for confined high strength concrete. Sadhana. 2007; 32(3):243–252.
11. Kolleganov A.V., Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Blyagoz A.M. Otsenka kriticheskoi konstruktivnoi prochnosti betona, podverzhennogo korrozii. Novye tekhnologii. 2012;4:122-125. [Kolleganov A.V., Mailyan D.R., Nesvetaev G.V., Blyagoz A.M. Assessment of the critical structural strength of concrete exposed to corrosion. New technologies. 2012;4:122-125. (In Russ.)]
12. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Modul' uprugosti tsementnogo kamnya s superplastifikatorami i mineral'nymi modifikatorami s uchetom ego sobstvennykh deformatsii pri tverdenii. Beton i zhelezobeton. 2013;6:10-13. [Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Elasticity modulus of cement stone with superplasticisers and mineral modifiers taking into account its own strains during hardening. Beton i zhelezobeton. 2013;6:10-13. (In Russ.)]
13. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S. Melkozernistye dispersno-armirovannyye betony na osnove kompleksnykh modifitsiruyushchikh dobavok. Stroitel'nye materialy. 2016;9:68–72. [Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S. Fine-grained dispersed-reinforced concretes based on complex modifying additives. Construction Materials. 2016;9:68–72. (In Russ.)]
14. Nizina T.A., Balykov A.S. Analiz kompleksnogo vliyaniya modifitsiruyushchikh dobavok i dispersnogo armirovaniya na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki melkozernistykh betonov. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2015;4:25–32. [Nizina T.A., Balykov A.S. Analysis of the complex effect of modifying additives and

- disperse reinforcement on the physical and mechanical characteristics of fine-grained concrete. Regional Architecture and Construction. 2015;4:25–32. (In Russ.)]
15. Zotkin A.G. Prochnostnaya sovmestimost' tsementov s superplastifikatorami. Tekhnologii betonov. 2014;9:22–26. [Zotkin A.G. Strength compatibility of cements with superplasticizers. Concrete Technologies. 2014;9:22–26. (In Russ.)]
 16. Nesvetaev G.V., Korchagin I.V., Lopatina Y.Y. On Effect of Superplasticizers and Mineral Additives on Creep Factor of Hardened Cement Paste and Concrete. Solid State Phenomena. 2017;265:109-113. <https://doi:10.4028/www.scientific.net/SSP.265.109>
 17. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Samouplotnyayushchiesya betony (SCC): usadka. Stroitel'nye materialy. 2009;8:52-54. [Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Self-compacting concrete (SCC): shrinkage. Construction Materials. 2009;8:52-54. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Маилян Дмитрий Рафаэлович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций.

Несветаев Григорий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства.

Коллеганов Алексей Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительства.

Коллеганов Никита Алексеевич – студент.

Information about the authors:

Grigory V. Nesvetaev – Dr. Sci. (Technical), Prof., head of Department Construction technology.

Dmitry R. Mailyan - Dr. Sci. (Technical), Prof., head of Department Reinforced concrete and stone structures/

Aleksey V. Kolleganov – Cand. Sci. (Technical), Prof., Assoc. Prof., Department Building.

Nikita A. Kolleganov – Student.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.07.2017.

Принята в печать 28.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 19.07.2017.

Accepted for publication 28.08.2017.

Для цитирования: Гулиев М.Е. Региональные цепочки добавленной стоимости как инструмент конкурентоспособности промышленной кооперации. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):174-184. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-174-184

For citation: Guliev M. E. Regional chains of added value as a tool of industrial cooperation-competitiveness. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 174-184. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-174-184

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ББК 65.5

УДК 339

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-174-184

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЦЕПОЧКИ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТИ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОЙ КООПЕРАЦИИ

Гулиев М.Е.

Азербайджанский государственный экономический университет,
1001, г. Баку, ул. Истиглалият, 6, Азербайджан,
e-mail: guliev@mail.ru

Резюме: Цель. В статье рассматриваются инфраструктурные аспекты интеграционного взаимодействия и факторы, оказывающие воздействие на повышение эффективности участия регионов в создании цепочек добавленной стоимости на примере сотрудничества развитых и развивающихся стран при реализации совместных производственных проектов. **Метод.** Применен факторный анализ степени вовлечения стран в глобальные цепочки добавленной стоимости, связанной как с их географическим положением, природными ресурсами и открытостью рынков, так и с инфраструктурой, профессиональными знаниями рабочей силы, практикой работы отечественных фирм с иностранными партнерами и привлекательностью инвестиционного климата. **Результат.** Произведена оценка интеграционного потенциала отдельных стран, которые могли бы брать на себя функции интеграторов и посредников в осуществлении региональных программ социально-экономического развития. Выявлена тенденция роста и раскрыта роль глобальных цепочек создания добавленной стоимости (ЦДС) как инструмента повышения конкурентоспособности торговой политики стран. Определено, что осваивая новейшие технологии, компании стремятся географически приблизить размещение срединных звеньев цепочек добавленной стоимости к специализированным поставщикам, «умным» потребителям и научным центрам – в целях непрерывности инноваций. **Вывод.** Страны ЕАЭС и СНГ имеют значительный потенциал для развития сотрудничества в области перехода к модели нового экономического роста, а также в сфере разработки и применения региональных цепочек добавленной стоимости. Ключевыми отраслями помимо добывающего сектора экономики ЕАЭС и стран СНГ, включенными в региональные цепочки добавленной стоимости, могут стать сельское хозяйство, химическая и текстильная промышленность, металлургия, транспортное машиностроение, а также отрасли сферы услуг.

Ключевые слова: глобальные цепочки добавленной стоимости (глобальные ЦДС), международная экономическая интеграция, глобальная промышленная сеть, гибкая специализация, ВТО, гармонизация региональных экономических проектов, инфраструктурная политика

ECONOMIC SCIENCE

Mushfig E. Guliyev

Azerbaijan State University of Economics,
6 Istiglaliyyat Str., Baku AZ 1001, Azerbaijan,
e-mail: guliev@mail.ru

REGIONAL CHAINS OF ADDED VALUE AS A TOOL OF INDUSTRIAL COOPERATION-COMPETITIVENESS

Abstract Objectives. *The infrastructural aspects of integrated interaction and factors impacting on the efficiency increase of regional participation in the creation of added value chains on the example of cooperation between developed and developing countries during the implementation of joint production projects are considered. **Methods.** A factor analysis of the degree of various countries' involvement into global added value chains is carried out, taking into account their geographical location, natural resources and openness of markets, as well as the infrastructure, professional knowledge of the workforce, practice of cooperation of domestic firms with foreign partners and the attractiveness of their investment climate. **Results.** An evaluation of the integrated potential of individual countries, which could undertake the functions of integrators and mediators within the implementation of regional programmes of social and economic development, is presented. The growth potential is estimated and the role of global creation chains of added value (AVC) revealed as a tool for increasing the competitiveness of national trade policies. It is determined that, when adopting the latest technologies, companies strive to geographically approximate the placement of the middle links of added value chains to specialised suppliers, "smart" consumers and scientific centres as a means of maintaining innovation continuity. **Conclusion.** The countries of the EEU and the CIS have significant potential for developing cooperation in the field of transition to a model of new economic growth, as well as in the development and application of regional added value chains. As well as the extractive sector of the economy of the EEU and CIS countries, included in the regional added value chains, agriculture, chemical and textile industries, metallurgy, transport engineering, and services sector have the potential to be key industries.*

Keywords: *global value chains (global AVC), international economic integration, global industrial network, flexible specialisation, WTO, harmonisation of regional economic projects, infrastructure policy*

Введение. Современная торговая архитектура мировой экономики формируется под влиянием глобальных преобразований и тенденций. Так, нестабильная глобальная экономическая обстановка, неравномерное восстановление после экономического и финансового кризиса 2008, привели к более низкому уровню глобального экономического роста, возрастающему неравенству, углублению проблем занятости, к уменьшению объемов международной торговли. Сокращение спроса, вызванное кризисом, нанесло большой ущерб компаниям стран, которые находились в глубокой зависимости от торговли по цепочке поставок.

Согласно аналитическим данным OECD-WTO по ЦДС, имеется корреляция между вовлеченностью в цепочки добавленной стоимости (ЦДС) и темпами роста ВВП на душу населения, наблюдается корреляция между динамикой экспорта и долей иностранной компоненты в нем [1]. Значительно изменилась парадигма региональной экономической интеграции. Именно поэтому, сегодня для стран СНГ очень актуально соединить разъединенные сферы национальных экономик в новой торговой архитектуре.

Постановка задачи. Глобальные цепочки добавленной стоимости (ГЦДС) привели к важным изменениям в системе мировой торговли, как в товарной, так и географической ее структуре. По природе своего действия глобальные ЦДС - «региональные» и концентрируются в трех мировых центрах: Северной Америке, Европе и Восточной Азии.

Первые два региона – преимущественно центры спроса, а последний – центр предложения, хотя эта тенденция может измениться по мере реформирования Китая своей экономики в сторону роста потребительского спроса.

Функционирование глобальных ЦДС затрагивает многие меры регулирования ВТО. Так, из-за несовершенства институциональной и правовой структуры, ВТО до сих пор решает проблемы не в комплексе, несмотря на существующую тесную связь между производством, инвестициями и торговлей [2].

В тоже время Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество (АТЭС) (Asia-Pacific Economic Cooperation, АПЕС) призывает участников реализовывать экономические реформы и подписывать перспективные региональные торговые соглашения и договоренности о свободной торговле, сохранять открытость рынков в качестве мер по противодействию протекционизму в данной сфере, построить динамическую, гармоничную и открытую экономику в Азиатско-Тихоокеанском регионе, ускоряя региональную экономическую интеграцию, продвигая конкурентные рынки, поощряя экономическое и техническое сотрудничество, создавая благоприятную и стабильную деловую среду.

Россия предлагает модель гармонизации региональных экономических проектов, так называемую «интеграцию интеграций», основанную на универсальных прозрачных принципах международной торговли. В качестве примера можно привести планы по сопряжению Евразийского экономического союза с китайской инициативой по созданию «Экономического пояса Шёлкового пути», по гармонизации интеграционных процессов в рамках Евразийского экономического союза и Евросоюза. Обозначенные проблемы затрагивают интересы всех государств, влияют на перспективы всей мировой экономики, поэтому Россия предлагает обсудить их в формате ВТО и «Группы двадцати» [3].

Рис.1 иллюстрирует глобальные торговые сети частей и компонентов (промежуточные звенья в промышленных секторах). Фигуры (a) и (b) позволяют нам иллюстрировать развитие ГЦСС, с участием азиатских стран в производственном разделении и кооперации [10]. Многие азиатские страны, и в особенности Китай, увеличили свое участие в торговле промежуточных товаров, чтобы стать главным фактором вдоль цепочки создания стоимости. США и ЕС увеличили торговлю промежуточными товарами с Китаем.

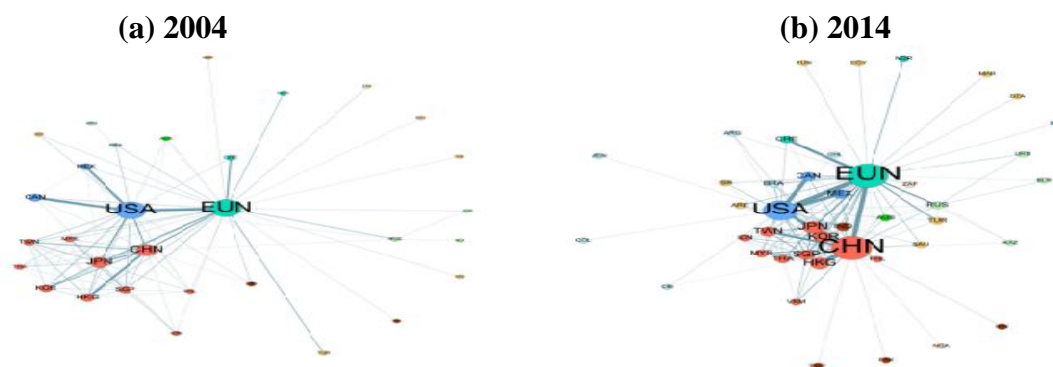


Рис 1. Эволюция глобальных торговых сетей по обмену частями и компонентами [10]

Fig.1. Evolution of global trading networks for the exchange of parts and components

В экономически взаимозависимом мире важность глобальных цепочек создания добавленной стоимости (ЦДС) продолжает расти, поэтому необходимо учитывать все последствия этого процесса, в особенности для повышения эффективности торговой политики стран. ОЭСР обеспечивает широкий диапазон работы, чтобы помочь понять эффекты глобальной ЦДС: «Целый процесс производства товаров, от сырья до готовых изделий, все больше и больше выполняется везде, где необходимые навыки и материалы доступны по конкурентоспособной стоимости и качеству. Услуги также играют важную роль в глобальных цепочках создания стоимости не только, координируя деятельность фирм по странам, но также и как инструменты реализации создания стоимости и модернизации. Растущая фрагментация производства в мире подчеркивает необходимость открытой, предсказуемой и прозрачной торговли и инвестицион-

ных режимов. Это также подчеркивает важность дополнительной стратегической повестки дня «усилить участие в глобальной ЦДС содержащий рост и перспективы занятости» [4].

Методы исследования. Либерализация торговли и инвестиционных процессов, внедрение новых информационных и производственных технологий, а также снижение транспортных расходов стимулировали процессы глобализации. В свою очередь привели к возникновению глобальных цепочек создания стоимости. Современный процесс производства товаров осуществляется с участием компаний разных стран, развитых и развивающихся, в которых необходимые материалы и профессиональные знания доступны по конкурентной цене и созданы благоприятные условия для ведения бизнеса и сотрудничества (рис 2.).

Согласно OECD на сегодняшний день глобальные ЦДС являются доминирующим элементом мировой торговли и инвестиций: более 70% глобальной торговли приходится на промежуточные товары и услуги и средства производства.

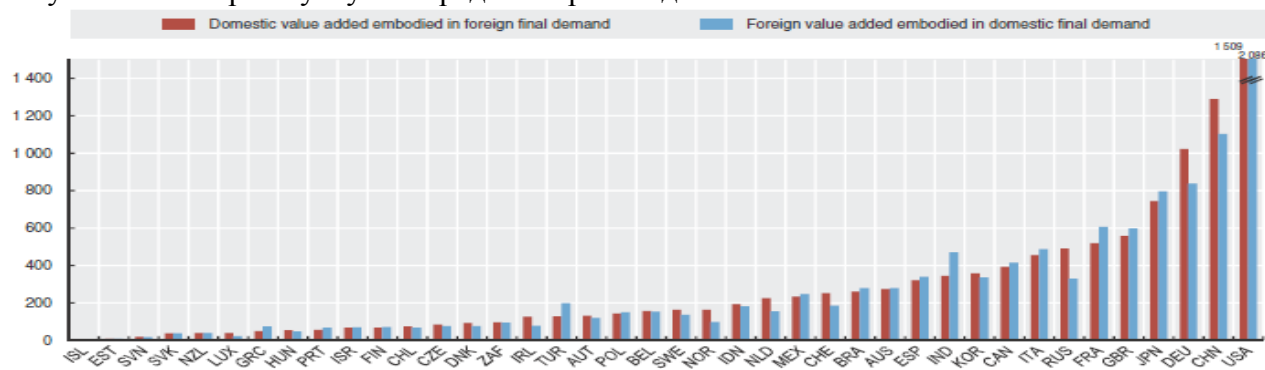


Рис. 2. Добавленная стоимость внутреннего и внешнего конечного спроса (млрд. дол. США) [10]

Fig. 2. Added value of internal and external final demand (billions of US dollars)

Страны вовлечены в глобальные ЦДС в разной степени. Это связано как с их географическим положением в регионе, природными ресурсами и открытостью рынков, так и с инфраструктурой, профессиональными знаниями рабочей силы, практикой работы национальных фирм с иностранными партнерами и степенью привлекательности инвестиционного климата (табл.1).

Таблица 1. Глобальные цепочки добавленной стоимости как доля общего экспорта стран % [11]

Table 1. Global value chains as a share of total exports of countries%

Страны	1995	2000	2005	2010	2015/ 2016*
OECD	14.9	18.1	20.8	22.5	24.3
ЕС 28	19.2	23.5	24.4	26.4	28.2
США	11.5	12.6	13.1	13.4	15.0
Япония	5.6	7.4	11.1	12.7	14.7
Германия	14.9	20.2	21.3	23.3	25.5
Венгрия	29.9	51.6	48.1	48.9	48.7
Чехия	30.6	38.7	42.6	44.1	45.3
Люксембург	41.0	52.9	54.7	57.5	59.0
Эстония	36.0	44.6	42.7	33.0	35.2
Южная Корея	22.3	29.8	33.0	39.2	41.7
Бразилия	7.8	11.5	11.7	10.3	10.8
Китай	33.4	37.3	37.4	32.0	32.2
Индия	9.4	11.3	17.5	22.3	24.1
Индонезия	12.6	17.4	16.6	11.1	12.0
Российская Федерация	13.3	18.3	12.8	13.1	13.7
ЮАР	13.2	17.8	19.5	17.9	19.5

Оценивая участие России в восходящих и нисходящих связях в ГЦДС можно опираться только на оценки, сделанные ОЭСР и ВТО, однако необходимо иметь в виду, что эти оценки сделаны в условиях дефицита информации и с применением большого количества допущений.

База данных TiVA имеет ряд слабых сторон, включая недостаточный географический охват стран, недостаточную полноту и актуальность данных.

Для повышения надежности таких оценок Россия должна делать их самостоятельно, используя имеющиеся международные подходы, в том числе в области построения балансов спроса и предложений (Supply and Use Balances), межстрановых таблиц «затраты-выпуск», межотраслевых балансов, а также организации системы национальных счетов в соответствии со стандартами ОЭСР [17].

Страны с развивающейся экономикой играют значительную роль в глобальной цепочке добавленной стоимости (ЦДС). В течение первого десятилетия 21 века они стали крупнейшими экспортёрами промежуточных и конечных промышленных товаров (Китай, Южная Корея и Мексика) и сырьевых товаров (Бразилия, Россия и Южная Африка). Вступая в глобальные ЦДС у развивающихся стран и стран с переходной экономикой появляется возможность интегрировать в мировую экономику с низкими затратами.

Однако не стоит ожидать, что выгоды будут автоматическими и гарантированы при всех глобальных обстоятельствах. Многое зависит от того, на каком уровне цепочки работает национальная компания.

Как показывает мировая практика, фирмы развивающихся стран начинают участвовать в глобальной ЦДС в нижней части цепочки, где генерируется относительно небольшая часть добавленной стоимости. Для получения более значительных выгод для экономики в целом необходим постепенный переход на более высокие уровни цепочки. Таким образом, фирмы и страны конкурируют между собой, как за участие в ЦДС, так и за более высокие позиции в них. На сегодняшний день это становится одной из характерных особенностей конкурентных отношений компаний.

После финансового кризиса в мире стал наблюдаться процесс сжатия некоторых глобальных цепочек. Кроме того, рост трансакционных издержек вследствие неопределенности поставок отдельных видов материалов привели к разрушению существующих цепочек. Например, по мере роста благосостояния населения КНР некоторые виды производства переносятся отсюда в менее развитые соседние страны, а в самом Китае развиваются новые производства, требующие рабочей силы с более высокой квалификацией [5].

В связи с этим важное значение приобретает разработка и принятие дополнительных стратегий и законодательных мер, способствующих как вхождению местных фирм в уже существующие ЦДС, так и формированию новых производственных цепочек.

Согласно данным ЮНКТАД, около 1/3 мировой торговли товарами и услугами в формате ЦДС приходится на ТНК и осуществляются в различных формах (внутри корпорации, между корпорациями, с участиями корпораций). В связи с этим, зачастую современная торговая политика проводится не столько в исключительно внутренних национальных интересах, но под давлением крупного бизнеса (*Corporate Protectionism*). Практика «корпоративного протекционизма» отражается во многих современных переговорных позициях стран, участвующих в формировании мегорегиональных торговых соглашений и интеграционных блоков [15].

В настоящий момент необходимы действия по созданию эффективной основы для интегрирующего роста, из которого все страны смогут извлечь выгоду. Формирование конкурентоспособных интеграционных взаимосвязей является важным фактором экономической устойчивости и технологического развития СНГ.

Во-первых, компании будут гарантированными рынками друг для друга. Дополнительные гарантии вытекают также из режима ВТО (Азербайджан с 1997, Беларусь с 1993 и Узбекистан с 1994 года на пути к членству во ВТО), что позволяет развивать стратегию экспорта и, во-вторых, в итоге реализовать сравнительные преимущества в кооперации с другими участниками рынка. Данные аспекты теоретически являются основой при проектировании любого современного инвестиционного бизнеса. Однако при этом, для поддержания эффективной деятельности фирм в условиях технологических инноваций важную роль играет гармонизация проектного и процессного подходов.

У интеграционных отношений ЕАЭС и СНГ имеется значительный потенциал, причём как в инфраструктурном, так и в бизнес-ориентированном аспекте. ЦДС-подход может преодолеть региональный разрыв между бизнесом и рынком, а именно эта проблема стоит в числе главных приоритетов в их инфраструктурной политике.

Однако текущие процессы по защите внутренних рынков сейчас представляют собой весьма новую область для перспективных направлений интеграционных взаимодействий в ГЦДС в условиях импортозамещения (рис. 4).



Рис. 4. Плоскость процессов импортозамещения и защиты внутреннего рынка

Fig. 4. The plane of import substitution and protection of the domestic market

С экономической точки зрения, страна, взявшая курс на интеграцию в мировую экономику, не должна выпадать из международного разделения труда. Экономические кризисы, тенденции глобальной экономики и интеграционных отношений актуализируют стоящий перед государствами-участниками ЕАЭС и регионами СНГ вопрос поиска новых решений инновационного развития в постиндустриальный период.

Одним из важных направлений современных прикладных научных исследований является изучение трендов инфраструктурных «цепочек» мирохозяйственных связей. Понимание глобальных цепочек создания ценности крайне важно для понимания торговли и глобализации в сегодняшнем очень взаимосвязанном мире, и к определению торговой политики, которая поможет странам получить свою полную выгоду с точки зрения роста и рабочих мест [6].

Следуя глобальному исследовательскому дискурсу ОЭСР [7], эффективными инструментами регулирования в новых условиях могут стать гибкое регулирование рынка рабочей силы, государственные закупки, «умная» специализация регионов, подразумевающая целевую ориентацию государственных инвестиций на области, обладающие большим потенциалом развития и обеспечивающие межрегиональные конкурентные преимущества.

Отличием стратегий «умной» специализации от традиционных подходов являются активный процесс поиска предпринимателей, фокус на формировании благоприятной среды для взаимодействия и реализации потенциала различных экономических факторов, усиление балансировки общественных интересов и потребностей.

Таким образом, очевидна необходимость активного включения России и партнеров по ЕАЭС и СНГ в региональные производственные процессы. На наш взгляд, в настоящее время экономика России и ЕАЭС, и стран СНГ в целом, в недостаточной мере и недостаточно эффективно включена в глобальные производственные процессы и цепочки добавленной стоимости, что снижает их возможности для конкурентного сотрудничества с мировыми экономическими партнерами, диверсифицированного экономического роста, наращивания конкурентоспособности национальных бизнес-структур.

Реализуемая торговая политика включает широкий набор мер для защиты внутреннего рынка, но не является универсальным решением в обеспечении международной конкуренто-

способности. Инфраструктуры, новые технологии и создание стимулов для инвесторов могут способствовать для интеграции России в ГЦДС. Промышленная политика должна поощрять инноваций, прямые инвестиции, внедрение современных инфраструктурных технологий.

В настоящее время между участниками интеграции по СНГ существуют разные подходы в понимании этих вопросов. Функционирование промышленных парков и технологических платформ необходимо дополнять интеграционными составляющими. Учитывая потенциальную масштабность для сотрудничества в промышленной сфере, страны СНГ могут сформировать новые интеграционные мосты, что необходимо для снижения себестоимости производимых продуктов в условиях конкуренции. Сегодня необходимо систематизировать работу по развитию траектории в расширении перекрёстной трактовки объединения бизнес идей. Ключевым моментом в данной проблематике является поощрение инноваций и акцентирование необходимости внедрения креативных бизнес идей. Структурная политика, разрабатываемая на основе выявленного сравнительного преимущества, может сыграть положительную роль в содействии глобализации фирм стран СНГ.

Какие стимулы нужны и что является главной задачей? На наш взгляд, нужны общие стимулы для всех компаний стран СНГ, готовых работать в сфере инноваций. Эффективная политика в сфере образования и подготовки специалистов может помочь создать такое сравнительное преимущество для стран, в особенности в области сферы услуг. А главная задача – конкурентоспособность и эффективность.

Положительный опыт создания ГЦДС можно аргументировать на примере направлений внешнеэкономических связей России с Чехией и Японией.

Чехия относится к числу наиболее важных торгово-экономических европейских партнеров России. К перспективным российско-чешским проектам можно отнести [8]:

- реализуемую чешской компанией Nestego инициативу по созданию производства комплектующих (телескопических и кабинетных защит) для станков;
- производство компанией Trimill станков для нужд местных предприятий на территории Ульяновской области;
- работу компании Jihostroj («Югострой») по созданию производства гидравлических насосов в Республике Татарстан (ОЭЗ «Алабуга»);
- по линии производства автокомпонентов чешской компанией BriskTabor в октябре 2016 года введен в эксплуатацию завод по выпуску свечей зажигания в Самарской области (г. Тольятти);
- в Ивановской области ведется строительство комплекса по производству полиэтиленерефталата текстильного назначения в сотрудничестве с чешской строительно-инвестиционной компанией UNISTAV a.s.;
- в области сельскохозяйственного машиностроения на территории Воронежской области чешской компанией ООО «АгростройРУС» ведется строительство завода по производству и сборке комплектующих для сельхозтехники (запуск производства запланирован на 2019 год).

Развивается эффективное взаимодействие между японскими и российскими корпорациями, и это очень важный момент на благо диверсификации и повышения производительности российской промышленности [9]: заключен Меморандум о сотрудничестве по определению списка российских предприятий, принимающих участие в реализации инициатив «Диагностика производительности российских предприятий» (технический аудит) и «Подготовка кадров в смежных отраслях»; в рамках инициативы будет организована диагностика японскими специалистами производительности 12 российских предприятий, около 120 российских менеджеров пройдут стажировку на предприятиях в Японии. Между компанией «Такисава» (Япония) и «Ковровским электромеханическим заводом» (Россия) заключен контракт по производству в России токарных станков.

С теми партнерами, которые по ряду обстоятельств не входят в ЕАЭС, Россия может создавать инфраструктурные «интеграционные мосты» в отдельных секторах экономики. Опре-

деленные работы уже проделаны в рамках соглашений о Зоне свободной торговли СНГ, участником которых является Азербайджан. Поставка низкозатратной полимерной продукции из Азербайджана позволит России примерно на 60% сократить объем импорта полиэтилена, закупаемых сегодня в странах азиатско-тихоокеанского региона. В рамках взаимодействия промышленных парков азербайджано-российские контакты могут выйти на новый уровень. Инфраструктурные проекты позволяют создавать рабочие места не только на промышленных предприятиях, но и в смежных отраслях и сферах экономики.

По данным Минпромторг РФ каждое новое рабочее место в промышленности создает в среднем 0,5-2 новых рабочих места в других секторах экономики [14]. Однако доходность всегда будет влиять на результаты. При падении доходности одного вида инвестиций риски тоже могут расти. Путем координации взаимодействия в рамках инфраструктурных проектов эффект реакции ЦДС компенсируя такое падение, может быть несколько больше, и придаст импульс росту конкурентоспособности экономики стран-партнеров.

Обсуждение результатов. Как видно из практического опыта развивающихся стран, ЦДС не единообразны: некоторые создаются исследовательскими компаниями, а другие развиваются компаниями, применяющими маркетинговые стратегии для поиска дешевых производственных ресурсов. Участие в такой деятельности по предоставлению услуг должно быть доступно всем участникам региональной интеграции, и соответственно страны СНГ должны иметь возможность выгодно использовать ЦДС, «поймать» заказ на выполнение услуг в рамках ЦДС.

Конечно, не все потенциальные преимущества ЦДС могут материализоваться автоматически, и не все они могут иметь конкурентные преимущества или результаты. Для того чтобы страны региона ЕАЭС и СНГ могли воспользоваться выгодами от участия в ЦДС они должны иметь инфраструктуру, возможность развивать соответствующие производственные мощности, современные технологии и профессиональные навыки; хорошо налаженные взаимосвязи с региональными рынками. Необходимо провести более углубленную дискуссию и обсудить возможные пути развития стран, участвующих в ЦДС и концентрироваться на комплексном подходе к сотрудничеству.

Современные коммуникационные системы и логистические цепочки, охватывающие все этапы производства и продвижения товаров на принципах технологической кооперации, обеспечивают постоянную связь между предприятиями, находящимися в разных странах обеспечивая передвижение и доставку деталей, продукцию и компонентов точно в срок.

Коренное отличие современного процесса промышленной кооперации от прежних промышленных революций состоит в том, что они были обусловлены технологическим процессом, который – по крайней мере, сначала затрагивал лишь производство, в то время как нынешние изменения одновременно воздействуют на потребителей, производителей и поставщиков. В результате «технологическая ударная волна» становится все мощнее по мере появления изменений в поведении клиентов, производителей и поставщиков, и роста их ожиданий [15]. Осваивая новейшие технологии, компании стремятся географически приблизить размещение срединных звеньев цепочек к специализированным поставщикам, «умным» потребителям и научным центрам – в целях непрерывности инноваций [16, с.21.].

Важно, чтобы лидеры мирового технологического рынка перешли от первой стадии – восприятия России как интересного и емкого рынка - и второй стадии- инвестирования в локализацию производства – к третьей: стали бы здесь, в России, создавать новые технологии и новые продукты [13]. Хотя глобальные цепочки создания ценности ЦДС(GVCs) часто считают особенностью текущей волны глобализации, тем не менее, практически мало изучены: основные движущие силы ЦДС; преимущества связанные с растущим участием; как развивающиеся страны извлекают выгоду из ЦДС. География, размер рынка и конкурентные преимущества компаний является ключевыми детерминантами участия в ЦДС. Торговая и инвестиционная политика, а также улучшения логистики, могут играть активную роль в продвижении интеграционных проектов. В особенности: низкие импортные тарифы, и участие в региональных торговых соглашениях (RTAs) могут облегчить ЦДС обязательство [12].

В изданиях ОЭСР проводится четкое разграничение между «*backward participation*» и «*forward participation*» – между цепочками, инициируемыми производителями и инициированными покупателями. В первом случае глобальные цепочки стоимости, как правило, сосредоточены в наукоемких отраслях. В цепочках покупателей процесс создания добавленной стоимости контролируется ритейлерами, занимающихся в основном маркетингом и продажами, тогда как собственно производство может быть полностью отдано на аутсорсинг. Так, организованы глобальные ЦДС в отраслях с низкими потребностями в капитале и квалифицированной рабочей силой.

Эксперты ОЭСР выделяют следующие ключевые моменты новых инициатив в сфере науки, технологий и инноваций, сопряженных с проблематикой промышленной политики: большой акцент на сетевые взаимодействия между экономическими агентами долгосрочное планирование; относительное снижение роли прямой финансовой государственной поддержки, в том числе в секторах оборонной промышленности; переход от отраслевых стратегий к технологической.

Вопросы глобальных ЦДС стали предметом активных переговоров и обсуждений на саммитах международных организаций ОЭСР, ВТО, Всемирного Банка и G-20. Еще в 2013 г. в ходе встречи G20 в Санкт-Петербурге был озвучен призыв к правительствам стран-членов провести оценку своих национальных стратегий участия в ГЦС. Предварительные результаты совместной международной работы, проведенной под эгидой ОЭСР, ВТО и Всемирного банка, были представлены на встрече министров торговли G20 в Сиднее (Австралия) 19 июля 2014 г. [18]. Развернутые позиции по этому вопросу страны — члены G20 представили на саммите «Большой двадцатки» 15–16 ноября 2014 г. в Брисбене (Австралия) [19].

По итогам последнего саммита «Большой двадцатки» был принят ряд дополнительных обязательств [20], связанных с развитием системы глобальных цепочек стоимости: проводить реформы, способствующие росту объемов мировой торговли, уменьшению барьеров госрегулирования и развитию услуг; проводить политику уменьшения барьеров для входа на отраслевые рынки и инвестиций; проводить политику, которая бы позволяла в полной мере стимулировать более активное участие развивающихся стран в создании добавленной стоимости.

Вывод. Объявленный руководством страны курс на импортозамещение в сфере экономики [21] свидетельствует скорее об ориентации России на реализацию национальных интересов. В то же время нельзя сказать, чтобы и ведущие зарубежные страны, входящие в состав G20 и G7, целенаправленно шли к целям, поставленным на последнем саммите «Группы двадцати», учитывая введение ими санкций в отношении России и российских контрсанкций [17]. Сотрудничество ЕАЭС с ОЭСР открывают широкие возможности для имплементации лучших практик и регуляторных инструментов. Развитие такого взаимодействия объективно обусловлено стратегическими задачами евразийской интеграции, включая задачи: встраивания ЕАЭС в глобальные интеграционные проекты; формирования сети стратегических альянсов с другими объединениями и третьими странами; формирования новой интеграционной повестки; снижения количества дублирующих проектов; роста синергетического эффекта в экономиках стран-участниц [13].

Фокусируя внимание на рекомендации ОЭСР и на сравнительные преимущества для стран СНГ, в которых приходит понимание важности создания конкурентоспособной промышленной кооперации, можно обозначить перспективные аспекты взаимодействия:

1. Для России, как и для стран СНГ, в числе приоритетных остаются решение проблем эффективного регулирования предпринимательства, реформы в налоговой и бюджетной сфере и модернизация инфраструктуры;
2. Страны ЕАЭС и регионы СНГ имеют значительный потенциал для развития сотрудничества в области перехода к модели нового экономического роста, а также в сфере разработки и применения ЦДС.
3. Ключевыми отраслями, помимо добывающего сектора экономик ЕАЭС и стран СНГ включенными в ЦДС, могут стать сельское хозяйство, химическая и текстильная промышленность, металлургия, транспортное машиностроение и сфера услуг;

4. Необходима разработка стратегий кооперации и модели участия в ЦДС в зависимости от конкурентных преимуществ и инфраструктурных характеристик конкретной отрасли: формирование собственных ЦДС на базе инфраструктур технологических парков и кооперации с участием компаний стран ЕАЭС и третьих стран.
5. Очевидна необходимость координации и сближения проводимой торговой и инвестиционной политики стран-членов СНГ к принципам ВТО и особенностям интеграции ЕАЭС с целью избежание эффекта вытеснения.
6. Необходимо объективно оценивать возможности развития промышленной кооперации для поставок взаимодополняемых товаров и услуг (complementary good).

Библиографический список:

1. Глобальные цепочки создания стоимости: новая реальность международной торговли <http://www.ictsd.org> (дата обр. 28.01.2017)
2. 2016 Leaders' Declaration http://www.apec.org/Meeting-Papers/Leaders-Declarations/2016/2016_aelm.aspx
3. Мир без разделительных линий. В.В. Путин на юбилейной Генеральной Ассамблеи ООН говорил о значении этой организации, борьбе с терроризмом и новой ситуации в экономике, <https://rg.ru/2015/10/27> (дата обр. 25.01.2017)
4. Overview of GVCs and Trade Policy/ www.oecd.org
5. Кондратьев В. Мировая экономика как система глобальных цепочек стоимости. МЭи МО, 2015, № 3, с. 5-17
6. Angel Gurría, Istanbul G20 Trade Ministers Meeting: Presentation of the OECD-WBG inclusive global value chains report/ www.oecd.org
7. Новая инновационная стратегия ОЭСР (Innovation Strategy, 2015: the Innovation Imperative), Новости ОЭСР, Информационный бюллетень №2(5) 2016, Центр ОЭСР-ВШЭИСИЭЗ [www: http://www.oecdcentre.hse.ru](http://www.oecdcentre.hse.ru)
8. Россия-Чехия: рост показателей экспорта металлов, текстиля, машин и оборудования. <http://minpromtorg.gov.ru/press-centre/news> (дата обр. 29.01.2017)
9. Российские и японские компании развивают сотрудничество. <http://minpromtorg.gov.ru/presscentre/news> (дата обр. 29.01.2017)
10. Key statistics and trends in international trade 2015, UNCTAD 2015d1_en.pdf, p.19
11. 2016 Edition of TIVA indicators (1995-2011) / www.oecd.org
12. Могилевкин И. Глобальная инфраструктура: нарастающие риски/Мировая экономика и международные отношения № 7, 2016, с.79
13. Владимир Путин: «Нам нужна новая экономика» / Ведомости 30 января 2012 г. дата обр. 7 июня 2017 г.
14. Сотрудничество государств-членов ЕАЭС с ОЭСР в контексте развития интеграционной повестки Союза. Возможности использования наилучших практик ОЭСР в работе ЕАЭС, ЕЭК, Москва 2017// GVC Сборник публикаций по итогам семинара по ОЭСР.pdf, с.14
15. Будущее отраслей: разрушение барьеров / [pwc the-future-of-industries-rus.pdf](http://pwc-the-future-of-industries-rus.pdf)
16. Смородинская Н.В., Малыгин В.Е., Катуков Д.Д. Как укрепить конкурентоспособность в условиях глобальных вызовов: кластерный подход / Под ред. Н.В. Смородинской. – М.: Институт экон омик и РАН, 2015
17. Мешкова Т.А., Моисеичев Е.Я., Мировые тенденции развития глобальных цепочек создания добавленной стоимости и участие в них России//Вестник Финансового Университета 2015 № 1, с.83-97
18. OECD. Global Value Chains: Challenges, Opportunities, And Implications for Policy. Report prepared for submission to the G20 Trade Ministers Meeting Sydney. OECD, WTO, World Bank Group. Australia, 2014. 53 p.
19. Leaders' Summit, Brisbane, November 2014. URL: https://www.g20.org/event_schedule_tags/leaders_summit_brisbane_november_2014 (date of access: 07.06.2017).
20. Resources G20 2014. URL: https://www.g20.org/official_resources/library (date of access: 07.06.2017).
21. OECD. Implications of Global Value Chains for Trade, Investment, Development and Jobs. OECD, WTO, UNCTAD. 2013.

References:

1. Global Value Chains: The New Reality of International Trade <http://www.ictsd.org> (access date 28.01.2017).
2. 2016 Leaders' Declaration http://www.apec.org/Meeting-Papers/Leaders-Declarations/2016/2016_aelm.aspx
3. Mir bez razdelitel'nykh linii <https://rg.ru/2015/10/27> (data obrashcheniya 25.01.2017) [A world without dividing lines <https://rg.ru/2015/10/27> (access date 25.01.2017) (In Russ.)]
4. Overview of GVCs and Trade Policy www.oecd.org
5. Kondrat'ev V. Mirovaya ekonomika kak sistema global'nykh tsepochek stoimosti. Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya. 2015;3:5-17. [Kondrat'ev V. World economy as a system of global value chains. World Economy and International Relations. 2015;3:5-17. (In Russ.)]
6. Gurría A., Istanbul G20 Trade Ministers Meeting: Presentation of the OECD-WBG inclusive global value chains report www.oecd.org

7. Novaya innovatsionnaya strategiya OESR (Innovation Strategy, 2015: the Innovation Imperative), Novosti OESR, Informatsionnyi byulleten' №2(5) 2016, Tsentr OESR-VShE ISIEZ [www: http://oecdcentre.hse.ru](http://oecdcentre.hse.ru) [The new innovative strategy of the OECD (Innovation Strategy, 2015: the Innovation Imperative), OECD News, Newsletter No. 2 (5) 2016, OECD-HSE Centre, ICESSE [www: http://oecdcentre.hse.ru](http://oecdcentre.hse.ru) (In Russ.)]
8. Rossiya-Chekhiya: rost pokazatelei eksporta metallov, tekstilya, mashin i oborudovaniya. <http://minpromtorg.gov.ru/press-centre/news> (data obrashcheniya 29.01.2017) [Russia-Czech Republic: an increase in exports of metals, textiles, machinery and equipment. <http://minpromtorg.gov.ru/press-centre/news> (access date 29.01.2017) (In Russ.)]
9. Rossiiskie i yaponskie kompanii razvivayut sotrudnichestvo. <http://minpromtorg.gov.ru/presscentre/news> (data obrashcheniya 29.01.2017) [Russian and Japanese companies develop cooperation. <http://minpromtorg.gov.ru/presscentre/news> (access date 29.01.2017) (In Russ.)]
10. Key statistics and trends in international trade 2015, UNCTAD 2015d1_en.pdf, p.19
11. 2016 Edition of TIVA indicators (1995-2011) www.oecd.org
12. Mogilevkin I. Global'naya infrastruktura: narastayushchie riski. Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya. 2016;7:79. [Mogilevkin I. Global Infrastructure: Increasing Risks. World Economy and International Relations. 2016;7:79. (In Russ.)]
13. Vladimir Putin: "Nam nuzhna novaya ekonomika". Vedomosti 30 yanvarya 2012 g. Data obr. 7.06 2017. [Vladimir Putin: "We need a new economy." Vedomosti January 30, 2012. Access date. 7.06.2017 (In Russ.)]
14. Sotrudnichestvo gosudarstv-chlenov EAES s OESR v kontekste razvitiya integratsionnoi povestki Soyuzu. Vozmozhnosti ispol'zovaniya nailuchshikh praktik OESR v rabote EAES, EEK. GVC Sbornik publikatsii po itogam seminaru po OESR.pdf. Moskva; 2017. S.14. [Cooperation of the EEA member states with the OECD in the context of the development of the Union's integration agenda. Opportunities for using OECD best practices in the work of the EAEC, ECE. GVC Collected publications on the results of the OECD seminar.pdf. Moscow; 2017. P.14. (In Russ.)]
15. Budushchee otraslei: razrushenie bar'erov pwc the-future-of-industries-rus.pdf [The future of industries: the destruction of barriers pwc the-future-of-industries-rus.pdf (In Russ.)]
16. Smorodinskaya N.V., Malygin V.E., Katukov D.D. Kak ukrepit' konkurentosposobnost' v usloviyakh global'nykh vyzovov: klasternyi podkhod. M.: Institut ekonomiki RAN; 2015. 49 s. [Smorodinskaya N.V., Malygin V.E., Katukov D.D. How to strengthen the competitiveness in the face of global challenges: a cluster approach. Moscow: Institute of Economics, Russian Academy of Sciences; 2015. 49 s. (In Russ.)]
17. Meshkova T.A., Moiseichev E.Ya. Mirovye tendentsii razvitiya global'nykh tsepochek sozdaniya dobavlennoi stoimosti i uchastie v nikh Rossii. Vestnik Finansovogo Universiteta. 2015;1:83-97. [Meshkova T.A., Moiseichev E.Ya. World trends in the development of global chains of value creation and Russia's participation in them. Bulletin of The Financial University. 2015;1:83-97. (In Russ.)]
18. OECD. Global Value Chains: Challenges, Opportunities, And Implications for Policy. Report prepared for submission to the G20 Trade Ministers Meeting Sydney.OECD, WTO, World Bank Group. Australia; 2014. 53 p.
19. Leaders' Summit, Brisbane, November 2014. URL: https://www.g20.org/event_schedule_tags/leaders_summit_brisbane_november_2014 (access date: 07.06.2017).
20. Resources G20 2014. URL: https://www.g20.org/official_resources/library (access date: 07.06.2017).
21. OECD. Implications of Global Value Chains for Trade, Investment, Development and Jobs. OECD, WTO, UNCTAD. 2013.

Сведения об авторе:

Гулиев Мушфиг Ельмар оглы – доктор экономических наук, профессор, кафедра международной экономики.

Information about the authors:

Mushfig E.Guliyev – Dr. Sci. (Economics), Prof., Department of International Economics.

Information about the author:

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 04.08.2017.

Принята в печать 10.09.2017.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 04.08.2017.

Accepted for publication 10.09.2017.

Для цитирования: Иванов Н.А., Кожушкина И.В., Оборин М.С., Шерешева М.Ю. Разработка характеристик институциональной среды с целью моделирования устойчивого развития территорий. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (3):185-198. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-185-198

For citation: Ivanov N.A., Kozhushkina I.V., Oborin M.S., Sheresheva M.Yu. Development of the characteristics of the institutional environment for the modeling of sustainable development of regions. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 185-198. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-185-198

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338.48

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-185-198

РАЗРАБОТКА ХАРАКТЕРИСТИК ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ С ЦЕЛЮ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Иванов Н.А.³, Кожушкина И.В.⁴, Оборин М.С.¹, Шерешева М.Ю.²,

¹Пермский институт (филиал)

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет,

¹614070, г. Пермь, ул. Бульвар Гагарина, 57, Россия,

¹614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, Россия,

²⁻³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

²⁻³ 119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1-46, Россия,

⁴ Сочинский государственный университет,

⁴ 354000, г. Сочи, ул. Советская, 26а, Россия,

¹ e-mail: recreachin@rambler.ru, ² e-mail: m.sheresheva@gmail.com,

³ e-mail: n.a.ivanov33@gmail.com, ⁴ e-mail: kojushkina@yandex.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является разработка характеристик институциональной среды, обеспечивающих устойчивое развитие территорий. **Методы.** Методами исследования являются системный анализ, социально-экономическое моделирование и прогнозирование. В целях наглядного изображения аналитических данных и авторских результатов использован метод графических изображений. **Результат.** Обоснована актуальность устойчивого развития территорий в современных экономических условиях, выявлена необходимость комплексного подхода к выбору экономических, социальных и экологических критериев для реализации программ, направленных на преобразование социально-экономического пространства территорий, малых городов, муниципальных образований. Выявлена роль институтов в развитии территорий, рассмотрены их механизмы и классификации. Охарактеризованы различные подходы ученых к раскрытию роли и значимости институциональной среды, необходимости ее модернизации и адаптации к настоящим условиям функционирования экономики. Проведен анализ социально-экономических характеристик институциональной среды, определены направления их формирования до уровня, соответствующего стратегии развития территории, малого города, муниципального образования. Охарактеризованы показатели развития институциональной среды малых городов на примере трех субъектов РФ: Пермский край, Тульская, Владимирская области. Проанализирован состав институтов бизнес-среды, образования, культуры и спорта. Отражены данные о бюджетных показателях малых городов рассматриваемых субъектов, выявлены проблемы дефицита местных бюджетов в большинстве муниципальных образований. **Вывод.** На основе выявленных направлений и критериев развития институциональной среды разработаны направления моделирования устойчивого развития территорий.

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-18-01324) «Устойчивое развитие экономики территорий на основе сетевого взаимодействия малых городов и районных центров».

Ключевые слова: институциональная среда, устойчивое развитие, территория, моделирование

ECONOMIC SCIENCE

DEVELOPMENT OF THE CHARACTERISTICS OF THE INSTITUTIONAL ENVIRONMENT FOR THE MODELING OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS

Nikolay A. Ivanov³, Irina V. Kozhushkina⁴, Matvey S. Oborin¹, Marina Yu. Sheresheva²

¹Perm Institute (branch) of Plekhanov Russian University of Economics,

¹57 Gagarin Boulevard, Perm 614070, Russia,

¹Perm State University,

¹15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia,

²⁻³ Lomonosov Moscow State University,

1-46 Leninskiye Gory, Moscow 119991, Russia,

⁴ Sochi State University,

26a Sovetskaya Str., Sochi 354000, Russia,

¹e-mail: recreachin@rambler.ru, ²e-mail: m.sheresheva@gmail.com,

³e-mail: n.a.ivanov33@gmail.com, ⁴e-mail: kojushkina@yandex.ru

Abstract Objectives. The aim of the study is to develop the characteristics of the institutional environment to ensure the sustainable development of regions. **Methods.** Research methods comprise the system analysis, socio-economic modelling and forecasting. The method of graphic images is used in order to visualise the analytical data and the results. **Results.** The relevance of sustainable regional development in the current economic conditions is substantiated, the necessity of a complex approach of economic, social and ecological criteria for the implementation of programmes aimed at transforming the social and economic space of territories, small towns, and municipalities is identified. The role of institutions in the development of territories is revealed and their mechanisms and classifications examined. Different scientific approaches to the role and significance of the institutional environment are characterised alongside a discussion of the need for modernisation and adaptation to present economic conditions. An analysis of the socio-economic characteristics of the institutional environment is carried out and the directions for their formation up to a level corresponding to the development strategy of the territory, small town or municipality are determined. The indicators of the development of the institutional environment of small towns are characterised on the example of three subjects of the Russian Federation: Perm Krai, Tula and Vladimir oblast. Data on three types of institutions – constitutional, economic and social – are considered together with living standards. The composition of the institutions of the business environment, education, culture and sport is analysed. The data on budget indicators of small towns of the federal subjects under consideration are reflected and problems concerning local budget deficits in the majority of municipalities are identified. **Conclusion.** Based on the identified directions and criteria for the development of the institutional environment, the directions for modelling the sustainable development of territories are developed.

Acknowledgment. The work was financially supported by the grant of the Russian Science Foundation (project No. 17-18-01324) “Sustainable development of the economy of territories based on the network interaction of small towns and regional centres”.

Keywords: institutional environment, sustainable development, territory, modelling

Введение. Развитие как ключевое понятие экономической науки наполняется ныне новым содержанием. Это связано, в первую очередь, с осознанием того факта, что социальные аспекты функционирования человеческого сообщества оказывают значительное влияние на развитие разноуровневых экономических систем – от малых предприятий до крупных территориальных образований. Именно поэтому концепция устойчивого развития территорий стала сегодня объектом пристального внимания практически во всех сферах человеческой жизнедеятельности. Переход к устойчивому развитию территорий должен основываться на принципах экономической эффективности, гармоничности развития человека и окружающей среды, социальной справедливости, инновационности и технологичности [7]. Отсюда можно сделать вывод, что на первый план в современном территориальном развитии выдвигается институциональная составляющая, которая включает в себя познание основополагающих для развития общества цивилизационных норм и ценностей.

Особенно актуальными эти проблемы являются для развивающихся территорий, переживающих фундаментальные трансформации институциональной структуры, которые охватывают все сферы их общественной жизнедеятельности и влияют на экономические и социальные преобразования. Их стратегической целью является развитие социально-ориентированной рыночной экономики и выход на траекторию устойчивого развития. Речь идет об управляемом социально-экономическом развитии, не нарушающем институциональной основы развития территории и направленном на обеспечение выживания и непрерывного прогресса общества в пределах данной территории. Для перехода на путь устойчивого развития важное значение имеют все составляющие институциональной среды: экономические, политические, этические, культурные, экологические с учетом их институциональной основы.

Постановка задачи. Современное состояние экономики России и её регионов не в последнюю очередь обусловлено неэффективностью функционирования базовых экономических институтов. При этих обстоятельствах повышение институциональной эффективности для обеспечения устойчивого развития территориальных хозяйственных систем является не только актуальной теоретической проблемой, но и важной практической задачей. Следовательно, возникает потребность осмысления, оценивания и моделирования развития территорий в институциональном контексте.

Методы исследования. Диалектический метод познания экономических и социальных процессов заключается в исследовании отдельных показателей инфраструктуры и направлений моделирования устойчивого развития территорий, что позволяет сделать определенные выводы о наличии структурных проблем и тенденций, характерных для современного периода и предложить рекомендации с учетом специализации малых городов Тульской, Владимирской областей, Пермского края.

Метод системного анализа заключается в комплексном анализе социально-экономической ситуации с учетом сложившейся специализации рассматриваемых территорий, а также особенностей институциональной среды, в совокупности позволяя сделать научно обоснованные выводы о качестве развития каждого аспекта рассматриваемой проблемы.

Формально-логический метод состоит в интерпретации фактов на основании различной информации статистического характера, которая позволяет обеспечить всесторонними данными об исследуемой проблеме.

Обсуждение результатов. Как отмечают Фролов Д.П. и Соловьева И.А., в основе институционального подхода к стратегическому планированию и управлению развитием территорий лежит задача минимизации издержек взаимодействий (то есть транзакционных издержек) хозяйствующих субъектов для реализации ими своих инициатив. Средствами снижения транзакционных издержек в территориальной экономике являются институты – формальные правила, неформальные нормы, органы, процедуры, обычаи, традиции, коллективные ментальные модели (убеждения, стереотипы и др.), регулирующие поведение различных групп хозяйствующих субъектов. Совокупность институтов территории или ее «институциональная структура является важнейшей частью региональной и местной стратегии экономического развития» [16, с.40].

Российский исследователь Беляев А.Е. рассматривает вопросы разработки стратегии устойчивого развития территории на основе моделирования условий и отмечает, что процессы воздействия институтов на развитие территорий, структура и иерархия институтов и их специфика имеют выраженный региональный характер, что обуславливает регионализм институтов устойчивого развития территорий [2]. Иерархия институтов, предложенная Беляевым А.Е., может быть использована для определения характеристик институциональной среды территориального развития.

Российский исследователь Нуртдинов А.Р. исследует вопросы определения концептуальных основ формирования институциональной среды как условия устойчивого экономического развития территорий [5]. Нуртдинов А.Р. на основе построенной модели выделяет в качестве главной причины неудач некоторых экономических реформ игнорирование российскими реформаторами достижений институциональной теории [5, с.189]. Кроме того, Нуртдиновым А.Р. дана авторская классификация социальных институтов, оказывающих воздействие на развитие территорий, рассматриваются механизмы воздействия социальных институтов на процесс устойчивого экономического развития, предлагаются конкретные возможности формирования институциональной среды территории в целях устойчивого развития.

Терешина М.В. отмечает роль институциональной теории в определении возможностей территориального развития [13]. Так как в последнее время имеет место растущая глобальная экономическая нестабильность, то роль условий достижения устойчивого экономического развития страны и ее отдельных территорий возрастает.

Барлыбаев У.А. также отмечает отсутствие необходимой институциональной среды, формирующей предпосылки для эффективного управления устойчивым развитием подсистем национальной экономики [1, с.61]. При этом в качестве объекта исследования выступают сельские территории. Несмотря на то, что исследователем построена экономико-математическая модель развития сельских территорий с использованием институционального подхода, всё же набор условий институциональной среды развития территорий представляется ограниченным, не рассматриваются инновационные и некоторые важные социальные институты.

Исследователь Иванченко М.П. определяет современные теоретические подходы к анализу предпосылок и последствий функционирования различных по содержательному наполнению и форме общественно-политических и экономических институтов, необходимых для развития отдельных территорий [3]. При этом для обеспечения оптимальности институциональной среды развития отстающих территории исследователь предлагает трансплантацию институтов. Трансплантацию институтов, по мнению Иванченко М.П., в определенной мере можно отождествить с заимствованием технологий [4, с.62]. В качестве примеров исследователем рассмотрены Ленинградская и Московская области – наиболее развитые регионы России, что отделяет их по условиям развития от других регионов России.

Некоторые российские исследователи уделяют внимание отдельным институтам или группам институтов, оказывающим влияние на развитие территорий и малых городов. Так, например, исследователь Приходченко О.С. рассматривает развитие территорий, прежде всего, с точки зрения различных государственных институтов, связанных с формированием бюджетных доходов и расходов [5, с.54]. Моделью, которую исследователь предлагает использовать для определения возможностей развития территорий, является программное бюджетирование и стратегирование. Данная модель является достаточно эффективным инструментом определения условий развития территории, хотя и ограничена узкой группой институтов.

Авторы Тамбовцев В. и Полтерович В. отмечают многообразие типов институтов, представленных в малых городах. Исследователи группируют институты по признаку целенаправленности и осознанности создания и выделяют спонтанно возникшие, заимствованные и спроектированные институты [10, 12]. С точки зрения проектирования развития малых городов данная классификация имеет особое значение, так как позволяет разделить институты малых городов на те, которые можно искусственно инициировать, и те, что возникают самостоятельно или извне. Это важно при определении опорных социальных и экономических структур, кото-

рые являются поддерживающими по отношению к общей стратегии развития территорий и малых городов.

В целях моделирования устойчивого развития малых городов необходимо также выделение институтов по таким признакам, как сложность изменения института, инертность, а также централизация института. Особое значение в рамках местного управления на уровне малых городов имеет классификация институтов по уровням регулирования – на федеральные, региональные и местные соответственно. Данные уровни закреплены в законодательстве страны, что является поддерживающим фактором для формирования и группировки институтов в малых городах именно по этому признаку. Как отмечает Тамбовцев В., институциональная среда малых городов формируется, прежде всего, на муниципальном уровне [12], но должна включать в себя институты других уровней в качестве поддержки и определения общей стратегии развития.

Исходя из рассмотренных научных исследований [4, 5, 7-10, 12], касающихся вопросов формирования институциональной среды развития территорий, можно выделить следующие группы институтов малых городов:

1. Надконституционные (поведенческие) институты – сюда относятся устоявшиеся локальные традиции и обычаи малого города, например, особые местные праздники, почитание покровителя города и др. В современных условиях, казалось бы, данная группа институтов должна постепенно терять свою значимость, но, учитывая старение населения малых городов [16], группа поведенческих институтов имеет весьма крепкие позиции в современных малых городах.

2. Конституционные (политические) институты, куда относятся правила избрания и назначения представителей органов местного и общественного самоуправления. Основой для данных институтов являются такие нормативные акты, как Положение об администрации муниципального образования и Положение о территориальном общественном самоуправлении.

3. Экономические институты – наиболее многочисленная группа институтов малых городов. Сюда можно отнести:

- институты, регулирующие предпринимательскую деятельность и формирующие инвестиционный климат,
- институты развития социальной сферы малого города (например, образование, здравоохранение, культура, спорт),
- институты системы финансов малого города,
- институты, обеспечивающие развитие городской инфраструктуры,
- институты, формирующие условия для повышения туристической привлекательной и развития туризма малого города.

Данная группа институтов является определяющей для формирования устойчивого развития малых городов, так как институты данной группы позволяют обеспечить высокие показатели уровня жизни населения малых городов, что является основной целью устойчивого развития территории.

Стратегии развития малых городов и регионов, базирующиеся на институциональном подходе, направлены, с одной стороны, на выявление и преодоление институциональных ограничений (в том числе административных барьеров, неэффективных процедур и механизмов регулирования и др.) в использовании ресурсов территории, а с другой – на формирование качественной институциональной среды для разных групп стейкхолдеров [16, с.34-35].

В качестве методологической основы для таких индикаторов могут быть использованы показатели рейтинга «Ведение бизнеса» (Doing Business), отражающие степень удовлетворенности предпринимателей сроками получения разрешений на строительство, подключения к электроснабжению, регистрации бизнеса и собственности и т.д., а также индикаторы индекса «Валового национального счастья» (Gross National Happiness Index), включающие показатели психологического благополучия, здоровья, культурного разнообразия, стандартов жизни, удовлетворенности качеством государственного управления, использования времени и др. [4].

Далее рассмотрены некоторые показатели, характеризующие уровень развития институциональной среды в малых городах субъектов РФ: Пермском крае, Владимирской и Тульской областях – табл. 1. Методика обобщения показателей для характеристики институциональной среды представлена органами статистики.

Таблица 1. Показатели развития институциональной среды малых городов на примере субъектов РФ [27]
Table 1. Indicators of development of institutional environment of small towns on the example of subjects of the Russian Federation

Показатель	Субъекты		
	Пермский край	Владимирская область	Тульская область
Конституционные институты			
Наличие муниципальных образований, единиц	29	80	23
Число муниципальных образований, участвующих на добровольной основе в объединениях муниципальных образований, в межмуниципальных некоммерческих организациях, единиц	27	80	22
Экономические институты			
Муниципальные унитарные предприятия, единиц	51	10	12
Банки и иные финансовые организации или их филиалы и представительства, единиц	2	4	3
Число субъектов малого и среднего бизнеса	3124	6309	3469
Социальные и институты уровня жизни			
Образовательные организации, единиц	19	84	32
Организации культуры, единиц	57	86	6
Организации спорта, единиц	25	2	8
Местный бюджет на текущий год, (тыс.руб)			
доходы	2203626	1628062	3148183
расходы	2278613	1597459	3507493
дефицит (-), профицит (+)	-74987	+30603	-359310

Исходя из данных табл. 1, можно особо выделить развитие экономических институтов в малых городах Владимирской области – данный регион лидирует по числу банковских организаций и субъектов малого и среднего бизнеса (табл. 1. и рис. 1). Также развитым в части экономических характеристик институциональной среды является, согласно данным табл. 1, Тульская область.

Отразим данные о численности субъектов малого и среднего бизнеса в малых городах Пермского края, Владимирской и Тульской областей на рис.1:

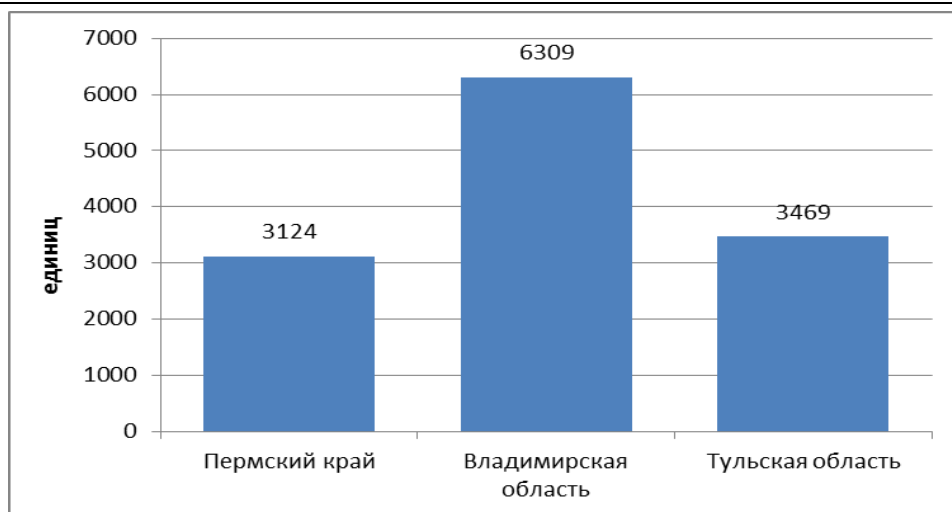


Рис. 1. Численность субъектов малого и среднего бизнеса в малых городах Пермского края, Владимирской и Тульской областей на 2016 год [27]

Fig. 1. The number of subjects of small and medium-sized businesses in small towns of the Perm territory, the Vladimir and Tula regions for the year 2016

На рис. 2 представлены показатели, характеризующие социальные институты в малых городах рассматриваемых регионов:

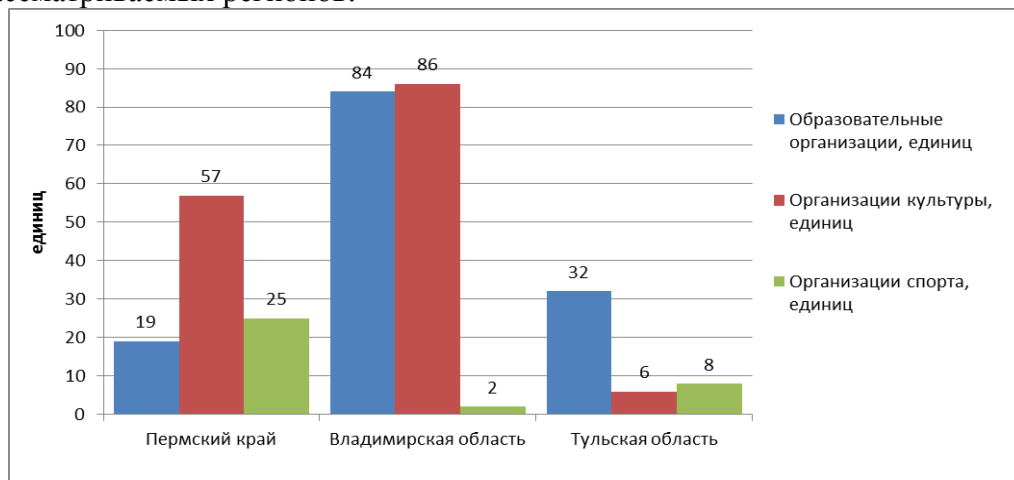


Рис. 2. Показатели, характеризующие социальные институты в малых городах Пермского края, Владимирской и Тульской областей [27]

Fig. 2. The indicators characterizing social institutions in small towns of the Perm territory, the Vladimir and Tula regions

Как можно видеть по данным рис.2., по социальным характеристикам институциональной среды среди рассмотренных регионов лидирует Владимирская область – по числу образовательных, культурных и спортивных организаций малые города данного региона опережают малые города других рассмотренных областей.

Таким образом, можно говорить о наиболее развитых социальных институтах именно в малых городах Владимирской области.

На рис. 3 отражены показатели бюджетных доходов и расходов по малым городам Пермского края, а также Владимирской и Тульской областей.

Во всех регионах, кроме Владимирской области, малые города испытывают дефицит бюджета. Наибольший дефицит имеет место в малых городах Тульской области, профицит имеет место в малых городах Владимирской области, что свидетельствует о лучшем обеспечении бюджетных функций в малых городах данного региона, что позволяет говорить о более высоком уровне жизни населения малых городов Владимирской области.

В целом, исходя из рассмотренных показателей, можно говорить о приемлемом развитии институциональной среды в малых городах Владимирской области (в части экономических и социальных институтов), а также Пермского края (в части экономических институтов), но

необходимо отметить, что данная методика является не совсем точной и не позволяет полноценно осветить развитие институциональной среды малых городов.

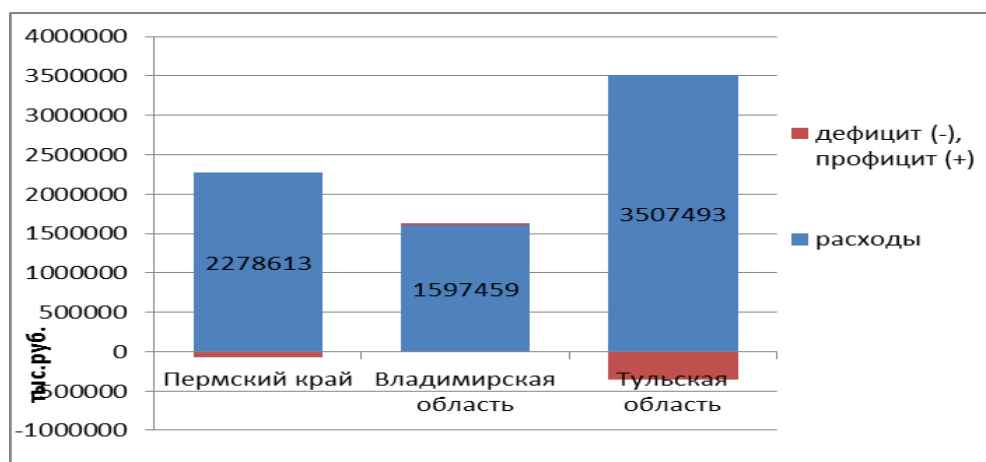


Рис. 3. Показатели бюджетных доходов и расходов по малым городам Пермского края, Владимирской и Тульской областей [27]

Fig. 3. Indicators of budget revenues and expenditures in small towns of the Perm territory, the Vladimir and Tula regions

Важные условия формирования институциональной среды территориального развития определены в работах Усковой Т.В., в которых предлагаются инструменты оценки влияния экономических факторов на развитие территорий [14-15].

Различным аспектам устойчивого развития посвящено много работ зарубежных исследователей. Понятийный аппарат, методология и механизмы формирования среды территориального развития сформулированы в документах ООН «Наше общее будущее», «Повестка дня на XXI век» [26], Декларация Рио и др. Особое место в работах зарубежных исследователей уделяется характеристике рациональных институциональных условий производства и потребления для развития территорий. Модели развития территорий зачастую строятся на основе оптимизации потребностей, и, в соответствии с этим, трансформации производственных и экономических характеристик институциональной среды [19, 20].

Возможность моделирования развития территорий с позиции институционального подхода обоснована в трудах зарубежных исследователей [17-19, 21].

Так, Й. Эдда сформировал перечень факторов, оказывающих влияние на развитие территорий и также предложил математическую имитационную модель, позволяющую выявить влияние факторов институциональной среды на развитие территории [19].

Исследование, проведенное зарубежными исследователями Хайнесом Эйджем и Джоном Харрисоном, основывается на аспектах новейшего институционального анализа [18], который ведет к формулированию возможности моделирования развития территорий исходя из текущего состояния институтов, воздействующих на данную территорию. Ученые построили EPR-модель, которая позволяет увидеть конкретные причинно-функциональные связи (в том числе – институционального характера), существующие в системе развития территории. Внимание вопросам определения характеристик институциональной среды территориального развития уделяется и исследователями из стран СНГ [22 -25]. Наибольший упор в указанных работах делается на вопросах социально-экономического развития институтов, оказывающих влияние на территориальное развитие, что несколько сужает понимание институциональной концепции устойчивого развития.

Для понимания механизмов реализации модели устойчивого развития необходимо уделить больше внимания анализу влияния модели устойчивого развития в системе политических, общественных и других институтов.

Рассмотрим направления моделирования устойчивого развития территорий на основе институциональной среды на примере малых городов Пермского края, с преобладающей промышленной специализацией (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика малых городов Пермского края по экономической специализации [27]
Table 2. Feature of small towns in Perm Krai on economic specialization

Малые города	Отрасль специализации	Направления диверсификации экономики
Чермоз	Сельское хозяйство, розничная торговля, машиностроение («ООО Синергия»)	Развитие познавательного, экологического, агротуризма
Чердынь	Разработка солевых месторождений, производство за чертой города	Развитие религиозного, познавательного, экологического и агротуризма
Усолье	Сельское хозяйство, розничная торговля, лесная и деревообрабатывающая промышленности	Развитие религиозного и познавательного туризма
Оханск	Сельское хозяйство, производство пиломатериалов, швейное производство (ОАО Оханская швейная фабрика)	Развитие экологического и агротуризма
Гремячинск	Лесопереработка (ДОК Гремячинский, ООО «ПЛПК»), газокompрессорная станция (Гремячинское ЛПУ МГ), автомобилестроение (завод ОАО «Автоспецоборудование»), легкая промышленность	Образование, здравоохранение и экологический туризм
Горнозаводск	Монопроизводство ОАО «Горнозаводскцемент»	Транспортная отрасль, сфера культуры
Александровск	Развитие промышленного производства (ОАО «Александровский машиностроительный завод», ОАО «Алекстром»)	Образование, здравоохранение, транспортная отрасль и туризм
Очер	Литейная, мебельная промышленность, производство пиломатериалов, сельское хозяйство, машиностроение (ОАО «Очёрский машиностроительный завод»)	Туризм и рекреация, экологический и агротуризм
Красновишерск	Лесная, деревообрабатывающая промышленность, цветная металлургия. Крупные предприятия являются банкротами	Образование, здравоохранение, транспортная отрасль, экологический туризм
Кизел	Ликвидация основных градообразующих предприятий, бюджетная сфера	Туризм и рекреация, экологический и агротуризм
Нытва	Градообразующее предприятие – ОАО Нытвенский металлургический завод	Развитие познавательного, экологического и агротуризма
Губаха	Химическая промышленность - ПАО «Метафракс», ОАО «Губахинский кокс»	Транспорт, сфера культуры и туризм
Оса	Машиностроение, деревообработка, пищевая промышленность	Культурный центр – развитие познавательного туризма
Верещагино	Машиностроение, сельское хозяйство, текстильная промышленность	Транспорт, промышленность и туризм
Кудымкар	Пищевая промышленность (ОАО «Молоко», ОАО «Мясокомбинат»), торговля	Развитие религиозного, познавательного, экологического и агротуризма
Чернушка	Нефтяная промышленность и строительство (ООО «Лукойл – Пермь»); ремонтное производство (ООО «АРГОС» -ЧУРС); строительство дорог (ООО «ДОРΟΣ»), выпуск кирпича (ООО «Чернушкастройкерамика»)	Промышленность, транспорт, туризм, санаторно-курортная деятельность
Добрянка	Топливо-энергетический и лесопромышленный комплекс (филиал «Пермская ГРЭС» АО «Интер РАО- Электрогенерация»; НГДУ «Полазаннефть» ЗАО «Лукойл-Пермь», ЗАО «Лукойл - Бурение - Пермь», АО «Добрянка-мебель», филиал ЗАО ПО «Уралэнергомонтаж»)	Промышленность, транспорт, туризм, санаторно-курортная деятельность
Чусовой	Черная металлургия, машиностроение и металлообработка (ОАО «Чусовский металлургический завод», «УралДомнаРемонт», «Металлург Сервис»).	Промышленность, транспорт, туризм, санаторно-курортная деятельность

Ряд моногородов испытывает экономические проблемы, связанные с упадком или банкротством промышленных предприятий [6].

Представим схематично промышленную институциональную среду Пермского края (рис. 4).

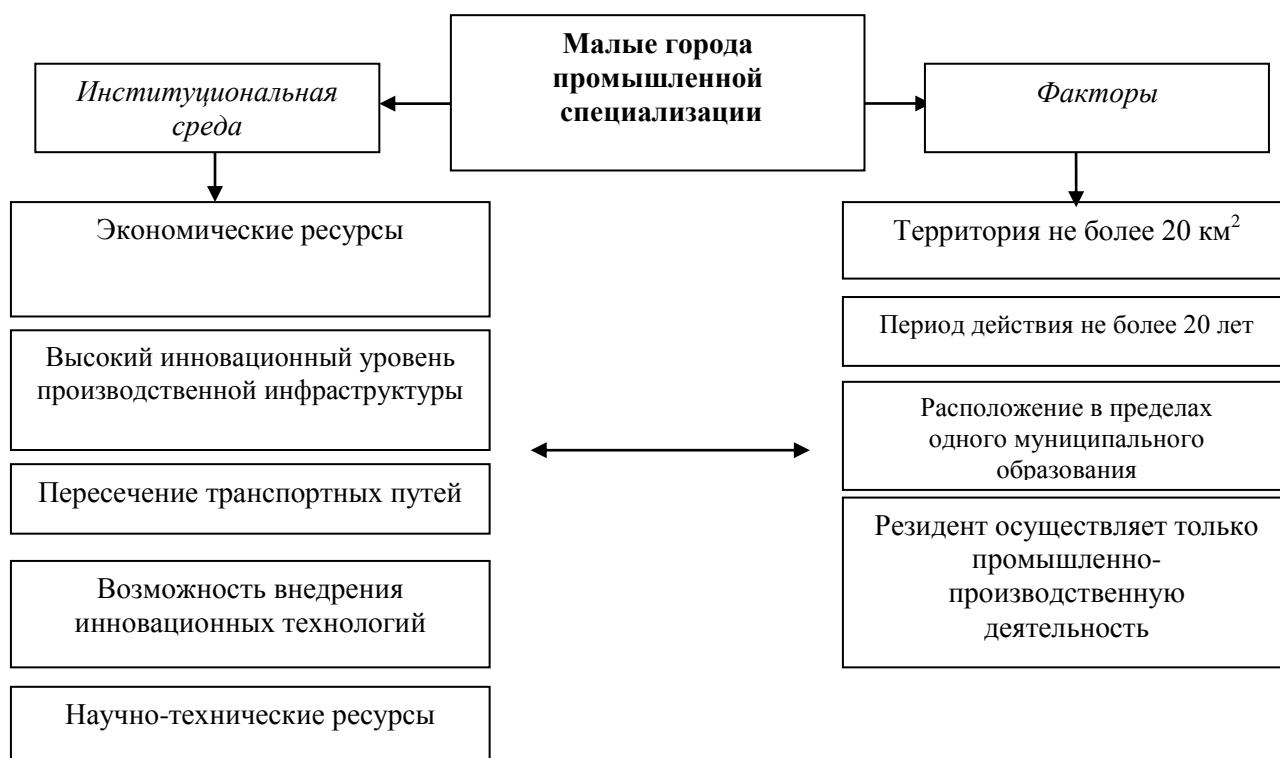


Рис. 4. Основные характеристики институциональной среды малых городов Пермского края с промышленной специализацией [7]

Fig. 4. The main characteristics of the institutional environment of small towns of the Perm region with industrial specialization

Можно видеть сочетание нескольких характеристик институциональной среды, к которым относится научно-технический потенциал и инновации. Охарактеризуем динамику инноваций на примере рассматриваемых субъектов РФ (рис.5).

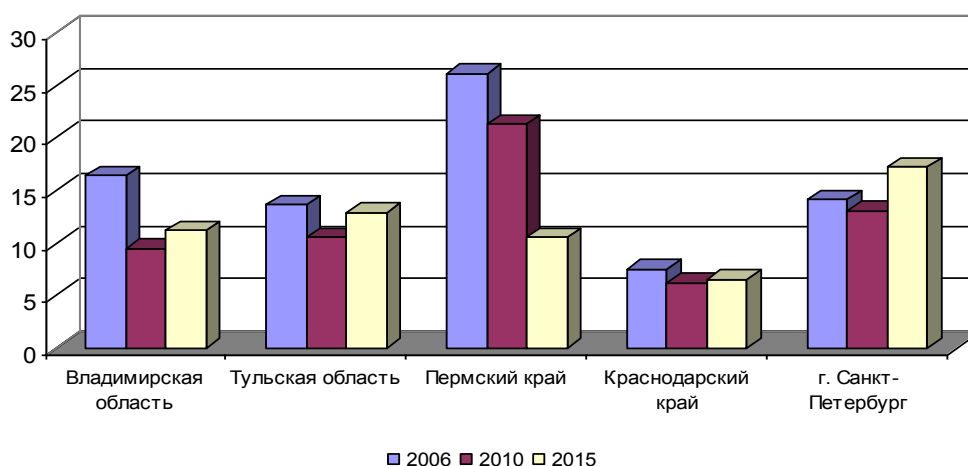


Рис. 5. Удельный вес организаций, осуществляющих технологические, маркетинговые, организационные инновации, % [8]

Fig. 5. The share of organizations implementing technological, marketing, organizational innovation, %

Пермский край являлся лидером в 2006 году – 26,1% организаций осуществляли инновационную деятельность; в 2015 году на первое место вышел г. Санкт-Петербург – 17,2%, он же является единственным из рассматриваемой группы субъектов, показавший пророст инновационной деятельности. Необходимо рассмотреть в процентном соотношении от общего объема отгруженных товаров, работ, услуг (рис. 6).

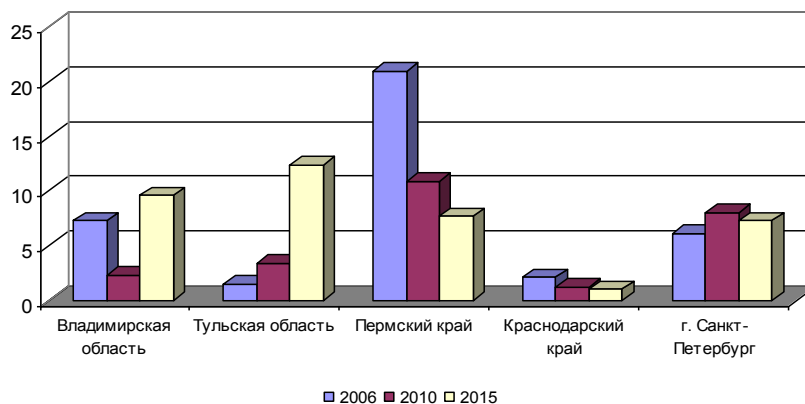


Рис. 6. Доля инновационных продуктов, работ, услуг в общем объеме, % [8]
Fig. 6. The share of innovative products, works, services in total amount, %

Отметим, что в регионах развиваются две тенденции: рост инновационных продуктов, работ, услуг в общей доле: Владимирская, Тульская области; снижение: Пермский, Краснодарский края, г. Санкт-Петербург (при росте количества предприятий, занятых инновациями). Особенно резким является сокращение по Пермскому краю – с 20,9% до 7,7%.

Вывод. Институциональная среда оказывает качественное влияние на социально-экономическое пространство территорий, обеспечивает устойчивое развитие.

Аналитическое обобщение результатов исследования выявило, что проблема институтов является актуальной в современной экономической региональной политике, так как ее решение способствует выходу территории, малого города, муниципального образования на новый уровень специализации.

Анализ институциональной среды промышленности был проведен на примере Пермского края в сравнении с некоторыми регионами, обладающими сопоставимой специализацией. Было выявлена тенденция к сокращению инновационной и инвестиционной активности, обусловленной частичным спадом промышленного производства, замедлением темпов формирования индустриальных парков, целью создания которых была оптимизация существующего производства, рациональное использование промышленных площадей (производственной инфраструктуры).

Установлено, что промышленные города развиваются за счет промышленного потенциала территории за счет использования имеющихся природных ресурсов (месторождения руд), большого количества рабочей силы и высококвалифицированного персонала, а также привлечения отечественного и иностранного капитала.

Формирование и развитие промышленности и технопарков на территории Пермского края основывается на следующих требованиях:

- повышение инвестиционной привлекательности и конкуренции российской экономики;
- повышение конкурентоспособности российских предприятий и их готовность к внедрению инноваций;
- создание условий для экспорта товаров и повышения конкурентоспособности на рынке товаров и услуг;
- развитие и применением новых технологий управления персоналом.

Можно сделать вывод, что обладая достаточно развитой промышленной инфраструктурой, Пермский край демонстрирует спад основных показателей промышленности, способствующих модернизации и устойчивому росту. В связи с этим необходимо отметить следующие особенности: на деятельность институциональной среды оказывают влияние макроэкономические

ские факторы, в первую очередь, сокращение денежной массы; негативные ожидания привели к сокращению вложений в длительные проекты, характерные для промышленности (ввод новых мощностей, модернизация основных фондов).

Характеристики институциональной среды для обеспечения устойчивого роста территорий: низкая доля износа объектов материального производства; удовлетворение основных потребностей населения территории; наличие инвестиционно-инновационных предприятий, относящихся к государству и бизнес-среде.

Моделирование устойчивого развития промышленных территорий включает основные направления: транспортно-логистические сети; усиление сложившейся специализации; диверсификация экономики на основе перспективных направлений специализации; включение потенциальных возможностей в проекты новых продуктов и услуг, обладающих спросом; обеспечение устойчивых взаимосвязей инфраструктуры различных типов на основе выявленных факторов взаимовлияния, обеспечивающих синергетический эффект.

Библиографический список:

1. Барлыбаев У.Д. Институциональные аспекты устойчивого развития сельских территорий в условиях становления. Москва, 2015. – 333 с.
2. Беляев А.Е. Актуальные проблемы устойчивого развития территории // *Kant*. - 2015. №2 (5). - с.19-21.
3. Иванченко М.П. Роль государства в формировании благоприятной институциональной среды, обеспечивающей развитие региона (на примере Ленинградской области) // *Проблемы управления*. – 2015. №15. - с.26-31.
4. Иванченко М.П. Формирование институтов роста развитой территории на примере Ленинградской области) // *Проблемы управления*. – 2014. №20. - с.61-64.
5. Нуртдинов А. Р. Институциональная среда как условие устойчивого экономического развития // *Вестник Казанского технологического университета*. - 2016. №6. - с.186-193.
6. Оборин М.С., Пахалов А.М., Шерешева М.Ю. Эффективность стратегического планирования развития малых городов на основе сетевого механизма координации // *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*. № 4, 2017. - С. 100-117.
7. Оборин М.С., Шерешева М.Ю., Пахалов А.М. Институциональная среда как фактор формирования инвестиционного климата малых городов России // *Ars Administrandi (Искусство управления)*. Том 9, № 3, 2017. - С. 370-394.
8. Оборин М.С., Шерешева М.Ю., Иванов Н.А. Обоснование стратегических ориентиров социально-экономического развития малых городов России // *Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика» =Perm University Herald. Economy*. Том 12. № 3, 2017. - С. 437–452.
9. Пахалов А.М. Институциональное проектирование как инструмент улучшения инвестиционного климата // *Российское предпринимательство*. 2016. Т. 17, № 18. С. 2335–2350.
10. Полтерович В.М. Трансплантация экономических институтов // *Экономическая наука современной России*. 2001. № 3. С. 25-50.
11. Приходченко О.С. Формирование бюджетной стратегии на региональном уровне // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Экономика. Социология. Менеджмент*. 2014. № 1. С. 53-56.
12. Тамбовцев В.Л. Защита прав собственности и инвестиционный климат России // *Журнал НЭА*. 2012. № 1 (13). С. 163-165.
13. Терешина М.В., Формирование механизма устойчивого развития региона: экономические и институциональные условия, диссертация и автореферат на соискание степени доктора экономических наук ВАК 08.00.05. – Москва. 2014. – 333 с.
14. Ускова Т.В. Социально-экономическое развитие территорий: проблемы эффективности региональной политики // *Проблемы развития территории*. – 2016. – № 2. – С. 7-18.
15. Ускова Т.В., Ворошилов Н.В., Гутникова Е.А., Кожевников С.А., Социально-экономические проблемы локальных территорий: монография /. – Вологда: ИСЭРТ РАН, 2013. – 196 с.
16. Фролов Д.П., Соловьева И.А. Будущее стратегий территориального развития: анализ современных методологий // *Региональная экономика: теория и практика*. 2016. № 10 (433). С. 28-45.
17. Bishop, Michael. New State Spaces and Contested Territories: A Critical Analysis of Joint Regional Planning Panels. *URBAN POLICY AND RESEARCH* Volume: 32 Issue: 2 Pages: 185-201 Published: 2014.
18. Harrison John; Age S. When regions collide: in what sense a new 'regional problem'? *Environment and planning A* Volume: 46 Issue: 10. P. 2332-2352. Published: 2014.
19. Johannessen Edda; Hoines, Dolgov, Andrey V.; et al. Demersal Fish Assemblages and Spatial Diversity Patterns in the Arctic-Atlantic Transition Zone in the Barents Sea. *PLOS ONE* Volume: 7 Issue: 4. Article Number: e34924 Published: APR 17. 2012.
20. Granger, Alan Purvis, Martin, Learning for sustainable development: geographical perspectives - *Earthscan*, 2013 - 416 p.

21. Zimmerbauer, Kaj. Constructing peripheral crossborder regions in planning: territory-network interplay in the Barents region. *environment and planning A* Volume: 46 Issue: 11 Pages: 2718-2734 Published: 2014.
22. Білорус О.Г. Імперативи сталого розвитку в епоху глобалізації // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: економічні науки. - 2014. Т. 1. № 1. - с. 16-27.
23. Буркинський Б.В. "Зелена" економіка кризь призму трансформаційних зрушень в Україні. - Одеса: ПРРЕД-НАНУ України - Саки: ПП "Підприємство Фенікс", 2015. - 348 с.
24. Иванова Т. Л. Глобальні макроекономічні індикатори сталого розвитку національної економіки // Інноваційна економіка. - 2015. № 10 (48). - с. 86-93.
25. Солошич І.О. "Зелена економіка" в контексті забезпечення переходу України до сталого розвитку // Економічний форум. - 2016. № 28. - с. 30-36.
26. Повестка дня на XXI век. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 3-14 июня 1992 года. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/agenda21.pdf (29.10.2017).
27. Официальный сайт Федеральной службы статистики [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gks.ru/> (29.10.2017).

References:

1. Barlybaev U.D. Barlybaev U.D. Institutional'nye aspekty ustoichivogo razvitiya sel'skikh territorii v usloviyakh stanovleniya. Moskva; 2015. 333 s. [Barlybaev U.D. Institutional aspects of sustainable development of rural areas in the conditions of formation. Moscow; 2015. 333 p. (In Russ.)]
2. Belyaev A.E. Aktual'nye problemy ustoichivogo razvitiya territorii. Kant. 2015;2 (5):19-21. [Belyaev A.E. Relevant issues of sustainable development of the territory. Kant. 2015;2 (5):19-21. (In Russ.)]
3. Ivanchenko M.P. Rol' gosudarstva v formirovaniy blagopriyatnoi institutsional'noi sredy, obespechivayushchei razvitie regiona (na primere Leningradskoi oblasti). Problemy upravleniya. 2015;15:26-31. [Ivanchenko M.P. The role of the state in the formation of a favorable institutional environment proviging the development of the region (by the example of the Leningrad Oblast). Control Sciences. 2015;15:26-31. (In Russ.)]
4. Ivanchenko M.P. Formirovanie institutov rosta razvitoi territorii na primere Leningradskoi oblasti). Problemy upravleniya. 2014;20:61-64. [Ivanchenko M.P. Formirovanie institutov rosta razvitoi territorii na primere Leningradskoi oblasti). Control Sciences. 2014;20:61-64. (In Russ.)]
5. Nurtidinov A. R. Institutsional'naya sreda kak uslovie ustoichivogo ekonomicheskogo razvitiya. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016;6:186-193. [Nurtidinov A. R. Institutional environment as a condition of sustainable economic development. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2016;6:186-193. (In Russ.)]
6. Oborin M.S., Pakhalov A.M., Sheresheva M.Yu. Effektivnost' strategicheskogo planirovaniya razvitiya malykh gorodov na osnove setevogo mekhanizma koordinatsii. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika. 2017;4:100-117. [Oborin M.S., Pakhalov A.M., Sheresheva M.Yu. Effectiveness of strategic planning for the development of small towns on the basis of a network coordination mechanism. Moscow University Economics Bulletin. Series 6: Economics. 2017;4:100-117. (In Russ.)]
7. Oborin M.S., Sheresheva M.Yu., Pakhalov A.M. Institutsional'naya sreda kak faktor formirovaniya investitsionnogo klimata malykh gorodov Rossii. Ars Administrandi (Iskusstvo upravleniya). 2017;9(3):370-394. [Oborin M.S., Sheresheva M.Yu., Pakhalov A.M. Institutional environment as a factor of investment climate formation in small Russian cities. Ars Administrandi (The Art of Management). 2017;9(3):370-394. (In Russ.)]
8. Oborin M.S., Sheresheva M.Yu., Ivanov N.A. Obosnovanie strategicheskikh orientirov sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya malykh gorodov Rossii. Vestnik Permskogo universiteta. Ser. "Ekonomika". 2017;12(3):437-452. [Oborin M.S., Sheresheva M.Yu., Ivanov N.A. Substantiation of strategic landmarks of social and economic development of small cities of Russia. Perm University Herald. Economy. 2017;12(3):437-452. (In Russ.)]
9. Pakhalov A.M. Institutsional'noe proektirovanie kak instrument uluchsheniya investitsionnogo klimata. Rossiiskoe predprinimatel'stvo. 2016;17(18):2335-2350. [Pakhalov A.M. Institutional design as a tool for improving the investment climate. Russian Journal of Entrepreneurship. 2016;17(18):2335-2350. (In Russ.)]
10. Polterovich V.M. Transplantatsiya ekonomicheskikh institutov. Ekonomicheskaya nauka sovremennoi Rossii. 2001;3:25-50. [Polterovich V.M. Transplantation of economic institutions. Economics of Contemporary Russia. 2001;3:25-50. (In Russ.)]
11. Prikhodchenko O.S. Formirovanie byudzhethoi strategii na regional'nom urovne. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Ekonomika. Sotsiologiya. Menedzhment. 2014;1:53-56. [Prikhodchenko O.S. Formation of the budget strategy at the regional level. Proceedings of South-West State University. Series Economy. Sociology. Management. 2014;1:53-56. (in Russ.)]
12. Tambovtsev V.L. Zashchita prav sobstvennosti i investitsionnyi klimat Rossii. Zhurnal NEA. 2012;1(13):163-165. [Tambovtsev V.L. Protection of property rights and the investment climate in Russia. The Journal of the New Economic Association. 2012;1(13):163-165. (In Russ.)]
13. Tereshina M.V. Formirovanie mekhanizma ustoichivogo razvitiya regiona: ekonomicheskie i institutsional'nye usloviya. Dissertatsiya i avtoreferat na soiskanie stepeni doktora ekonomicheskikh nauk VAK 08.00.05. Moskva; 2014. 333 s. [Tereshina M.V. Formation of the mechanism of sustainable development of the region: economic and institutional conditions. Published summary and Doctor of Economy thesis VAK 08.00.05. Moscow; 2014. 333 p. (In Russ.)]

14. Uskova T.V. Sotsial'no-ekonomicheskoe razvitiye territorii: problemy effektivnosti regional'noi politiki. Problemy razvitiya territorii. 2016;2:7-18. [Uskova T.V. Socio-economic development of territories: problems of the effectiveness of regional policy. Problems of Territory's Development. 2016;2:7-18. (In Russ.)]
15. Uskova T.V., Voroshilov N.V., Gutnikova E.A., Kozhevnikov S.A. Sotsial'no-ekonomicheskie problemy lokal'nykh territorii: monografiya. Vologda: ISERT RAN; 2013. 196 s. [Uskova T.V., Voroshilov N.V., Gutnikova E.A., Kozhevnikov S.A. Socio-economic problems of local territories: a monograph. Vologda: ISERT RAN; 2013. 196 p. (In Russ.)]
16. Frolov D.P., Solov'eva I.A. Budushchee strategii territorial'nogo razvitiya: analiz sovremennykh metodologii. Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika. 2016;10(433):28-45. [Frolov D.P., Solov'eva I.A. The future of territorial development strategies: analysis of modern methodologies. Regional Economics: Theory and Practice. 2016;10(433):28-45. (In Russ.)]
17. Bishop M. New State Spaces and Contested Territories: A Critical Analysis of Joint Regional Planning Panels. Urban Policy And Research. 2014;32(2):185-201.
18. Harrison J., Age S. When regions collide: in what sense a new 'regional problem'? Environment and planning A. 2014;46(10):2332-2352.
19. Johannessen E., Hoines A.S., Dolgov A.V., Fossheim M. Demersal Fish Assemblages and Spatial Diversity Patterns in the Arctic-Atlantic Transition Zone in the Barents Sea. PLOS ONE. 2012;7(4):e34924.
20. Purvis M., Grainger A. Exploring Sustainable Development: Geographical Perspectives. Earthscan; 2013. 416 p.
21. Zimmerbauer K. Constructing peripheral crossborder regions in planning: territory-network interplay in the Barents region. Environment and planning A. 2014;46(11):2718-2734.
22. Bilorus O.G. Imperativi stalogo rozvitku v epokhu globalizatsii. Zbirnik naukovikh prats' Vinnits'kogo natsional'nogo agrarnogo universitetu. Seriya: ekonomichni nauki. 2014;1(1):16-27. [Bilorus O.G. The Imperatives of Sustainable Development in the Age of Globalization. Collection of scientific works of Vinnytsya National Agrarian University. Series: Economic Sciences. 2014;1(1):16-27. (In Ukr.)]
23. Burkins'kii B.V. "Zelena" ekonomika kriz' prizmu transformatsiinykh zrushen' v Ukraïni. Odesa: IPREED NAN Ukraïni - Saki: PP "Pidpriemstvo Feniks"; 2015. 348 s. [Burkins'kii B.V. "Green" economy through the prism of transformational shifts in Ukraine. Odesa: IPREED NAN Ukraïni - Saki: PP "Pidpriemstvo Feniks"; 2015. 348 p. (In Ukr.)]
24. Ivanova T. L. Global'nii makroekonomichni indykatori stalogo rozvitku natsional'noi ekonomiki. Innovatsiina ekonomika. 2015;10(48):86-93. [Ivanova T. L. Global macroeconomic indicators of sustainable development of the national economy. Innovative economy. 2015;10(48):86-93. (In Ukr.)]
25. Soloshich I.O. "Zelena ekonomika" v konteksti zabezpechennya perekhodu Ukraïni do stalogo rozvitku. Ekonomichnii forum. 2016;28:30-36. [Soloshich I.O. "Green economy" in the context of ensuring Ukraine's transition to sustainable development. Economic forum. 2016;28:30-36. (In Ukr.)]
26. Agenda for the twenty-first century. Adopted by the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3-14 June 1992. [Electronic resource]. Available at: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/pdf/agenda21.pdf (access date 29.10.2017).
27. Ofitsial'nyi sait Federal'noi sluzhby statistiki [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.gks.ru/> (data obrashcheniya 29.10.2017). [Official website of the Federal Statistical Service [Electronic resource]. Available at: <http://www.gks.ru/> (access date 29.10.2017). (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Оборин Матвей Сергеевич – доктор экономических наук, профессор.

Шерешева Марина Юрьевна – доктор экономических наук, профессор.

Иванов Николай Александрович – аспирант, кафедра маркетинга.

Кожушкина Ирина Владимировна – аспирантка, кафедра финансов, кредита и мировой экономики.

Information about the authors:

Matvey S. Oborin – Dr. Sci. (Economics), Prof.

Marina Yu. Sheresheva – Dr. Sci. (Economics), Prof.

Nikolay A. Ivanov – Post-graduate student, Department of Marketing.

Irina V. Kozhushkina – Post-graduate student, Department of Finance, Credit and World Economy.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.07.2017.

Принята в печать 23.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 13.07.2017.

Accepted for publication 23.08.2017.

Для цитирования: Исмаилов Р.Т., Магомедов А.Г. Управление и оценка эффективности использования производственного потенциала строительной организации в нестабильной экономической среде. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):199-209 .DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-199-209

For citation: Ismailov R.T., Magomedov A.G. Management and evaluation of efficiency of using the production potential of a construction organisation in an unstable economic environment. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3):199-209. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-199-209

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК69.003

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-199-209

УПРАВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В НЕСТАБИЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Исмаилов Р.Т.¹, Магомедов А.Г.²

¹⁻²Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻²367026. г. Махачкала, пр. И.Шамиля,70, Россия,

¹e-mail:rust1985@mail.ru; ²e-mail:arbuli@mail.ru

Резюме. Цель. Управление развитием и оценка эффективности использования производственного потенциала строительной организацией в процессе производственной деятельности является одной из сложных и актуальных проблем современной экономической науки. Цель работы заключается в разработке организационно-экономических аспектов эффективного управления производственным потенциалом строительной организации в нестабильной экономической среде. **Метод.** В качестве методологической базы исследования использованы принципы ситуационного управления сложными социально-экономическими системами, способ исчисления эффективности загрузки элементов производственного потенциала строительной организации на основе соотношения в денежном выражении результатов производственной деятельности с затратами, вводимых в производственный процесс факторов производства. **Результат.** Обоснована необходимость и сформулированы цели управления производственным потенциалом строительной организации. Систематизированы правила, позволяющие на ситуационной основе оперативно выявить организационно-экономические и организационно-технические управленческие мероприятия, которые являются по данным экспертов наиболее эффективными в сложившейся ситуации экономической среды S_{Σ} для устранения различий между ситуациями S_T и $S_{Ц}$. Совокупность таких правил вывода для каждого элемента производственного потенциала строительной организации, $i = 1, 2, \dots, 5$ и будет определять ситуационную модель управления производственным потенциалом строительной организации в различных ситуациях $S_{j\alpha}$ экономической среды, для которых построена эталонная или желаемая модель состояния ее производственного потенциала. Предложены методики сбалансирования вводимых в производственный процесс факторов производства и оценки эффективности загрузки элементов производственного потенциала в процессе производственной деятельности.

Вывод. Предложенная технология ситуационного управления целенаправленным развитием различных элементов производственного потенциала обеспечивает возможность эффективного функционирования строительных организаций. Предложенные методики управления и оценки эффективности использования производственного потенциала позволяют повысить эффективность развития производственной деятельности строительной организации в изменяющихся условиях рынка.

Ключевые слова: строительная организация, производственный потенциал, нестабильная экономическая среда, производственный процесс, оценка эффективности

ECONOMIC SCIENCE

MANAGEMENT AND EVALUATION OF EFFICIENCY OF USING THE PRODUCTION POTENTIAL OF A CONSTRUCTION ORGANISATION IN AN UNSTABLE ECONOMIC ENVIRONMENT

*Rustam T. Ismailov*¹, *Arbuli G. Magomedov*²

¹⁻²Daghestan State Technical University,

¹⁻²70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: rust1985@mail.ru; ²e-mail: arbuli@mail.ru

Abstract Objectives To solve one of the complex and relevant problems of the modern economic science by optimising the management of development and evaluation of the efficiency of production processes in construction organisations. The aim of the work is to develop the effective management of organisational and economic aspects of the production potential of a construction organisation in an unstable economic environment. **Methods.** As a methodological basis for the study, principles of situational management of complex socio-economic systems and means of calculating the efficiency of production potential loading of construction organisation are employed on the basis of the ratio of production activity financial results to the costs of input factors introduced into the production process. **Results.** The necessity for managing the production potential of the construction organisation and its goals are substantiated. The rules are systematised, allowing organisational-economic and organisational-technical management measures to be promptly identified on a situational basis, these being the most effective in the current economic situation S_E to eliminate the differences between the situations S_T and S_C . The set of such inference rules for each element of the production potential of the construction organisation a_i , $i = 1, 2, \dots, 5$ will determine the situational model for managing the production potential of the construction organisation in various situations S_{jE} , the economic environment for which the actual or desired model of the state of its production potential form a reference. Methods for balancing production factors introduced into the production process and estimating the efficiency of loading the production potential elements in production processes are proposed. **Conclusion.** The proposed technology of situational management of targeted development of various production potential elements, based on the accumulated advanced experience of effective management of production activities, provides a means for managing the effective functioning of construction organisations. The proposed methods for managing and evaluating the efficiency of the productive potential usage make it possible to increase the efficiency of development and production activity of a construction organisation under the changing conditions of the contemporary market.

Keywords: construction organisations, production potential, unstable economic environment, production process, efficiency assessment

Введение. Управление и оценка эффективности использования производственного потенциала строительной организации (СО) относится к одной из актуальных проблем экономической науки. Это обусловлено тем, что формирование эффективного управления развитием потенциальных возможностей СО в значительной степени определяет успешность ее производственно-хозяйственной деятельности в нестабильных условиях экономической среды. Следует отметить, что в общем случае экономическая среда СО состоит из внешней и внутренней составляющей.

Внешняя составляющая экономической среды определяется состоянием рынка и практически не поддается изменениям со стороны менеджмента СО. Однако существенное влияние на производственно-хозяйственную деятельность СО требует учета ее текущего состояния и перспектив развития в процессе принятия управленческих решений. Внутренняя составляющая экономической среды СО, в рассматриваемом случае, определяется текущим состоянием производственного потенциала и инвестиционной привлекательностью СО, и, следовательно, под-

дается целенаправленным изменениям под действием управления со стороны менеджмента строительной организации.

Следует также отметить, что принятие управленческих решений в процессе управления производственным потенциалом СО, как правило, зависит от следующих основных факторов [1-2]:

- какой мощностью производственного потенциала строительная организация обладает в текущий момент времени;
- насколько с помощью имеющегося производственного потенциала СО способна производить качественную продукцию по низкой себестоимости;
- какова доля строительной организации на региональном рынке и кем она является: лидером, соперником или аутсайдером;
- какие цели ставит перед собой СО: усилить лидерство, выйти в лидеры, закрепить свое текущее состояние или избежать банкротства;
- какими объективными факторами характеризуется внешняя составляющая экономической среды.

В частности состоянием рынков инвестиций, строительной продукции, строительной техники и производственных технологий, а также рынка труда и энергетических ресурсов.

Постановка задачи. В общем случае СО самостоятельно выбирает определенную стратегию развития своего производственного потенциала в зависимости от поставленных стратегических целей и в соответствии со сложившейся в экономической среде ситуации. В данном процессе сама технология управления производственным потенциалом СО, как правило, состоит из следующих основных этапов [3-4]:

- анализ структуры и оценки эффективности использования СО в производственном процессе всех элементов производственного потенциала;
- является ли структура производственного потенциала сбалансированной по всем структурным элементам или нет;
- оценка доли конкурентоспособного производственного потенциала СО в общем объеме имеющихся потенциальных возможностей, например, доли новой эффективной строительной техники в общем объеме активной части основных производственных фондов;
- определение наиболее подходящих сегментов присутствия и доли СО на региональном и внешнем рынке строительной продукции;
- анализ и оценка внутрипроизводственных резервов СО;
- выбор стратегии и тактики управления процессом роста производственного потенциала строительной организации;
- проведение мероприятий, связанных с эффективной реализацией принятой стратегии развития производственного потенциала СО.

Таким образом, управление развитием и использованием производственного потенциала СО в нестабильных условиях экономической среды в основном сводится к определению факторов внутренней составляющей экономической среды и учету факторов внешней ее составляющей, которые влияют на эффективность производственно-хозяйственной деятельности строительной организации:

- к формированию множества допустимых альтернатив развития и поведения на рынке;
- к выбору и реализации наиболее эффективных организационно-экономических и организационно-технических мероприятий из заданного множества альтернатив.

Следует отметить, что выбор наиболее эффективного управления развитием и поведения на рынке осуществляется, как правило, руководством СО на основе результатов глубокого анализа текущего состояния и тенденций развития внешней и внутренней ситуаций экономической среды. При этом, внешняя ситуация оценивается с точки зрения возможностей рыночной среды обеспечить СО беспрепятственный рост мощности производственного потенциала при наличии соответствующих финансовых возможностей и неудовлетворенного спроса на произ-

водимую товарную строительную продукцию. Внутренняя ситуация характеризуется имеющимся у СО потенциальными производственными возможностями и объемами заключенных подрядных договоров.

В нестабильных условиях экономической среды для эффективного развития СО, помимо определенной совокупности ресурсов и финансовых возможностей существенную роль играет управленческий персонал на всех уровнях иерархии управления, способный целенаправленно и эффективно использовать эти ресурсы в производственном процессе с минимальными издержками при условии обеспечения требуемого качества производимой продукции.

Исследуя возможности производственного потенциала СО, необходимо учитывать следующие его основные характеристики [5-6]:

1. Мощность производственного потенциала СО определяется всеми его реальными возможностями, т.е. не только реализованными, но и не реализованными на текущий момент времени по различным причинам. Таким образом, одной из основных задач эффективного управления производственной деятельностью СО является реализация всех скрытых возможностей производственного потенциала, определяющих ее внутрипроизводственные резервы.
2. Возможности интенсивного развития любой СО во многом зависят от имеющихся у нее ресурсов и резервов, не задействованных в производственном процессе. Поэтому потенциал определяется имеющимся у СО объемами факторов производства (за исключением материальных ресурсов), как вовлеченных, так и не вовлеченных в производственный процесс, но подготовленных к использованию в нем. Наличие выявленных, но не использованных внутрипроизводственных резервов позволяет руководству СО использовать их двумя основными способами: либо для дальнейшего роста объемов производства; либо для сокращения сроков строительства наиболее готовых к сдаче объектов.
3. Иметь все ресурсы необходимо, но еще не достаточно для достижения поставленных производственных целей. Необходимо также эффективно управлять их использованием в производственном процессе. Данное обстоятельство определяет объективную необходимость наличия в управленческом персонале СО высококвалифицированных менеджеров на различных уровнях иерархии организационной системы управления. Менеджерам необходимо учитывать, что эффективность использования производственного потенциала СО зависит не только и не столько от имеющихся у него возможностей и имеющихся в наличии материальных ресурсов, но и от их способностей эффективно задействовать эти возможности в производственном процессе с целью создания пользующейся спросом строительной продукции и получения максимальной прибыли.
4. Эффективность результатов реализации потенциальных возможностей СО определяются ее организационной структурой управления и характером взаимодействия в ней функциональных подразделений. Наиболее эффективные условия, с точки зрения полноты и целенаправленности использования производственного потенциала в производственной деятельности в нестабильной экономической среде могут обеспечить сетевые формы организационного управления. Это обусловлено тем, что с одной стороны, они позволяют каждому менеджеру принимать самостоятельные решения, с другой стороны, при возникновении нестандартных ситуаций переходить к коллективному обсуждению принимаемых решений за счет развитых горизонтальных связей [7].

Важную роль в повышении эффективности использования производственного потенциала СО играет управление сбалансированным вводом в производственный процесс факторов производства и, в первую очередь, человеческого капитала и активной части основных производственных фондов [8]. Отмеченное выше обстоятельство связано с тем, что управление всеми бизнес-процессами в конечном итоге сводится к управлению взаимодействием деятельности людей и средств производства в производственном процессе, а также получением и распределением прибыли. На первое место в этом процессе ставится умение людей эффективно использовать в производстве имеющиеся у них средства производства и материальные ре-

сурсы для получения максимально возможной прибыли. Таким образом, человеческий капитал является одним из основных факторов развития производственного потенциала различных производственных систем, в том числе и СО.

Особые цели управления производственным потенциалом определяются:

- достижением высокой способности его адаптации к изменяющимся требованиям потребителей и спросу на производимую строительную продукцию, т.е. способностью переключаться на производство новой строительной продукции пользующейся повышенным спросом;
- точным определением объемов неудовлетворенного рыночного спроса, требований потребителей и объемов производства с учетом имеющихся у СО потенциальных возможностей;
- ростом уровня конкурентоспособности производственного потенциала и его восприимчивости к последним достижениям НТП;
- освоением новых сегментов рынка строительной продукции и т.д.

Именно в мобильности или в способности приспосабливаться к спросу на рынке и своевременно реагировать на изменения его требований путем сбалансированной структурной перестройки производственного потенциала и его развитие в требуемых направлениях определяется основной фактор эффективного управления развитием потенциальных возможностей СО в изменяющихся условиях экономической среды.

Успешная работа СО во многом начинается с определения рыночных позиций и характера поведения на рынке, а также с выработки на этой основе предпринимательской стратегии и тактики, приводящей оптимальным образом к достижению принятых тактических целей управления, а через них к достижению стратегической цели развития производственного потенциала [9]. Иначе говоря, она начинается с оптимальной балансировки и нормирования материальных ресурсов, вводимых в производство с целью получения максимальной прибыли с учетом условий, сложившихся в экономической среде СО.

Методы исследования. Управление развитием производственного потенциала строительной организации на ситуационной основе. Необходимо отметить, что как правило, в мировой практике основные результаты деятельности производственных систем, в том числе и СО определяются уровнем получаемых доходов [10].

Доходы обычно, сопоставляются с вкладываемыми в производство ресурсами, и на этой основе исчисляются показатели эффективность работы СО. Различные соотношения доходов и расходов при сопоставлении с соответствующими стандартами, определяющими желаемое состояние строительного производства и дают возможность оценить эффективность развития и использования производственного потенциала СО. Такая оценка проводится на основе ряда показателей и нормативов, достигая которые, СО становится конкурентоспособной на выбранном сегменте рынка строительной продукции. В качестве метода разработки производственных стандартов эффективности в настоящее время широко используется метод, основанный на экспертных балльных оценках [11].

При существенном изменении рыночных условий функционирования, что наблюдается в настоящее время в связи с введенными против страны санкциями, в соответствии с этим должны изменяться и стандарты, определяющие желаемое состояние производственного потенциала СО. Очевидно, что любая СО, при заданных объемах производства, должна стремиться к обеспечению мощности своего производственного потенциала, равной желаемой мощности, определяемой с учетом состояния внешней и внутренней составляющих экономической среды, а также накопленного опыта управления.

Следовательно, используя опыт высококвалифицированных менеджеров и экспертов можно построить ситуационную модель управления развитием производственного потенциала СО в нестабильной экономической среде.

В этом случае целевая $S_{Ц}$ и текущая $S_{Т}$ ситуации будет определяться соответственно вектором желаемых $\langle G \rangle = \langle a_1, a_2, \dots, a_5 \rangle$ и фактических $\langle F \rangle = \langle a^*_1, a^*_2, \dots, a^*_5 \rangle$ оценок состояния

всех составляющих производственного потенциала. Здесь $a^*_1, a^*_2, \dots, a^*_5$ - соответственно требуемые состояния трудовых ресурсов, активной части основных производственных фондов, производственных технологий, энергетических ресурсов и информационного ресурса. В этом случае, правила вывода, позволяющие на ситуационной основе оперативно выявить организационно экономические и организационно-технические управленческие мероприятия, которые являются по данным экспертов наиболее эффективными в сложившейся ситуации экономической среды S_{Σ} для устранения различий между ситуациями S_T и S_{Π} , будут иметь следующую структуру и содержание:

« Если ситуация S_{Π} отличается от ситуации S_T по оценке состояния элемента производственного потенциала a_i на величину, превышающую допустимое значение отклонения, а состояние экономической среды определяется ситуацией $S_{j\Sigma}$, то для преобразования ситуации S_T в ситуацию S_{Π} следует выполнить управленческие мероприятия $b_{ij}, i=1,2,\dots,5; j=1,2,\dots,m$ ».

Совокупность таких правил вывода для каждого элемента производственного потенциала СО $a_i, i=1,2,\dots,5$ и будет определять ситуационную модель управления производственного потенциала СО в различных ситуациях $S_{j\Sigma}$ экономической среды, для которых построена эталонная или желаемая модель состояния ее производственного потенциала. Необходимо также отметить, что желаемое состояние S_{Π} производственного потенциала СО зависит от реализуемых объемов производства, видов строительно-монтажных работ выполняемых в текущий момент времени и условия сбалансированности вводимых в производство факторов. При этом, следует иметь в виду, что в процессе сбалансированного роста различных элементов производственного потенциала СО необходимо иметь внутрипроизводственные резервы, обеспечивающие гибкость использования производственного потенциала в непредвиденных обстоятельствах экономической среды.

Оценка эффективности загрузки в производственном процессе элементов производственного потенциала. Огромная и неоспоримая роль производственного потенциала в повышении эффективности производственной деятельности СО предопределяет необходимость эффективного управления процессом его использования в различных изменяющихся ситуациях экономической среды, что, в свою очередь, требует оценки эффективности загрузки всех его элементов.

Поскольку производственный потенциал СО представляет собой сложную многофакторную систему, то, очевидно, что уровень эффективности загрузки его элементов будет характеризоваться различными показателями ее оценки. Важную роль среди данных показателей играют показатели загрузки в производственном процессе отдельных элементов производственного потенциала, которые определяют фон эффективности его использования в производственном процессе [12-13].

За методическую базу их исчисления можно принять соотношение результатов с затратами вводимых в производство факторов в денежном выражении. Рассмотрим методику получения данных оценок с учетом среднего коэффициента загрузки имеющейся у СО потенциальных возможностей на примере используемых в производственном процессе средств производства. При этом, показатели эффективности использования различных элементов производственного потенциала СО, при необходимости, должны также обеспечивать возможность сравнения между собой потенциальных возможностей различных строительных организаций.

Обсуждение результатов. Для использования указанной выше методики необходимо выбрать показатель для оценки конечных результатов функционирования производственного потенциала СО. Очевидно, что в конечном результате использования производственного потенциала СО должно найти отражение его экономическая и социальная роль в развитии строительного производства, которая заключается в условиях рынка в наиболее полном удовлетворении потребностей заказчиков строительной продукции. В этой связи, за конечные результаты функционирования производственного потенциала СО целесообразно принять объемы произведенной с его помощью строительной продукции, которая удовлетворяет по качеству своим потребителям.

В современных экономических условиях главным показателем удовлетворения спроса потребителей строительной продукции является полное и своевременное выполнение договорных обязательств по вводу строящихся объектов и сдачи их в эксплуатацию.

Далее будем исходить из того, что наиболее распространенным показателем уровня использования в производственном процессе активной части основных производственных фондов является фондоотдача, которая определяется по следующей общепринятой формуле [14-15]:

$$O_{\phi} = \frac{V}{C_{o\phi}}, \quad (1)$$

где, V – конечный результат функционирования производственного потенциала (объемы произведенной в отчетном периоде продукции в денежном выражении); $C_{o\phi}$ – стоимость использованных в производственном процессе средств труда.

Для оценки эффективности проводимых организационно-экономических и организационно-технических управленческих мероприятий, направленных на повышение эффективности использования активной части основных производственных фондов в процессе производства будем использовать выражение (1), в которое подставим полученное в результате этих мероприятий положительное приращение объемов производства ΔV при неизменной стоимости введенных в производственный процесс средств производства $C_{o\phi}$.

Недостатком получаемых таким образом оценок является то, что они являются итоговыми и по этой причине не раскрывают картины эффективности управления использованием активной части основных производственных фондов в производственном процессе на различных этапах отчетного периода времени.

Для получения более адекватных оценок весь исследуемый период времени T разобьем на n интервалов Δt_i , $i=1, n$ на каждом из которых величина коэффициента загрузки η_i активной части основных производственных фондов является более или менее величиной постоянной. Такое разбиение целесообразно провести, разделив производственный процесс на циклы, на каждом из которых применяется средства производства одного и того же вида. Тогда, в общем случае коэффициент загрузки η_i активной части основных производственных фондов будет варьировать от нуля до единицы и вычисляется как отношение производительности $Q_i + \Delta Q_i$ задействованной в производстве активной части основных производственных фондов i -го вида полученной с учетом ее прироста ΔQ_i за счет эффективности управления к общей производительности данного вида средств труда Q_i^* :

$$\eta_i = \frac{Q_i + \Delta Q_i}{Q_i^*}.$$

В этом случае показатель фондоотдачи O_i на исследуемом интервале времени Δt_i будет определяться согласно следующему выражению:

$$O_i = \eta_i \frac{V_i}{C_i},$$

где, V_i – объемы производства, полученные в результате работы производственного потенциала на интервале времени Δt_i ; C_i – стоимость активной части основных производственных фондов, использованных в производственном процессе на интервале времени Δt_i .

Отсюда можно найти среднее значение фондоотдачи O_{cp} в отчетном периоде времени T или эффективность использования активной части основных производственных фондов в данном периоде:

$$O_{\text{CP}} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i O_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i \mu_i (V_i / C_i)}{n},$$

где, $\mu_i = \Delta t_i / T$ – доля времени, в течение которого коэффициент загрузки в производственном процессе соответствующих средств труда, является константой, равной η_i .

Для определения промежутков времени μ_i можно использовать модель теории массового обслуживания, имитирующей процесс функционирования СО и позволяющей определить финальные вероятности ее пребывания в различных допустимых состояниях в течение отчетного периода времени T . Указанные финальные вероятности и интерпретируются как доля времени пребывания СО в соответствующем им состоянии [16].

Наряду с фондоотдачей целесообразно использовать также и другие показатели эффективности эксплуатации активной части основных производственных фондов. Как правило, такие показатели характеризуют использование активной части основных производственных фондов как во времени (экстенсивное использование), так и по производительности (интенсивное использование). Среди показателей экстенсивной загрузки наиболее часто используются показатели в виде доли фактически работающих средств производства в составе всего имеющегося в наличии парка активной части основных производственных фондов, коэффициент сменности работы машин и оборудования и т.д. [17-18].

Следует отметить, что коэффициент сменности работы строительной техники оценивает экстенсивное использование средств производства, причем с довольно низкой степенью точности [19-22]. Тем не менее, данный показатель признан и привлекает к себе большое внимание различных исследователей, поскольку он в явной форме показывает связь между имеющимися у СО средствами труда, объемами выполняемых подрядных работ и производственным персоналом. Благодаря этому коэффициенту можно сделать вывод о степени сбалансированности таких двух важнейших элементов производственного потенциала как активная часть основных производственных фондов и трудовых ресурсов.

Далее, учитывая, что спрос на экономические ресурсы в условиях рынка складывается так же, как и на любые другие товары, но при этом спрос определяется как производная, связанная главным образом со спросом на продукцию, производимую с применением данного ресурса. Отсюда с очевидностью следует, что использование каждой дополнительной единицы в допустимых законом убывающей отдачи пределах, какого-либо фактора производства при неизменной величине других факторов дает определенное приращение общего объемов производства. Однако в этом случае увеличиваются и издержки производства. Следовательно, в качестве показателя эффективности эксплуатации активной части основных производственных фондов можно рассматривать предельные издержки на ресурс, которые исчисляются путем деления величины изменений в общих издержках на данный ресурс, на величину изменений в количестве применяемого ресурса.

Однако, введя в производство сбалансированные мощности различных элементов производственного потенциала, СО может минимизировать издержки производства. Известно, что такая минимизация достигается, если для вводимых факторов производства выполняется следующее условие [22]:

$$\frac{MP_k}{P_k} v_k = \frac{MP_c}{P_c} v_c = \dots = \frac{MP_m}{P_m} v_m,$$

где MP_k, MP_c, \dots, MP_T – соответственно предельные продукты основных производственных фондов, труда и технологий; P_k, P_c, \dots, P_T – соответственно цена единицы капитала, труда и производственных технологий; v_k, v_c, \dots, v_T – объемы соответствующих факторов производства, вводимых в производственный процесс. Данное соотношение является условием балансировки различных элементов производственного потенциала СО вводимых в производственный процесс.

Однако показатель производства продукции на единицу примененной активной части основных производственных фондов недостаточен для всесторонней характеристики эффективности использования средств труда, стоимость которых в процессе производства переносится на произведенную продукцию частями, но которые участвуют в производственном процессе всей своей физической массой. Поэтому показатель фондоотдачи введенной в производственной процесс активной части основных производственных фондов периодически целесообразно дополнять показателем отдачи их потребления. Для получения такой оценки часто используется следующий известный показатель [12-13]:

$$O_{ПФ} = \frac{V}{A}, \quad (2)$$

где, A_p – амортизационные отчисления на полное восстановление активной части основных производственных фондов.

Среднее значение данного показателя O_{CP} в отчетном периоде T можно представить в следующем образом:

$$O_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_i \mu_i (V_i)}{An}.$$

При оценке эффективности использования активной части основных производственных фондов на основе их фондоотдачи целесообразно также учитывать и затраты СО, связанные с их модернизацией. Проводя модернизацию активной части основных производственных фондов строительная организация, повышая их качество и технический уровень, в итоге повышает производительность и практически увеличивает объемы вводимых в производственный процесс средств производства. Принимая во внимание тот факт, что подобные затраты не суммируются в течение жизненного цикла или периода эксплуатации активной части основных фондов, определить отдачу затрат на их модернизацию за весь срок эксплуатации не представляется возможным. По этой причине расчет показателя роста фондоотдачи средств труда ΔO_{mf} за счет их модернизации можно определить по приросту значений аргументов (2) следующим образом:

$$\Delta O_{mf} = \frac{\Delta V_M}{3_{mf}},$$

где ΔV_M – прирост в отчетном периоде объемов производства, дополнительно полученных в результате модернизации средств труда; 3_{mf} – затраты СО в отчетном периоде на модернизацию активной части основных производственных фондов.

Вывод. Резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующие основные выводы.

1. Предложенная технология ситуационного управления целенаправленным развитием различных элементов производственного потенциала, опираясь на накопленный передовой опыт эффективного управления производственной деятельностью, обеспечивает возможность эффективного функционирования строительных организаций в нестабильной экономической среде.

2. Разработанная методика оценки эффективности загрузки активной части основных производственных фондов позволяет управлять сбалансированным развитием производственного потенциала и вводом в производственный процесс факторов производства и на этой основе организовать эффективную производственную деятельность СО в изменяющихся условиях современного рынка.

3. Методика оценки эффективности использования в производственном процессе активной части основных производственных фондов без принципиальных изменений может быть также использована для оценки эффективности функционирования в производственном процессе и других элементов производственного потенциала СО.

Библиографический список:

1. Антоненко Г.Я., Калишук Д.А. Производственный потенциал предприятий строительной отрасли / Под общей редак. Б.С.Стефанова - Киев, 2007. - 280 с.
2. Василенко Ю.П. Факторы и эффективность использования производственного потенциала. М., 2011. - 310с.
3. Battese, G.E. and Coelli, T.J. Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies With a Generalised Frontier Production Function and Panel Data// *Journal of Econometrics*. 1988. № 38. С. 387-399.
4. Асаул А.Н., Морозова И.Е., Поляда Н.И., Фролов В.И. Стратегическое планирование развития строительной организации. СПб.: СПбГАСУ, 2009. – 163 с.
5. Авдеенко В.Н., Котлов В.А. Производственный потенциал промышленного предприятия. – М.: Экономика, 1989. -208 с.
6. Иванов Н.И. Производственный потенциал: обновление и использование. - Киев, 2010. - 160 с.
7. Мелехин В.Б., Исмаилова Ш.Т. Сетевые организационные структуры управления строительным предприятием // *Экономика строительства*. 2004. № 7. С. 14-23.
8. Мелехин В.Б., Мелехин П.В. Методика управления сбалансированным ростом строительного производства // *Экономика строительства*. 2009. №3. С. 18-22.
9. Мелехин В.Б., Гамзатов А.Я. Анализ и оптимизация рыночных позиций строительного предприятия в нестабильной экономической среде// *Экономика и предпринимательство*. 2015. № 9. Часть 2. С. 622-627.
10. Гуськов С.В., Графова Г.Ф. Оценка эффективности производственно-хозяйственной деятельности организаций. - М.: Академия, 2007. -192 с.
11. Баканов М.И., Шеремет А.Д. Теория экономического анализа. - М.: Финансы и статистика, 2001. - 416 с.
12. Донец Ю.Ю. Эффективность использования производственного потенциала. - Киев.: Знание, 2011. - 123с.
13. Крассовский В.П. Экономический потенциал: резервы и отдача. - М.: Экономика, 2006. - 250 с.
14. Спирин В.С. Анализ экономического потенциала предприятия. - М.: Финансы и статистика, 2010. - 295с.
15. Battese, G.E. and Coelli, T.J. (1992), "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India", *Journal of Productivity Analysis*. 1992. № 3. С. 153-169.
16. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. –М.: Наука, 1980. -208 с.
17. Архипов В.М. Проектирование производственного потенциала объединений (теоретические аспекты). - СПб.: Изд. СПбГУ, 2004. - 266 с.
18. Старовойтов М.К., Фомин П.А. Особенности оценки потенциала промышленных предприятий. // *Проблемы теории и практики управления*. 2003. № 6. С16 - 22.
19. Aigner D.J., Lovell C.A.K. and Schmidt P. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models // *Journal of Econometrics*. 1977. № 6. С. 21-37.
20. Лапин Е.В. Оценка экономического потенциала предприятия. - Сумы: ИТД "Университетская книга", 2008. - 360с.
21. Battese, G.E., Coelli, T.J. and Colby, T.C. Estimation of Frontier Production Functions and the Efficiencies of Indian Farms Using Panel Data From ICRISAT's Village Level Studies// *Journal of Quantitative Economics*. 1989.№ 5. С. 327-348.
22. Мелехин В.Б., Далгатов Д.М.З., Мелехин П.В. Влияние сбалансированного ввода производственных факторов на объемы выполняемых подрядных работ // *Экономика строительства*. 2008. №4. С. 15-19.

References:

1. Antonenko G.Ya., Kalishuk D.A. Proizvodstvennyi potentsial predpriyatii stroitel'noi otrasli. Kiev; 2007. 280 s. [Antonenko G.Ya., Kalishuk D.A. Production potential of enterprises in the construction industry.Kiev; 2007. 280 p. (In Russ.)]
2. Vasilenko Yu.P. Faktory i effektivnost' ispol'zovaniya proizvodstvennogo potentsiala. M.; 2011. 310 s. [Vasilenko Yu.P. Factors and efficiency of using the production potential. M.; 2011. 310 p. (In Russ.)]
3. Battese G.E., Coelli T.J. Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies With a Generalised Frontier Production Function and Panel Data. *Journal of Econometrics*. 1988;38:387-399.
4. Asaul A.N., Morozova I.E., Polyada N.I., Frolov V.I. Strategicheskoe planirovanie razvitiya stroitel'noi organizatsii. SPb.: SPbGASU; 2009. 163 s. [Asaul A.N., Morozova I.E., Polyada N.I., Frolov V.I.Strategic planning of development of the building organization. SPb.: SPbGASU; 2009. 163 p. (In Russ.)]
5. Avdeenko V.N., Kotlov V.A. Proizvodstvennyi potentsial promyshlennogo predpriyatiya. M.: Ekonomika; 1989. 208 s. [Avdeenko V.N., Kotlov V.A. Production potential of an industrial enterprise. M.: Ekonomika; 1989. 208 p. (In Russ.)]
6. Ivanov N.I. Proizvodstvennyi potentsial: obnovenie i ispol'zovanie. Kiev; 2010. 160 s. [Ivanov N.I. Production potential: renewal and use. Kiev; 2010. 160 p. (In Russ.)]

7. Melekhin V.B., Ismailova Sh.T. Setevye organizatsionnye struktury upravleniya stroitel'nym predpriyatiem. *Ekonomika stroitel'stva*. 2004;7:14-23. [Melekhin V.B., Ismailova Sh.T. Network organisational structures of management of the building enterprise. *Economics of Construction*. 2004;7:14-23. (In Russ.)]
8. Melekhin V.B., Melekhin P.V. Metodika upravleniya sbalansirovannym rostom stroitel'nogo proizvodstva. *Ekonomika stroitel'stva*. 2009;3:18-22. [Melekhin V.B., Melekhin P.V. Methods of managing a balanced growth of construction production. *Economics of Construction*. 2009;3:18-22. (In Russ.)]
9. Melekhin V.B., Gamzatov A.Ya. Analiz i optimizatsiya rynochnykh pozitsii stroitel'nogo predpriyatiya v nestabil'noi ekonomicheskoi srede. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2015;9:622-627. [Melekhin V.B., Gamzatov A.Ya. Analysis and optimisation of market positions of a construction company in an unstable economic environment. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2015;9:622-627. (In Russ.)]
10. Gus'kov S.V., Grafova G.F. Otsenka effektivnosti proizvodstvenno-khozyaistvennoi deyatel'nosti organizatsii. M.: Akademiya; 2007. 192 s. [Gus'kov S.V., Grafova G.F. Evaluation of the efficiency of production and economic activities of organisations. M.: Akademiya; 2007. 192 p. (In Russ.)]
11. Bakanov M.I., Sheremet A.D. Teoriya ekonomicheskogo analiza. M.: Finansy i statistika; 2001. 416 s. [Bakanov M.I., Sheremet A.D. The theory of economic analysis. M.: Finansy i statistika; 2001. 416 p. (In Russ.)]
12. Donets Yu.Yu. Effektivnost' ispol'zovaniya proizvodstvennogo potentsiala. Kiev: Znanie; 2011. 123 s. [Donets Yu.Yu. Efficiency of using the production potential. Kiev: Znanie; 2011. 123 p. (In Russ.)]
13. Krassovskii V.P. Ekonomicheskii potentsial: rezervy i otdacha. M.: Ekonomika; 2006. 250 s. [Krassovskii V.P. Economic potential: reserves and returns. M.: Ekonomika; 2006. 250 s. (In Russ.)]
14. Spirin V.S. Analiz ekonomicheskogo potentsiala predpriyatiya. M.: Finansy i statistika; 2010. 295 s. [Spirin V.S. Analysis of the economic potential of the enterprise. M.: Finansy i statistika; 2010. 295 p. (In Russ.)]
15. Battese G.E., Coelli T.J. Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*. 1992;3:153-169.
16. Venttsel' E.S. Issledovanie operatsii: zadachi, printsipy, metodologiya. M.: Nauka; 1980. 208 s. [Venttsel' E.S. Research of operations: tasks, principles, methodology. M.: Nauka; 1980. 208 p. (In Russ.)]
17. Arkhipov V.M. Proektirovanie proizvodstvennogo potentsiala ob'edinenii (teoreticheskie aspekty). SPb.: Izd. SPbGU; 2004. 266 s. [Arkhipov V.M. Designing the production potential of associations (theoretical aspects). SPb.: Izd. SPbSU; 2004. 266 p. (In Russ.)]
18. Starovoitov M.K., Fomin P.A. Osobennosti otsenki potentsiala promyshlennykh predpriyatii. *Problemy teorii i praktiki upravleniya*. 2003;6:16 - 22. [Starovoitov M.K., Fomin P.A. Features of the assessment of the industrial enterprise potential. *Theoretical and Practical Aspects of Management*. 2003;6:16 - 22. (In Russ.)]
19. Aigner D.J., Lovell C.A.K., Schmidt P. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*. 1977;6:21-37.
20. Lapin E.V. Otsenka ekonomicheskogo potentsiala predpriyatiya. Sumy: Universitetskaya kniga; 2008. 360 s. [Lapin E.V. Assessment of the economic potential of the enterprise. Sumy: Universitetskaya kniga; 2008. 360 p. (In Russ.)]
21. Battese G.E., Coelli T.J., Colby T.C. Estimation of Frontier Production Functions and the Efficiencies of Indian Farms Using Panel Data From ICRIAT's Village Level Studies. *Journal of Quantitative Economics*. 1989;5:327-348.
22. Melekhin V.B., Dalgatov D-M.Z., Melekhin P.V. Vliyanie sbalansirovannogo vvoda proizvodstvennykh faktorov na ob'emy vypolnyaemykh podryadnykh rabot. *Ekonomika stroitel'stva*. 2008;4:15-19. [Melekhin V.B., Dalgatov D-M.Z., Melekhin P.V. The influence of a balanced input of production factors on the volume of contract work performed. *Economics of Construction*. 2008;4:15-19. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Исмаилов Рустам Тагирович – кандидат экономических наук, доцент, докторант, кафедра экономической безопасности, налогообложения и бизнес-информатики.

Магомедов Арбули Гунашевич – доктор экономических наук, профессор.

Information about the authors:

Rustam T. Ismailov – Cand. Sci. (Economics), Assoc. Prof., Department of Economic Security, Taxation and Business Informatics.

Arbuli G. Magomedov – Dr. Sci. (Economics), Prof.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.07.2017.

Принята в печать 31.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.07.2017.

Accepted for publication 31.08.2017.

Для цитирования: Исмаилова Ш.Т., Мелехин В.Б., Хачумов В.М. Информационно-аналитическая модель выбора методов управления по степени их влияния на эффективность производственной деятельности строительных организаций. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):210-221. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-210-221

For citation: Ismailova Sh.T., Melekhin V.B., Hachumov V.M. Information-analytical model for the selection of management methods according to the degree of their influence on efficiency of production activity of construction organisations. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 210-221. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-210-221

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 316.33

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-210-221

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫБОРА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПО СТЕПЕНИ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Исмаилова Ш.Т.¹, Мелехин В.Б.², Хачумов В.М.³

¹⁻²Дагестанский государственный технический университет,
367026. г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия,

³Институт системного анализа РАН,
117312. г. Москва, пр. 69-летия Октября, 9, Россия,

¹e-mail:shani717@mail.ru, ²e-mail: pashka1602@rambler.ru, e-mail: ³vmh@isa.ru

Резюме. Цель. В статье решаются актуальные проблемы, связанные с принятием не-программируемых решений в процессе управления производственной деятельностью строительной организации в нестабильных, априори недоопределенных условиях экономической среды. Целью исследования являлась разработка инструментальных средств и методов, позволяющих формировать аналитические модели для оценки эффективности текущего состояния строительного производства, и на этой основе выявлять наиболее эффективные методы управления поведением строительной организации в нестабильных условиях рыночной среды. **Методы.** Методология проведенного исследования базируется на применении математического аппарата нечетких множеств для обработки экспертных данных и формирования на этой основе лингвистических функций, определяющих аналитическую зависимость между различными показателями производственной деятельности строительной организации. **Результат.** Разработан метод с нечеткой логикой обработки экспертных данных, позволяющий сформировать аналитическую зависимость между показателями эффективности производственной деятельности строительной организации и параметрами управления, определяющими ее текущее состояние. Разработан метод выбора на альтернативной основе наиболее эффективного способа управления строительной организацией. **Вывод.** Разработана информационно-экономическая модель ситуационного управления развитием строительной организации. Предложенные инструментальные средства и методы управления позволяют организовать эффективное управление производственной деятельностью строительной организации, и на этой основе повысить эффективность строительного производства в различных условиях экономической среды при наличии в ней спонтанно возникающих возмущающих факторов. Такой подход к организации управления позволяет без принципиальных изменений организационной структуры сформировать эффективные подсистемы управления и другими видами деятельности строительной организации по отклонению и возмущению в нестабильных условиях современной рыночной среды.

Ключевые слова: строительная организация, производственная деятельность, показатели эффективности, возмущающие факторы, параметры управления, лингвистические функции, эффективное управление

ECONOMIC SCIENCE

INFORMATION-ANALYTICAL MODEL FOR THE SELECTION OF MANAGEMENT METHODS ACCORDING TO THE DEGREE OF THEIR INFLUENCE ON EFFICIENCY OF PRODUCTION ACTIVITY OF CONSTRUCTION ORGANISATIONS

Shani T. Ismailova,² *Vladimir B. Melekhin*², *Vyacheslav M. Khachumov*³

¹⁻²Daghestan State Technical University,

¹⁻²70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

³Institute system analysis by wounds,

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

¹e-mail: shani717@mail.ru, ²e-mail: pashka1602@rambler.ru, e-mail: ³vmh@isa.ru

Abstract Objectives. Relevant problems related to the adoption of unprogrammed solutions in the process of managing the production activity of a construction enterprise in unstable, a priori underdetermined economic environments are addressed. The aim of the study is to develop tools and methods for assessing the effectiveness of the current state of construction production and on this basis to identify the most effective management of a construction organisation under unstable market conditions. **Methods.** The methodology of the conducted research is based on the application of the mathematical apparatus of fuzzy sets for the processing of expert data and the formation on this basis of linguistic functions that determine the analytical relationship between various indicators of the production activity of the construction organisation. **Results.** A method is developed for processing expert data using fuzzy logic, making it possible to form an analytical relationship between the performance indicators of the production activity of the construction organisation and the management parameters that determine its current state. An alternative means for selecting the most effective management approach, accounting for its influence on the efficiency of the production activity of the construction organisation, is developed. **Conclusion.** An information-economic model of situational management of the development of a construction organisation is developed. The proposed tools and methods allow the effective management of the production activity of the construction organisation to be organised, and on this basis to increase the efficiency of production under different economic conditions in the presence of spontaneously arising perturbative factors. The methodical approach to the organisation of management of the production activity efficiency of the construction organisation allows the effective subsystems of management of other activities of the construction organisation concerning the rejection and indignation in the unstable conditions of the modern market environment to be formed without fundamental changes in the organisational structure.

Keywords: construction organisation, production activity, performance indicators, disturbing factors, management parameters, linguistic functions, efficient management

Введение. Выбор на альтернативной основе наиболее эффективных организационно-управленческих мероприятий по результатам оценки их влияния на эффективность производственной деятельности строительной организации (СО) является одной из актуальных проблем комплексного экономического анализа [1] и управления сложными социально-экономическими объектами в нестабильных условиях экономической среды.

Постановка задачи. Рассмотрим в качестве основного показателя эффективности производственной деятельности получаемую СО прибыль P . Допустим, на рынке наблюдается тенденция, когда на производимую СО продукцию увеличился спрос на объемы, равные ΔV^* , например, за счет роста покупательской способности потребителей на величину, равную C^* . В этом случае у СО появляется возможность получения дополнительной прибыли следующими двумя альтернативными способами:

- увеличить объемы производства V на величину неудовлетворенного спроса ΔV^* , реализовав продукцию не изменяя ее цены C ;
- увеличить цену C производимой продукции с учетом покупательской способности C^* ее потребителей на такую величину ΔC , которая позволяет сбалансировать спрос на рынке с объемами производимой CO продукции V путем снижения спроса без их изменений.

Очевидно, что данная задача выбора (как и ряд других аналогичных задач управления производственной деятельностью CO) в стабильных условиях экономической среды решается тривиально следующим образом:

$$\max(P_1, P_2) = \max(\Delta V(C - Z), (C + \Delta C - Z)V),$$

с учетом ограничений: $\Delta V \leq V^*$; $C + \Delta C \leq C^*$, где P_1, P_2 - получаемая CO прибыль соответственно в результате повышения объемов производства и цены на производимую продукцию; Z - затраты на производство и реализацию одной единицы производимой продукции, например, двухкомнатной квартиры.

Иначе обстоит дело в нестабильной, априори неопределенной экономической среде. Это обусловлено тем, что из-за высокой нестабильности и непредсказуемости событий и процессов, происходящих в среде в этом случае, решение приведенной выше задачи организационной системой управления CO сопровождается необходимостью принятия непрограммируемых управленческих решений в силу проявления в ней недоброкачественной неопределенности [2]. Другими словами, в условиях, когда невозможно в отчетном периоде получить достоверные статистические данные и, обработав их методами регрессионного анализа и временных рядов, выявить тенденции развития закономерностей экономической среды, необходимые для принятия эффективных управленческих решений.

Это привело к тому, что в современных системах организационного управления социально-экономическими объектами принятие решений в нестандартных ситуациях, как правило, осуществляется высококвалифицированными менеджерами, опираясь на собственный опыт и интуицию [3-4], а в лучшем случае на математические модели и методы для выбора наиболее эффективной альтернативы [5-6], если их удастся построить. Такая трудность связана с тем, что в условиях с недоброкачественной неопределенностью построение аналитических и математических моделей является достаточно сложной и не всегда решаемой проблемой [2]. Принятие же решений на интуитивной основе может привести к реализации не лучших управленческих решений, как с учетом микро, так и с учетом макроэкономических условий функционирования, т.к. оно не опирается на достоверные данные.

В этой связи, в последнее время для получения необходимой для принятия решений информации в условиях с недоброкачественной неопределенностью широкое распространение получила обработка экспертных данных с применением математического аппарата нечетких множеств. Однако отметим, что использование данного математического аппарата в системах управления сложными объектами для обработки информации направлено либо на получение на основе применения лингвистических переменных (ЛП) [7] качественных и количественных оценок отдельных мягких показателей, определяющих различные виды деятельности сложного объекта и построение на этой основе нечетких алгоритмов управления [8-9]. Либо на построение нечетко или интервально заданной зависимости между отдельными показателями исследуемого процесса [10-11], либо на построение уравнений, в том числе и регрессионных моделей с нечетко заданными коэффициентами [12-14].

Таким образом, отмеченные выше подходы к использованию математического аппарата нечетких множеств для обработки экспертных данных, полностью не снимают неопределенности, а принимаемые на их основе решения обладают достаточно низкой точностью. Это, в свою очередь, снижает возможности эффективного решения сложной задачи выбора на заданном множестве альтернатив в недоопределенных условиях функционирования. Кроме того, учитывая, что эффективность функционирования и состояние производственной деятельности CO , как правило, оценивается множеством взаимосвязанных между собой показателей эф-

фективности и влияющих на них параметров управления [15-16], возникает необходимость в построении многопараметрических аналитических математических моделей исследуемого объекта, например, в виде заданной системы уравнений с четко заданными коэффициентами.

В настоящей работе предпринята попытка обойти отмеченные выше трудности построения математических моделей и принятия непрограммируемых управленческих решений путем обработки экспертных данных и накопленного опыта управления с применением математического аппарата нечетких множеств путем построения на этой основе:

- однородной системы лингвистических функций (ЛФ)[15], позволяющих устанавливать связь между зависимой и независимыми переменными, как в нечеткой форме представления, так и в виде четко заданной аналитической зависимости;
- инструментальных средств выбора наиболее эффективных организационно-управленческих мероприятий, предварительно экстраполировав их влияние на повышение эффективности производственной деятельности СО.

Методы исследования. Построение многофакторной модели для оценки влияния параметров управления на эффективность производственной деятельности строительной организации.

Ранее отмечено, что в нестабильной экономической среде, как правило, для оценки эффективности текущего состояния производственной деятельности СО целесообразно использовать систему показателей. Кроме того, проводя анализ влияния различных управлений на эффективность деятельности СО необходимо учитывать, что на каждый оценочный показатель эффективности ее состояния интегрально влияет достаточно большое количество параметров состояния (управления) и возмущающих факторов экономической среды.

В этой связи, определение степени автономного влияния различных управлений на каждый показатель эффективности производственной деятельности СО является достаточно сложной проблемой, требующей предварительного анализа поведения различных параметров управления под воздействием различных организационно-управленческих мероприятий (управлений).

Для оценки влияния различных параметров управления $F = \{F_j\}, j = 1, 2, \dots, \varphi$ и обеспечивающих их эффективное регулирование управлений $U = \{U_Z\}, Z = 1, 2, \dots, m^*$, на показатели эффективности производственной деятельности СО ($\{\mathcal{E}_k\}, k = 1, 2, \dots, n$) возникает необходимость в построении многофакторной регрессионной модели, имеющей (для линейных объектов управления) в общем случае следующий вид:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 &= a_{10} + a_{11}F_1 + a_{12}F_3 + \dots + a_{1\varphi}F_{\varphi}; \\ \mathcal{E}_2 &= a_{20} + a_{21}F_1 + a_{22}F_3 + \dots + a_{2\varphi}F_{\varphi}; \\ &\dots \\ \mathcal{E}_n &= a_{n0} + a_{n2}F_1 + a_{n3}F_3 + \dots + a_{n\varphi}F_{\varphi}, \end{aligned} \tag{1}$$

где, $a_{k0}, k = 1, 2, \dots, n$ - коэффициенты пропорциональности, предусматривающие неучтенные в модели параметры управления; $a_{kj}, j = 1, 2, \dots, \varphi$ - коэффициенты, определяющие влияние j -го параметра управления на k -й показатель эффективности производственной деятельности СО. Следует отметить, что все изложенные ниже положения, естественным образом распространяются и на нелинейные объекты управления, только в этом случае меняется вид системы уравнений (1).

Учитывая, что в соответствии с содержанием показателей эффективности производственной деятельности СО может потребоваться, как снижение, так и рост их значений для обеспечения необходимого уровня эффективности производственной деятельности, все основные параметры управления $F = \{F_j\}, j = 1, 2, \dots, \varphi$, от которых зависят значения данных по-

казателей в текущих условиях экономической среды, целесообразно разбить на следующие две группы $F_1, F_2; F_1 \cup F_2 = F$:

- параметры управления $F_j \in F_1$, требующие реализации управленческих мероприятий $U_1 = \{U_{z_1}\}, Z_1 = 1, 2, \dots, m_1^*$, обеспечивающих максимально допустимое снижение их значений и, соответственно, требуемое изменение определенных показателей эффективности $\{\mathcal{E}_k\}, k = 1, 2, \dots, n$ с учетом заданных ограничений;
- параметры управления $F_j \in F_2$, требующие выполнения управленческих мероприятий $U_2 = \{U_{z_2}\}, Z_2 = 1, 2, \dots, m_2^*$ обеспечивающих максимально допустимый рост их значений и, соответственно, требуемое изменение показателей эффективности $\{\mathcal{E}_k\}, k = 1, 2, \dots, n$ с учетом заданных ограничений.

Рассмотрим методику построения модели (1) в общем виде на основе графиков одно-родной системы ЛФ. В общем случае ЛФ, позволяющие определить, как в нечеткой форме, так и с помощью аналитической зависимости характер влияния параметров управления на показатели эффективности ПО, определяются следующей пятеркой:

$$ЛФ = (H, ЛП_3, \{ЛП_{инз}, i = 1, 2, \dots, n\}, M, \Psi),$$

где, H – название ЛФ; $ЛП_3$ – зависимая ЛП, в рассматриваемом случае определяется соответствующим ЛФ показателем эффективности; $ЛП_{инз}$ – независимые ЛП, соответствующие i -м параметрам управления; M – матрица ЛФ, которая определяет соответствие между нечеткими значениями показателя эффективности и параметров управления; Ψ – график ЛФ, представляющий собой аналитическую зависимость между значениями соответствующего ЛФ показателя эффективности и параметров управления.

Для построения ЛФ, характеризующих изменения различных показателей эффективности производственной деятельности СО, играющих роль, в формируемой модели, зависимых ЛП и для всех параметров управления или независимых ЛП строятся лингвистические переменные с соответствующими им названиями. Например, ЛП(k) для показателя эффективности «Качество производимой продукции» будет определяться следующей четверкой:

$$ЛП(t) = (H, T, X, x),$$

где, H – название ЛП(k) «Качество производимой продукции»; T – терм множество ЛП(k) или множество ее словесных значений, которое определяется следующими нечеткими значениями $T = \{\text{«Очень низкое»}, \text{«Низкое»}, \text{«Среднее»}, \text{«Высокое»} \text{ и } \text{«Очень высокое качество продукции»}\}$; X – базовое множество значений ЛП(t), $X \in [x(\min), x(\max)]$ которое, как правило, ограничено и снизу и сверху, например, для строящейся лингвистической переменной «Качество производимой продукции» соответственно заданными техническими условиями на строительство объектов и покупательской способностью потребителей, т.к. рост качества сопровождается ростом себестоимости строительной продукции.

По значениям базовых множеств формируется шкалы численных значений соответствующих им ЛП, на которых по экспертным данным определяются термы и соответствующие им нечеткие множества; x – базовая переменная ЛП(t) или конкретное текущее значение качества производимой продукции.

Приведем алгоритм, позволяющий сформировать необходимые для построения регрессионной модели (1) лингвистические функции.

Входные переменные: множество используемых в модели параметров управления $F = \{F_j\}, j = 1, 2, \dots, \varphi$ и показателей эффективности $\{\mathcal{E}_k\}, k = 1, 2, \dots, n$ текущего состояния производственной деятельности СО. Допустим $\varphi = 5$, а $n = 8$.

Промежуточные переменные: нечеткие значения заданных параметров управления $F = \{F_i\}, i = 1, 8$ и показателей эффективности $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_k\}, k = 1, 5$, выявленные экспертным путем.

Выходные переменные: количественные значения коэффициентов $a_{ij}, i = 1,5; j = 1,8$ графиков ЛФ, образующих формируемую регрессионную модель (1).

Метод.

1. Выбрать структуру связи между заданными параметрами управления $\{F_i\}, i = 1,8$ и показателями эффективности СТП $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_k\}, k = 1,5$. Пусть структура данных связей определяется линейной многофакторной регрессионной моделью вида:

$$\begin{aligned}
 \mathcal{E}_1 &= a_{11}F_1 + a_{12}F_3 + \dots + a_{18}F_8; \\
 \mathcal{E}_2 &= a_{21}F_1 + a_{22}F_3 + \dots + a_{28}F_8; \\
 &\dots \\
 \mathcal{E}_n &= a_{n2}F_1 + a_{n3}F_3 + \dots + a_{n8}F_8,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где, a_{kj} – коэффициенты пропорциональности регрессионной модели.

3. Построить для каждого показателя эффективности $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_k\}, k = 1,2,\dots,5$ соответствующую ему ЛП с названием «Показатель эффективности \mathcal{E}_k ».
4. Построить для каждого заданного параметра управления $F_3 = \{F_j\}, j = 1,2,\dots,8$ соответствующую ему ЛП с названием «Параметр управления F_j ».
5. Сформировать по данным, полученным экспертным путем, матрицы ЛФ, в которых роль независимых ЛП играют показатели эффективности $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_k\}, k = 1,2,\dots,5$, а роль зависимых ЛП исполняют влияющие на них параметры управления $F_j \in F$. Например, пусть для показателя эффективности \mathcal{E}_1 сформирована матрица M (таблица 1).

Таблица 1. Матрица ЛФ для показателя эффективности \mathcal{E}_1 и параметров управления $F_j \in F_3$, сформированная по экспертным данным

Table 1. LF matrix for the indicator of efficiency and control parameters, formed according to expert data

Показатель эффективности \mathcal{E}_1	$T_i(\mathcal{E}_1)$	$T_1(\mathcal{E}_1)$	$T_2(\mathcal{E}_1)$	$T_3(\mathcal{E}_1)$	$T_4(\mathcal{E}_1)$	$T_5(\mathcal{E}_1)$
Параметр управления F_1	$T_i(F_1)$	$T_3(F_1)$	$T_4(F_1)$	$T_5(F_1)$	$T_5(F_1)$	$T_5(F_1)$
Параметр управления F_2	$T_i(F_2)$	$T_2(F_2)$	$T_2(F_2)$	$T_3(F_2)$	$T_3(F_2)$	$T_4(F_2)$

Параметр управления F_8	$T_i(F_8)$	$T_5(F_8)$	$T_4(F_8)$	$T_3(F_9)$	$T_3(F_9)$	$T_2(F_9)$

В таблице 1, например, столбец 3 означает, что среднему значению $T_3(\mathcal{E}_1)$ показателя эффективности \mathcal{E}_1 соответствуют большое значение $T_5(F_1)$ параметра управления F_1 , среднее значение $T_3(F_2)$ параметра управления F_2, \dots , среднее значение $T_3(F_8)$ параметра управления F_8 .

4. По проекциям на базовые шкалы из максимумов функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих термам зависимых и независимых ЛП (таблицу 1), определить соответствующие им наиболее вероятные численные значения лингвистических переменных, и на этой основе построить таблицы соответствий между численными значениями зависи-

мых $\varepsilon(T_j(\mathcal{E}_1))$ и независимых $f(T_j(F_j))$ ЛП. Например, для показателя эффективности \mathcal{E}_1 (таблица 2).

Таблица 2. Соответствие между количественными значениями $\varepsilon(T_j(\mathcal{E}_1))$ показателя эффективности \mathcal{E}_1 и количественными значениями $f(T_j(F_j))$ параметров управления $F_j \in F_3$

Table 2. Correspondences between the quantitative values of the performance indicator and the quantitative values of the control parameters

Показатель эффективности \mathcal{E}_1	$\varepsilon(T_1(\mathcal{E}_1))$	$\varepsilon(T_2(\mathcal{E}_1))$	$\varepsilon(T_3(\mathcal{E}_1))$	$\varepsilon(T_4(\mathcal{E}_1))$	$\varepsilon(T_5(\mathcal{E}_1))$
Параметр управления F_1	$f(T_1(F_1))$	$f(T_2(F_1))$	$f(T_3(F_1))$	$f(T_4(F_1))$	$f(T_5(F_1))$
Параметр управления F_2	$f(T_1(F_2))$	$f(T_2(F_2))$	$f(T_3(F_2))$	$f(T_4(F_2))$	$f(T_5(F_2))$

Параметр управления F_8	$f(T_1(F_8))$	$f(T_2(F_8))$	$f(T_3(F_8))$	$f(T_4(F_8))$	$f(T_5(F_8))$

В таблице 2, например, столбец 1 показывает, что каждому численному значению $\varepsilon(T_1(\mathcal{E}_1))$ показателя эффективности \mathcal{E}_1 , найденному по максимуму функции принадлежности нечеткого множества, определяющего интервал численных значений терма $T_1(\mathcal{E}_1)$ (первый столбец таблицы 1), соответствуют следующие численные значения параметров управления $f(T_1(F_1)), f(T_2(F_2)), \dots, f(T_5(F_5))$.

5. Проверить условие « $\varphi = n$ »: если условие выполняется, перейти к п.6; в противном случае, перейти к п.7.

6. Подставить количественные значения зависимых и независимых ЛП в уравнения (3), и путем их совместного решения определить коэффициенты a_{kj} графиков ЛФ $\Psi_k, k = 1, 2, \dots, 5$ ЛФ, образующие строящуюся математическую модель (2), перейти к п.8.

7. Обработать данные, полученные в таблицах типа 2, методами регрессионного анализа [16-17] и определить коэффициенты a_{kj} графиков ЛФ $\Psi_k, k = 1, 2, \dots, 5$, образующих формируемую математическую модель (2).

8. Конец.

Полученные таким образом графики ЛФ, используются в качестве уравнений в многофакторной регрессионной модели (2) и позволяют на основе факторного анализа [18-19] по методу цепных подстановок [20], установить характер автономного влияния различных параметров управления $F = \{F_j\}, j = 1, 2, \dots, \varphi$ на показатели $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_k\}, k = 1, m$ эффективности. Кроме того, ЛФ также позволяют определить на альтернативной основе наиболее эффективные управления $U = \{U_Z\}, Z = 1, m^*$, обеспечивающие требуемые изменения параметров управления $F = \{F_j\}, j = 1, 2, \dots, \varphi$ для перевода производственной деятельности СО в желаемое или наиболее эффективное, состояние в соответствующих текущих условиях экономической среды.

Обсуждение результатов. Оценка влияния управлений на эффективность производственной деятельности строительной организации и выбор наиболее эффективных организа-

ционно-управленческих мероприятий. В общем случае управление, состоящее из множества альтернативных организационно-управленческих мероприятий:

$$U = \{U_z\}, Z = 1, m^*,$$

$$U = (U_1 = \{U_1(z_1)\}, z_1 = 1, m_1^*) \cup (U_2 = \{U_2(z_2)\}, z_2 = 1, m_2^*),$$

как правило, опосредованно влияет на различные показатели эффективности $\mathcal{E} = \{\mathcal{E}_k\}, k = 1, m$, путем регулирования значений параметров управления:

$$F = \{F_j\}, j = 1, \varphi; F = (F_1^* = \{F_1^*(j_1)\}, j_1 = 1, \varphi_1) \cup (F_2^* = \{F_2^*(j_2)\}, j_2 = 1, \varphi_2).$$

Таким образом, опираясь на накопленный опыт управления, можно построить два следующих отношения: $G_1 \subseteq F_1^* \times U_1$ и $G_2 \subseteq F_2^* \times U_2$, где \times – векторное произведение множеств. Каждая пара первого вида $\langle F_1^*(j_1), U_1(z_1) \rangle \in G_1$ включает такие организационно-управленческие мероприятия $U_1(z_1)$, реализация которых позволяет получить положительное приращение $\Delta F_1^*(j_1)$ параметра управления $F_1^*(j_1)$ с учетом заданных ограничений, рост значений которого позитивно влияет на эффективность текущего состояния производственной деятельности. Каждая пара второго вида $\langle F_2^*(j_2), U_2(z_2) \rangle \in G_2$ включает такие организационно-управленческие мероприятия $U_2(z_2)$, реализация которых позволяет получить допустимое отрицательное приращение $-\Delta F_2^*(j_2)$ параметра управления $F_2^*(j_2)$ с учетом имеющихся ограничений, снижение значений которого также позитивно влияет на эффективность текущего состояния производственной деятельности, например, снижение себестоимости проводимых работ.

Элементы полученных выше отношений G_1 и G_2 удобно представить, соответственно, в виде следующих продукций:

$$\begin{aligned} D_{z_1} &: (F_1^*(j_1) \& U_1(z_1)) \rightarrow (F_1^*(j_1) + \Delta F_1^*(j_1)); \\ D_{z_2} &: (F_2^*(j_2) \& U_2(z_2)) \rightarrow (F_2^*(j_2) - \Delta F_2^*(j_2)), \end{aligned} \quad (3)$$

означающих, например, что если отработать управление $U_1(z_1)$, то параметр управления $F_1^*(j_1)$ получит положительное приращение, равное $\Delta F_1^*(j_1)$, где знак $\&$ означает отработку управления $U_1(z_1)$.

Это позволяет сформировать по первым одинаковым проекциям отношений G_1 и G_2 множества $D_{j_1} = \{D_{z_1}(j_1)\}, j_1 = 1, \varphi_1$ и $D_{j_2} = \{D_{z_2}(j_2)\}, j_2 = 1, \varphi_2$, которые определяют управления $U_{j_1}(z_1)$ и $U_{j_2}(z_2)$, позволяющие регулировать значения, соответственно, отдельных параметров управления $F_1^*(j_1)$ и $F_2^*(j_2)$ или эффективность производственной деятельности СО.

Таким образом, для каждого отдельного параметра управления $F_1^*(j_1)$ и $F_2^*(j_2)$, используя продукции (3), входящие соответственно во множества D_{j_1} и D_{j_2} , можно сформировать соответствующие им множества троек следующего вида:

$$\begin{aligned} D_{j_1}^* &= \{\langle U_1(z_1) : F_1^*(j_1), F_1^*(j_1) + \Delta F_1^*(j_1) \rangle, z_1 = 1, \varphi_1^*\}; \\ D_{j_2}^* &= \{\langle U_2(z_2) : F_2^*(j_2), F_2^*(j_2) - \Delta F_2^*(j_2) \rangle, z_2 = 1, \varphi_2^*\}, \end{aligned}$$

которые определяют значения отдельных параметров управления $F_1^*(j_1) \in D_{j_1}^*$ и $F_2^*(j_2) \in D_{j_2}^*$ до и после отработки соответствующих управлений $U_1(z_1) \in D_{j_1}^*, z_1 = 1, \varphi_1^*$ и $U_2(z_2) \in D_{j_2}^*, z_2 = 1, \varphi_2^*$.

Отсюда, используя модель (2) методом цепной подстановки можно для каждого управления $U_1(z_1) \in D_{j_1}^*$ или $U_2(z_2) \in D_{j_2}^*$ определить степень $\rho(U_1^*(z_1))$ их опосредованного влия-

ния, соответственно, $\rho(U_1^*(z_1))$ и $\rho(U_1^*(z_1))$ на различные показатели эффективности производственной деятельности и на этой основе выбрать наиболее эффективные методы управления в текущий момент времени в соответствии с текущим состоянием экономической среды, используя следующий метод.

Входные переменные: базовый (используемый для проведения факторного анализа в текущий момент времени) параметр управления F_1^* и соответствующее ему множество троек $D_{j_1}^* = \{ \langle U_1(z_1) : F_1^*(j_1), F_1^* + \Delta F_1^*(j_1) \rangle \}, z_1 = 1, \varphi_1^*$.

Промежуточные переменные: значения $\Theta_k^*(z_1), \Theta_k^*(z_1) + \Delta \Theta_k^*(z_1), k = 1, m$ показателей эффективности $\Theta = \{ \Theta_k \}, k = 1, m$, соответственно, до и после отработки управлений $U_1(z_1) \in D_{j_1}^*$.

Выходные переменные: степени $\rho(U_{z_1}(\Theta_k), z_1 = 1, m)$ опосредованного влияния управлений $U_1(z_1) \in D_{j_1}^*$ на показатели эффективности $\Theta_k \in \Theta; U_1(F_1^*) \in D_{j_1}^*$ – управление, позволяющее наиболее эффективным образом отрегулировать параметр управления F_1^* в текущих условиях РС.

Метод:

1. Зафиксировать текущие значения параметров управления $F_1^*(j_1) \neq F_1^*$.
2. Выявить для каждого управления $U_1(z_1) \in D_{j_1}^*$ методом цепной подстановки, используя соответствующую ему пару значений $U_1(z_1) : \langle F_1^*(z_1), F_1^*(z_1) + \Delta F_1^*(z_1) \rangle$ параметра управления F_1^* и регрессионную модель (2), значения $U_1(z_1) : \langle \Theta_k^*(z_1), \Theta_k^*(z_1) + \Delta \Theta_k^*(z_1) \rangle, k_1 = 1, m$ для всех показателей эффективности $\Theta = \{ \Theta_k \}, k = 1, m$, определяющих текущее состояние производственной деятельности СП, где $\Theta_k^*(z_1)$ и $\Theta_k^*(z_1) + \Delta \Theta_k^*(z_1)$ – соответственно, значения показателя эффективности Θ_k до и после отработки управления $U_1(z_1)$.

3. Для каждого управления $U_1(z_1) \in D_{j_1}^*$ определить степени $\rho(U_{z_1}(\Theta_k)), k = 1, m$ его опосредованного влияния на различные показатели эффективности производственной деятельности $\Theta_k \in \Theta$ следующим образом:

$$\rho(U_{z_1}(\Theta_k)) = \frac{\Theta_k^*(z_1) + \Delta \Theta_k^*(z_1)}{\Theta_k^*(z_1)}.$$

4. Определить действенные (наиболее эффективные) организационно-управленческие мероприятия $U_1(\Theta) \in D_{j_1}^*$ для заданного параметра управления F_1^* , которые целесообразно реализовать в первую очередь, если произошло его изменение в результате возмущающих факторов $p_i \in P$ РС:

- а) вычислить средние значения $\rho(U_{z_1})$ степеней влияния организационно-управленческих мероприятий $U_1(z_1) \in D_{j_1}^*$ на эффективность производственной деятельности СП в целом:

$$\rho(U_{z_1}) = \frac{\sum_{k=1}^m \rho(U_{z_1}(\Theta_k))}{m};$$

- б) определить наиболее эффективное управление $U_1(F_1^*)$ для параметра управления F_1^* в текущих условиях РС:

$$U_1(F_1^*) : \max_{z_1=1}^{\varphi_1^1} \rho(U_{z_1}(\Theta_k)).$$

5. Конец.

Следует отметить, что таким же образом можно сформировать множество $U^* = \{U_j(F_j)\}, j = 1, \varphi$ управлений, которые, в первую очередь, целесообразно реализовать при изменении, под влиянием возмущающих факторов РС, различных параметров управления $F = \{F_j\}, j = 1, \varphi$. Для этого следует сформировать биективное соответствие $G_3 \subseteq F \times U^*$, первая проекция которого определяется различными параметрами управления $F_j \in F$, а вторая – взаимно-однозначно соответствующими им управлениями $U_j(F_j) \in U^*$.

Таким образом, предложенные выше инструментальные средства позволяют организовать подсистему управления эффективностью производственной деятельности СО в нестабильных условиях экономической среды по отклонению. Кроме того, если установить соответствие между возмущающими факторами РС, параметрами управления и эффективностью реализации управлений при появлении в среде различных возмущающих факторов, то можно организовать эффективное управление производственной деятельностью СО по возмущению.

Для решения данной задачи, на основе накопленного опыта управления, формируется соответствие $G_4 \subseteq P \times F$. Каждый элемент соответствия G_4 определяется следующим образом, если для пары $\langle P_i \in P, F_j \in F \rangle$ выполняется условие: " $F_j \& P_i \rightarrow F_j \pm \Delta F_j$ " (приведенная запись означает, что появление в экономической среде возмущающего фактора P_i сопровождается либо снижением оценки параметра управления F_j на величину, равную $-\Delta F_j$, либо его увеличением на величину, равную $+\Delta F_j$), то пара $\langle P_i, F_j \rangle \in G_4$.

Следовательно, операция композиции между соответствиями G_4 и G_3 позволяет получить соответствие $G_5 = G_4 G_3, G_5 \subseteq P \times U^*$, состоящее из множества пар $\langle P_i, U_j(F_j) \rangle$. На основе таких пар в подсистеме управления производственной деятельностью по возмущению формируется множество решающих правил, каждое из которых имеет следующее содержание:

Если в окружающей среде СП наблюдается возмущающий фактор $P_i \in P$, то в ответ на его появление целесообразно выполнить управление $U_j(F_j) \in U^$, позволяющее, либо полностью устранить, либо снизить его негативное влияние на производственную деятельность.*

На основании полученных таким образом решающих правил формируется база знаний подсистемы управления эффективностью производственной деятельности СО по возмущению.

Вывод. Резюмируя результаты исследования, можно сформулировать следующее:

1. Разработанные в работе инструментальные средства и методы управления позволяют организовать эффективное управление производственной деятельностью строительной организации, и на этой основе повысить эффективность строительного производства в различных условиях экономической среды при наличии в ней спонтанно возникающих возмущающих факторов.

2. Предложенный принцип организации управления по отклонению и возмущению, опираясь на накопленный опыт, позволяет обеспечить наиболее эффективное состояние производственной деятельности строительной организации в нестабильных условиях экономической среды на основе выбора и реализации наиболее эффективных для них методов управления.

3. Разработанный принцип организации управления эффективностью производственной деятельности строительной организации позволяет сформировать эффективные подсистемы управления и другими видами деятельности, например, организовать управление материально-техническим снабжением, финансовой деятельностью и т.д.

Библиографический список:

1. Растрингин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами /Л.А. Растрингин. – М.: Советское радио, 1980. -232 с.
2. Пшиханов В.Х., Медведев М.Ю. Управление подвижными объектами в условиях определенности и неопределенности /В.Х. Пшиханов. М.: Наука, 2011. -349 с.
3. Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений/ И.М. Макаров. – М.: Наука, 1982. -328 с.
4. Трофимов В.В., Трофимова А.А. Методы принятия управленческих решений/ В.В. Трофимов. М.: Юрайт, 2013. – 336 с.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология/ Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1980. – 208 с.
6. Заде Л. Логико-лингвистическая переменная и ее применение для принятия приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 168 с.
7. Борисов А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
8. Ершов Е.В., Варфоломеев И.А., Богачев Д.В. Нейро-нечёткое управление многосвязными объектами в металлургии / Е.В. Ершов. – Saarbruecken (Germany): LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 169 с.
9. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление/ Пер. с англ. 2-е изд. М.: БИНОМ, 2013. -798 с.
10. Конюшин Ю.П., Егунов Н.Д., Конюшин П.Ю. Синтез регуляторов с позиции нечетких множеств/ Ю.П. Конюшин // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 10. С. 23-33.
11. Darwish A., Poleshchuk O. A novel intellectual decision support model of careers based on semantic spaces Applied/ A. Darwish //Mathematics and Information Sciences. 2017 Vol. 11 , Issue 1 . P. 251 - 258
12. Darwish A. , Poleshchuk O., Komarov E. A new fuzzy linear regression model for a special case of interval type - 2 fuzzy sets Applied/ A. Darwish // Mathematics and Information Sciences 2016 . Vol. 10 , Issue 3 . P. 1209 – 1214.
13. Тэрано Т., Аксаи К., Сугэнэ М. Прикладные нечеткие системы/ Т. Тэрано. М.: Мир, 1993. -368 с.
14. Мизюн В.А. Интеллектуальное управление производственными системами и процессами: принципы организации и инструменты / В.А. Мизюн. Тольятти: СНЦ РАН, 2012. – 214 с.
15. Мелехин В.Б., Алиев С.Н., Вердиев М.М. Лингвистические функции и особенности их применения в системах управления и принятия решений / В.Б. Мелехин // Научно-технические ведомости СПб ГПУ. – Основной выпуск. 2008. №2. – С. 249 – 254.
16. Тахаси С. Занимательная статистика. Регрессионный анализ. М.:ДМК, 2015. -146 с.
17. Овсянников Г.Н. Факторный анализ в доступном изложении. Изучение многопараметрических систем и процессов/ Г.Н. Овсянников. М.: Либроком, 2013. -176 с.
18. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод / Д. Лоули. М.: Книга по требованию, 2012. – 145 с.
19. Абдулкаримов И.С. Факторный анализ и метод цепных подстановок / И.С. Абдулкаримов // Социально-экономические явления и процессы. 2015. №2 (Том 10). –С.7-11.
20. Мелехин В.Б., Гамзатов А.Я.Факторный анализ прибыли и рентабельности строительного предприятия/ В.Б. Мелехин // Научное обозрение. 2014. №12. С. 421-426.

References:

1. Rastrigin L.A. Sovremennye printsipy upravleniya slozhnymi ob"ektami. M.: Sovetskoe radio; 1980. 232 s. [Rastrigin L.A. Modern principles of managing complex objects. M.: Sovetskoe radio; 1980. 232 p. (In Russ.)]
2. Pshikhanov V.Kh., Medvedev M.Yu. Upravlenie podvizhnymi ob"ektami v usloviyakh opredelennosti i neopredelennosti. M.: Nauka; 2011. 349 s. [Pshikhanov V.Kh., Medvedev M.Yu. Management of mobile objects in conditions of certainty and uncertainty. M.: Nauka; 2011. 349 p. (In Russ.)]
3. Makarov I.M., Vinogradskaya T.M., Rubchinskii A.A., Sokolov V.B. Teoriya vybora i prinyatiya reshenii. M.: Nauka; 1982. 328 s. [Makarov I.M., Vinogradskaya T.M., Rubchinskii A.A., Sokolov V.B. The theory of choice and decision-making. M.: Nauka; 1982. 328 p. (In Russ.)]
4. Trofimov V.V., Trofimova A.A. Metody prinyatiya upravlencheskikh reshenii. M.: Yurait; 2013. 336 s. [Trofimov V.V., Trofimova A.A. Methods of making managerial decisions. M.: Yurait; 2013. 336 p. (In Russ.)]
5. Venttsel' E.S. Issledovanie operatsii: zadachi, printsipy, metodologiya. M.: Nauka; 1980. 208 s. [Venttsel' E.S. Research of operations: tasks, principles, methodology. M.: Nauka; 1980. 208 p. (In Russ.)]
6. Zade L. Logiko-lingvisticheskaya peremennaya i ee primeneniye dlya prinyatiya priblizhennykh reshenii. M.: Mir; 1976. 168 s. [Zade L. Logical-linguistic variable and its application for making approximate decisions. M.: Mir; 1976. 168 p. (In Russ.)]
7. Borisov A.N. Obrabotka nechetkoi informatsii v sistemakh prinyatiya reshenii. M.: Radio i svyaz'; 1989. 304 s. [Borisov A.N. Processing of fuzzy information in decision-making systems. M.: Radio i svyaz'; 1989. 304 p. (In Russ.)]
8. Ershov E.V., Varfolomeev I.A., Bogachev D.V. Neuro-nechetkoe upravlenie mnogosvyaznymi ob"ektami v metallurgii. Saarbruecken: LAP Lambert Academic Publishing; 2014. 169 s. [Ershov E.V., Varfolomeev I.A., Bogachev D.V. Neuro-fuzzy control of multiply connected objects in metallurgy. Saarbruecken: LAP Lambert Academic Publishing; 2014. 169 p. (In Russ.)]

9. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie. M.: BINOM; 2013. 798 s. [Pegat A. Fuzzy modeling and control. M.: BINOM; 2013. 798 p. (In Russ.)]
10. Konyushin Yu.P., Egupov N.D., Konyushin P.Yu. Sintez regulyatorov s pozitsii nechetkikh mnozhestv. Voprosy radioelektroniki. 2015;10:23-33. [Konyushin Yu.P., Egupov N.D., Konyushin P.Yu. Synthesis of regulators from the position of fuzzy sets. Voprosy radioelektroniki. 2015;10:23-33. (In Russ.)]
11. Darwish A., Poleshchuk O. A novel intellectual decision support model of careers based on semantic spaces. Applied Mathematics and Information Sciences. 2017; 11(1):251-258.
12. Darwish A., Poleshchuk O., Komarov E. A new fuzzy linear regression model for a special case of interval type - 2 fuzzy sets. Applied Mathematics and Information Sciences. 2016;10(3):1209 – 1214.
13. Terano T., Aksai K., Sugeno M. Prikladnye nechetkie sistemy. M.: Mir; 1993. 368 s. [Terano T., Aksai K., Sugeno M. Applied fuzzy systems. M.: Mir; 1993. 368 p. (In Russ.)]
14. Mizyun V.A. Intel'ektual'noe upravlenie proizvodstvennymi sistemami i protsessami: printsipy organizatsii i instrumenty. Tol'yatti: SNTs RAN; 2012. 214 s. [Mizyun V.A. Intelligent management of production systems and processes: organisational principles and tools. Tol'yatti: SNTs RAN; 2012. 214 p. (In Russ.)]
15. Melekhin V.B., Aliev S.N., Verdiev M.M. Lingvisticheskie funktsii i osobennosti ikh primeneniya v sistemakh upravleniya i prinyatiya reshenii. Nauchno-tehnicheskie 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 control systems and decision-making. St. Petersburg Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology. 2008;2:249-254. (In Russ.)]
16. Takhasi S. Zanimatel'naya statistika. Regressionnyi analiz. M.:DMK; 2015. 146 s. [Takhasi S. Interesting statistics. Regression analysis. M.:DMK; 2015. 146 p. (In Russ.)]
17. Ovsyannikov G.N. Faktorny analiz v dostupnom izlozhenii. Izuchenie mnogoparametricheskikh sistem i protsessov. M.: Librokom; 2013. 176 s. [Ovsyannikov G.N. Factor analysis in an accessible presentation. Study of multiparameter systems and processes. M.: Librokom; 2013. 176 p. (In Russ.)]
18. Louli D., Maksvell A. Faktorny analiz kak statisticheskii metod. M.: Kniga po trebovaniyu; 2012. 145 s. [Louli D., Maksvell A. Factor analysis as a statistical method. M.: Kniga po trebovaniyu; 2012. 145 p. (In Russ.)]
19. Abdulkarimov I.S. Faktorny analiz i metod tsepnykh podstanovok. Sotsial'no-ekonomicheskie yavleniya i protsessy. 2015;2(10):7-11. [Abdulkarimov I.S. Factor analysis and the method of chain substitutions. Socio-Economic Phenomena and Processes. 2015;2(10):7-11. (In Russ.)]
20. Melekhin V.B., Gamzatov A.Ya. Faktorny analiz pribyli i rentabel'nosti stroitel'nogo predpriyatiya. Nauchnoe obozrenie. 2014;12:421-426. [Melekhin V.B., Gamzatov A.Ya. Factor analysis of profit and profitability of a construction company. Science review. 2014;12:421-426. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Исмаилова Шани Тагировна – доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой экономической теории.

Мелехин Владимир Борисович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Хачумов Вячеслав Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий лаб. 0-4. «Методы интеллектуального управления».

Information about the authors:

Shani T. Ismailova - Dr. Sci. (Economics), Prof., Head of the Department of Economic Theory.

Vladimir B. Melekhin - Dr. Sci. (Technical), Prof., Head of the Department of Computer Software and Automated Systems.

Vyacheslav M. Khachumov - Dr. Sci. (Technical), Prof., Head of the Laboratory 0-4 «The Methods of Intellectual Control».

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 13.07.2017.

Принята в печать 23.08.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 13.07.2017.

Accepted for publication 23.08.2017

Для цитирования: Эмирбекова Д.Р. Повышение конкурентоспособности строительных предприятий на основе организационно-экономических решений управления кадровым потенциалом. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (3):222-231. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-222-231

For citation: Emirbekova D.R. Increased competitiveness of construction enterprises on the basis of organisational-economic decisions of personnel potential management. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 222-231. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-222-231

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 69.003

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-222-231

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Эмирбекова Д.Р.

Дагестанский государственный технический университет,
367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, Россия,
e-mail: audit.dgtu@mail.ru

Резюме: *Цель.* Разработка алгоритма оптимизации формирования и использования кадрового потенциала строительного предприятия. *Метод.* Основу исследования составляет методология управления персоналом, а также методы логического и статистического анализа принятия управленческих решений в строительстве. Изучены подходы, критерии, показатели, методики оценки эффективности управления кадровым потенциалом, а также факторы, влияющие на эффективность управления ресурсным потенциалом строительного предприятия. *Результат.* Раскрыта методика подбора количественного и квалификационного кадрового состава для реализации проектов строительства. Определены показатели эффективности кадрового потенциала. Систематизированы качественные и количественные данные для формирования оптимального кадрового состава для реализации проекта строительства. Предложен алгоритм оптимизации кадрового потенциала строительного предприятия, использование которого позволит управлять принятием организационно-экономических решений по формированию и эффективному использованию квалифицированных кадров за счет совмещения профессий, что способствует снижению стоимости и продолжительности строительных работ, повысив, тем самым, ресурсоотдачу и конкурентоспособность строительного предприятия. *Вывод.* Трудовой потенциал строительного предприятия может в значительной степени способствовать росту эффективности деятельности, если использовать его рационально и организованно, применяя современные научные методы управления и менеджмента. Предложены методы выстраивания и организации деятельности системы управления персоналом; раскрыт механизм установления взаимоотношений между нанимателем и работниками, способствующих максимально эффективному использованию всех видов ресурсов для развития предприятия в направлении стратегических целей. Обоснована доминирующая роль кадровой составляющей ресурсного потенциала строительного предприятия, управление которой обеспечивается организационно-экономическими решениями по подбору и расстановке кадрового состава для организации ритмичной и качественной работы каждого участка и всего объекта строительства в целом.

Ключевые слова: ресурсный потенциал, оптимизация кадрового потенциала, матрица трудоемкости работ, ресурсоотдача

ECONOMIC SCIENCE

INCREASED COMPETITIVENESS OF CONSTRUCTION ENTERPRISES ON THE BASIS OF ORGANISATIONAL-ECONOMIC DECISIONS OF PERSONNEL POTENTIAL MANAGEMENT

Jaminat R. Emirbekova

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,
e-mail: audit.dgtu@mail.ru

Abstract Objectives. The development of an algorithm for optimising the formation and use of human resources of a construction enterprise. **Methods.** The research basis consists in a generalised methodology for personnel management, as well as specific methods for logical and statistical analysis of management decision-making in construction activities. The approaches, criteria, indicators and methods for assessing the effectiveness of human resource management are studied alongside factors influencing the efficiency resource potential management in a construction enterprise. **Results.** A quantitative methodology for the selection of qualified staff for the implementation of construction projects is proposed. The indicators of the effectiveness of the staff potential are determined. Qualitative and quantitative data for the optimal personnel formation for the construction project realisation are systematised. An algorithm for optimising the personnel potential of a construction enterprise is proposed. The use of this algorithm will inform the choice of organisational and economic solutions for the formation and effective use of qualified personnel at the expense of combining professions, thereby reducing the cost and duration of construction work and increasing the resource efficiency and competitiveness of the construction enterprise. **Conclusion.** The labour potential of a construction enterprise can significantly contribute to increased efficiency if it is used appropriately and in an organised manner, using modern scientific methods of management. Methods for building and organising the activity of the personnel management system are proposed and a mechanism for establishing relationships between the employer and employees that promote the most effective use of all types of resources for the development of the enterprise according to strategic objectives is disclosed. The dominant role of the personnel component of the resource potential of the construction enterprise is substantiated, having its management provided by organisational and economic decisions on the selection and placement of personnel in order to organise the rhythmic and high-quality work of each site and the entire construction site as a whole.

Keywords: resource potential, optimisation of personnel potential, matrix of labour intensity of work, resource productivity

Ведение. Анализ рынка труда и общей ситуации в индустрии строительства показывает, что на системном уровне имеется ряд проблем, порожденных использованием в управлении кадровым потенциалом устаревших методов, не соответствующих рыночной и конкурентной модели развития отрасли [1].

Важной составляющей процесса оптимизации организационно-экономических решений по управлению ресурсным потенциалом является правильный подбор кадрового состава для ритмичной и качественной работы каждого участка и всего субъекта строительства в целом [2-3].

Эффективное управление ресурсным потенциалом предприятия обеспечивается только при наличии согласованных действий всех элементов кадрового потенциала.

Под критерием эффективности функционирования управляющей подсистемы мы понимаем степень достижения поставленной цели.

В этой связи при выборе показателей эффективности необходимо учитывать следующие требования: отражение в показателях в обобщенном виде качества трудовых ресурсов; возмож-

ность использования показателей на соответствующем уровне производственной системы; непротиворечивость между показателями различных уровней системы; простота и пригодность исчисления показателей для использования их на всех стадиях управления производством и социальным развитием; нетождественность с показателями результата производства с одной стороны, и затрат, с другой [4-5].

Постановка задачи. Формирование качественного кадрового потенциала всегда связано с определенными затратами, в состав которых включаются текущие расходы по осуществлению регулирующих воздействий и единовременные затраты на создание материально-технической базы для формирования эффективного кадрового потенциала. При определении необходимого ресурсного потенциала для реализации конкретного проекта необходимо в первую очередь решить вопрос подбора оптимального кадрового состава для достижения поставленных целей с минимальными затратами [6 -7].

Необходим комплексный подход к управлению формированием и использованием кадрового потенциала строительного предприятия на основе совершенствования форм и методов стратегического планирования оптимальной потребности в ресурсах и источников их финансирования с целью создания синергетического эффекта [8-9].

Учитывая то, что реализацией конечной цели эффективности кадрового потенциала является создаваемая в процессе производства и реализуемая продукция, для оценки эффективности может быть в полной мере использован показатель ресурсоотдачи [10-11].

Методы исследования. В ходе исследования использована методология логического, статистического и сравнительного анализа, методы экспертных оценок, экономического моделирования, метода оценки достоверности качественных и количественных статистических показателей и др. Аналитический обзор статистики строительной отрасли показывает ее закрытость и слабую прозрачность затрат на организацию строительной деятельности [12-13].

Таблица 1. Основные показатели организаций, осуществляющих строительную деятельность

Table 1. Main indicators of organizations engaged in construction activities

Показатели	2016	Справочно 2015	Изменение за год ¹⁾ , (±, %)
Число действующих строительных организаций (на конец года), тыс.	271,6	232,2	+17,0
Объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство» (в фактически действовавших ценах), млрд. руб.	7204,2	7010,4	-2,2
Затраты на производство работ по элементам по виду деятельности «Строительство», в процентах от общего объема затрат:	100	100	
материальные затраты	56,2	60,0	-3,8
затраты на оплату труда	18,1	18,2	-0,1
страховые взносы в Пенсионный фонд, ФСС, ФФОМС	4,7	4,9	-0,2
амортизация основных средств	2,8	2,9	-0,1
прочие затраты	18,2	14,0	+4,2
Среднегодовая численность занятых в строительстве, тыс. человек	6231	6403	-2,7
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работающих в строительстве, руб.	32332	29960	+7,9
Степень износа основных фондов организаций основного вида деятельности «Строительство» (на конец года), %	49,9	47,3	+2,6

Анализ показателей строительных организаций, приведенных в табл.1[13], , позволяет констатировать низкий удельный вес оплаты труда в общей массе расходов строительных предприятий по стране, что в большей степени является результатом массового привлечения

нелегального труда, низким уровнем налоговых и социальных отчислений, привлечением к работе персонала с низкой квалификацией, малым использованием высокотехнологических методов, которые способствуют высвобождению средств за счет снижения количества работников с низкой квалификацией и перенаправлению этих средств на оплату квалифицированного постоянного персонала [14].

Особой проблемой строительной отрасли остается определенная ментальность на уровне руководства предприятий, диктующая сосредоточенность исключительно на вопросах обеспечения производства, скрытность в финансовых вопросах, стремление к клановости и созданию групп, реализации коррупционных схем, что мешает развитию здоровой отраслевой конкуренции и развитию корпоративных ценностей [15].

Обсуждение результатов. Компетентность руководства компаний должна сочетаться с квалификацией персонала, которая обеспечивает не только высокое качество результатов деятельности, но и значительно снижает количество нештатных и чрезвычайных ситуаций, несчастных случаев. В российском строительстве вопрос квалификации остается одним из самых проблемных на протяжении длительного времени - это связано с наличием огромного предложения дешевого труда со стороны нелегальных мигрантов, не имеющих квалификации, и отдельных компаний, освоивших предоставление услуги «аренды рабочей силы», которая фактически замещает собственную кадровую работу. Несмотря на государственную поддержку строительного образования, уровень потребности в специалистах невелик, поскольку мелкие фирмы предпочитают использовать неквалифицированный труд из соображений экономии средств [16-17].

Кадровый потенциал строительного предприятия может в значительной степени способствовать росту эффективности деятельности, если использовать его рационально и организованно, применяя современные научные методы управления и менеджмента. Такие методы разработаны в западных странах, они находятся в рамках современных концепций со следующими принципами:

- ориентированность управления персоналом на применение стратегического подхода;
- рассмотрение кадрового и трудового потенциала как решающего компонента резервов повышения эффективности деятельности;
- личный подход - ориентированность на работника как на важнейший элемент потенциала предприятия;
- формирование инвестиционной политики в развитие человеческого ресурса;
- формирование системы управления, основанной на принципах социального партнерства и демократизации внутренних отношений;
- рост качества трудовой жизни;
- постоянное обучение персонала и развитие потенциала трудовых ресурсов;
- организация профессионального управления персоналом [18-19].

Важной составляющей процесса оптимизации организационно-экономических решений по управлению ресурсным потенциалом является правильный подбор кадрового состава для ритмичной и качественной работы каждого участка и всего субъекта строительства в целом [20].

При определении необходимого ресурсного потенциала для реализации конкретного проекта необходимо в первую очередь решить вопрос подбора оптимального кадрового состава для достижения поставленных целей с минимальными затратами [21].

Подбор количественного и квалификационного кадрового состава наряду с выбором машин и механизмов для строительства объектов является одной из основных задач при разработке проектов организации строительства, при выборе рациональных методов производства строительного-монтажных работ и при разработке проекта производства работ [22- 23].

По результатам исследования нами предложен алгоритм оптимизации кадрового потенциала строительного предприятия, использование которого позволит повысить эффективность и качество реализации строительных проектов (рис.1).

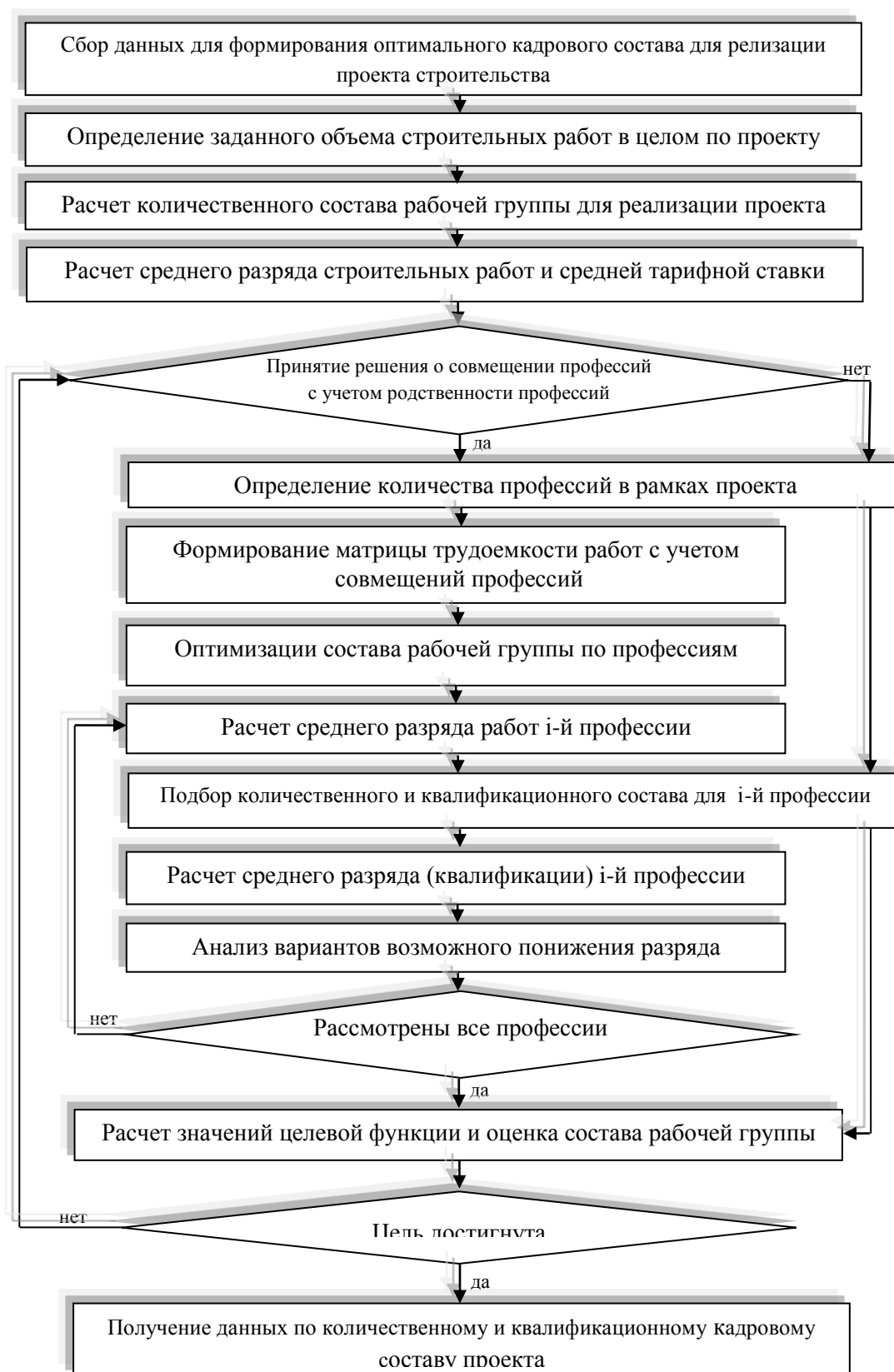


Рис.1. Алгоритм оптимизации кадрового потенциала строительного предприятия
Fig.1. Algorithm for optimizing the human resources of a construction company

Формирование оптимального кадрового состава для реализации проекта начинается с определения заданного объема строительных работ в целом по проекту строительства.

1. Находится количественный состав рабочей группы, привлекаемой для реализации проекта [5]

$$C_k = \frac{V}{T \cdot k \cdot t} \quad (1)$$

где, C_k — количество специалистов;

V — трудоемкость заданного объема строительных работ в целом по проекту работ, чел.-

ч;

T — продолжительность выполнения работ в днях;

k — коэффициент выполнения норм выработки;

t — продолжительность рабочей смены в часах.

1. Рассчитывается средний разряд строительных работ в рамках проекта [5]

$$P_{cp}^{рабom} = T_p + \frac{T_{cp} - T_M}{T_b - T_M} \quad (2)$$

где, T_p — тарифный разряд, соответствующий меньшей из двух смежных тарифных ставок, между которыми находится средняя тарифная ставка;

T_{cp} — средняя тарифная ставка рабочих;

T_M — меньшая из двух смежных тарифных ставок, между которыми находится средняя тарифная ставка;

T_b — большая из двух смежных тарифных ставок, между которыми находится средняя тарифная ставка.

2. Определяется средняя тарифная ставка работников за заданный объем работ [24]

$$T_{cp} = \frac{Зп}{V} \quad (3)$$

где, $Зп$ — суммарная заработная плата за заданный объем работ, р.

Рассматривается вопрос о необходимости совмещения профессий. При совмещении профессий должны быть выполнены следующие условия:

- коэффициент выполнения норм должен быть в заданном интервале;
- при передаче работ необходимо стремиться к распределению внутри данной профессии от высшего разряда к соседнему низшему;
- при совмещении профессий необходимо учитывать совместимость фронта работ и родственность профессий.

Если такое решение не принимается, необходимо подобрать количественный и квалификационный состав специалистов для каждой профессии, а затем перейти к этапу расчета значений целевой функции и оценки состава группы. При удовлетворительном значении целевой функции утверждаем полученные данные по количественному и квалификационному кадровому составу проекта. Если целевая функция не отвечает требованиям заказчика, то необходимо пересмотреть расстановку кадров в рамках проекта и, возможно, принять решение о совмещении профессий.

Если принято решение о совмещении профессий следует определить количество рассматриваемых профессий в рамках реализуемого проекта и сформировать матрицу трудоемкости работ с учетом совмещения профессий.

Для всех принятых профессий производят предварительный расчет качественного и количественного состава рабочей группы [5].

$$N_{i,j} = \frac{100 \cdot V_{i,j}}{V \cdot H_3} \quad (4)$$

где, $V_{i,j}$ - трудоемкость выполнения работ специалистами i -го разряда j -й профессии;

H_3 – предварительная планируемая норма загрузки одного рабочего в процентах

$$H_3 = \frac{100}{N_p}$$

3. Оптимизация предварительного состава рабочей группы по каждой профессии.

Для этого определяется средний разряд работ для рабочих j -й профессии по формуле (2).
Находится средняя тарифная ставка рабочих j -й профессии за заданный объем работ [5]

$$T_{cp.j} = \frac{3_{II}}{\sum_{i=1}^{N_j} V_{i,j}} \quad (5)$$

где, N_j — количество рабочих j -й профессии в бригаде.

Определение соотношения между средним разрядом работ и работников для всей рабочей группы. Для этой цели рассчитывается средний разряд каждого работника в группе. [5]

$$P_{cp}^{pab} = P_K + \frac{K_{cp} - K_M}{K_6 - K_M} \quad (6)$$

где, P_K — тарифный разряд, соответствующий меньшему из двух смежных тарифных коэффициентов, между которыми находится средний тарифный коэффициент;

K_{cp} – средний тарифный коэффициент рабочих;

K_M – меньший из двух смежных тарифных коэффициентов, между которыми находится средний тарифный коэффициент;

K_6 – больший из двух смежных тарифных коэффициентов, между которыми находится средний тарифный коэффициент.

Средний тарифный коэффициент определяется по формуле:

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} K_i \cdot n_i}{N} \quad (7)$$

где, K_i — тарифный коэффициент рабочих i -го разряда (по тарифной сетке);

n_i – число рабочих i -го разряда;

N – принятое число рабочих в бригаде.

В качестве обобщающего показателя эффективности использования кадрового потенциала можно использовать показатель ресурсоотдачи, достоинства которого обоснованы профессором Л.М.Чистовым. [11]

При исчислении показателя ресурсоотдачи можно использовать показатель, характеризующий эффективность кадрового потенциала через эффективность системы управления в целом по формуле:

$$\mathcal{E}_{к.л.}^y = P_{к.л.} / 3_{к.л.} \cdot K_u \quad (8)$$

где, $P_{к.л.}$ – обобщающий показатель результата строительного производства под влиянием кадровых изменений, управления кадрами, руб.;

$3_{к.л.}$ – затраты на непосредственное воспроизводство и формирование кадрового потенциала (трудовые ресурсы и кадры управления);

K_u – коэффициент инфляции, характеризующий ее уровень в анализируемом периоде.

Экономическая эффективность кадрового потенциала, рассчитанная как отношение всего эффекта ко всем затратам, характеризует общие результаты управления персоналом. Такой подход отражает специфику функционирования системы управления, а именно:

- результаты деятельности в системе управления с эффективным кадровым потенциалом проявляются в производительности труда, в эффективности производства;

- эффект от деятельности системы управления с качественным кадровым потенциалом опосредован в работе управляемого коллектива;
- непосредственный результат труда может быть рассчитан только у относительно небольшой категории работников управления, т.к. трудно поддается определению;
- проведение комплекса мероприятий по формированию уровня кадрового потенциала дает эффект в течение определенного периода времени;
- изменение кадрового потенциала могут дать больший косвенный эффект (в основных, сложных и вспомогательных подразделениях) [24].

Вывод. Использование полученных зависимостей на основе предложенного алгоритма позволит управлять выбором организационно-экономических решений, т.е. целенаправленным выбором формирования кадров, что позволит снизить стоимость, продолжительность строительных работ и тем самым повысить ресурсоотдачу и конкурентоспособность строительной организации.

Проблемы управления кадровым потенциалом и практические рекомендации по улучшению ситуации в отечественном строительстве сводятся к ряду положений:

- Необходимо внедрять на строительных предприятиях прогрессивную шкалу премирования и формировать систему индивидуального поощрения;
- Необходимо разрабатывать и внедрять систему переподготовки персонала для стимуляции результативности, производительности труда и ответственности за результаты;
- Отсутствие представления о корпоративной культуре в части ее реализации, использование недоработанных формальных приемов внедрения корпоративной этики, зачастую скопированных с западных образцов без учета национальных и культурных особенностей населения, составляющего кадровый и трудовой потенциал предприятия;
- Формирование системы взаимной ответственности нанимателя и работника, позволяющей снизить текучесть кадров в строительной отрасли и повысить качественный уровень производства и продукции [24-25].

От руководителей предприятий требуется осознание необходимости реформирования кадровой работы, создания условий для привлечения высококвалифицированных кадров, что даст возможность повысить эффективность деятельности и качественный уровень отрасли в целом.

Библиографический список:

1. Антипов А.А. Разработка и реализация стратегии развития строительных организаций / А.А. Антипов // Экономический анализ: теория и практика. - 2007. - № 3. - С.58-60.
2. Бадриева, Л.Д. Современные тенденции и закономерности эффективного использования ресурсного потенциала / Л.Д. Бадриева // Российское предпринимательство. - 2011. - № 12.
3. Бобков, А.А. Стратегическое и тактическое управление ресурсами предприятия инвестиционно-строительного комплекса: монография / А.А. Бобков. – СПб: СПбГИЭУ, 2009. – 200 с.
4. Васильев, В.М. Управление в строительстве: учебник для ВУЗов / В.М.Васильев, Ю.П. Панибратов. - М.:АСВ, 2009.
5. Дикман, Л.Г. Организация строительного производства. -Издательство: Ассоциации строительных вузов. – 2010.
6. Мухаррамова Э.Р. Формирование ресурсного потенциала строительного предприятия / Э.Р. Мухаррамова // Российское предпринимательство. — 2013. — № 14 (236). — с. 45-52.
7. Adegbile A., Sarpong D. (2015) Managerial Engagement with Scenario Planning: A Conceptual Consumption Approach. Foresight and STI Governance, vol. 9, no 4, pp. 73–80. DOI: 10.17323/1995-459x.2015.4.73.80
8. Иванцевич, Дж. М. Человеческие ресурсы управления: основы управления персоналом / Дж. М. Иванцевич, М. Ю. Лобаев. - М.: «Дело», 2003. - 543 с.
9. Кибанов, А.Я. Основы управления персоналом: учебник / А.Я. Кибанов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ИНФРА-М, 2007. - 447 с.
10. Кунниева, З. А. Формирование стратегии развития строительного предприятия: автореферат дис. ...канд.экон.наук: 08.00.05 / Кунниева Зухраула Абакаргаджиевна - Махачкала, 2010.
11. Чистов Л. М. Экономика строительства. 2-е изд./ - СПб.: Питер, 2003. — 637 с.
12. Статистический сборник «Строительство в России 2016» Официальное издание [Электронный ресурс] // информационно-издательский центр «Статистика России». – Режим доступа: www.infostat.ru.

13. Инвестиционная деятельность в России: условия, факторы тенденции Росстат. Российский статистический ежегодник. Официальное издание [Электронный ресурс] // информационно-издательский центр «Статистика России». – Режим доступа: www.infostat.ru.
14. Ивановская, Л. В. Обеспечение системы управления персоналом на предприятии / Л. В. Ивановская. - М.: «ГАУ», 2005. - 126 с.
15. С. William Ibbs, Young-Hoon Kwak. The benefits of Project Management: financial and organizational rewards to corporations. - Project Management Institute Education Foundation, 1997.
16. Череповский, А.П. Кадровая составляющая реструктуризации и развития методов стратегического управления в строительстве / А.П. Череповский // Вестник строительства и архитектуры. - 2010. - N 1. - С. 430 - 436.
17. 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
18. Череповский, А.П. Стратегическое развитие управления персоналом в строительстве: монография / А.П. Череповский. - Орел: ОрелГАУ, 2007.- 376 с.
19. Черняк, В.З. Экономика и управление на предприятии (строительство): учебник / В.З.Черняк. – М.: КНО-РУС, 2009
20. Симионов, Р. Анализ конкурентных преимуществ строительного предприятия в рыночной среде / Р. Симионов // Проблемы теории и практики управления. — 2006. - №12. - С.8-9.
21. Dahlgren E., Leung T. An optimal multiple stopping approach to infrastructure investment decisions. Journal of Economic Dynamics and Control. 2015; 53:251–267
22. Прохоров, Ю.К. Управленческие решения: учебное пособие / Ю.К. Прохоров, В.В. Фролов. -2-е изд., испр. и доп. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. - 138 с.
23. Глухов, В.В. Ресурсный менеджмент: методы выявления резервов производства / - СПб.: Наука, 2012.
24. Сериков А. Особенности ресурсного обеспечения управления / А. Сериков // Проблемы теории и практики управления. -2006. - №8:— С. 95 — 101.
25. Эмирбекова Д.Р. Оценка эффективности ресурсного потенциала строительной организации. Управление мегаполисом. - 2013. - №4 (34). - С.158-162.

References:

1. Antipov A.A. Razrabotka i realizatsiya strategii razvitiya stroitel'nykh organizatsii. Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika. 2007;3:58-60. [Antipov A.A. Development and implementation of the strategy for the development of building organisations. Economic Analysis: Theory and Practice. 2007;3:58-60. (In Russ.)]
2. Badrieva L.D., Kamaltdinova R.M. Sovremennye tendentsii i zakonomernosti effektivnogo ispol'zovaniya resursnogo potentsiala. Rossiiskoe predprinimatel'stvo. 2011;12(1):170-174. [Badrieva L.D., Kamaltdinova R.M. Modern trends and patterns of effective use of resource potential. Russian Journal of Entrepreneurship. 2011;12(1):170-174. (In Russ.)]
3. Bobkov A.A. Strategicheskoe i takticheskoe upravlenie resursami predpriyatiya investitsionno-stroitel'nogo kompleksa: monografiya. SPb: SPbGIEU; 2009. 200 s. [Bobkov A.A. Strategic and tactical resource management of the enterprise of the investment and construction complex: a monograph. SPb: SPbGIEU; 2009. 200 p.(In Russ.)]
4. Vasil'ev V.M., Panibratov Yu.P., Lapin G.N., Khitrov V.A. Upravlenie v stroitel'stve: uchebnik dlya VUZov. M., SPb: ASV; 2005. 272 s. [Vasil'ev V.M., Panibratov Yu.P., Lapin G.N., Khitrov V.A. Management in construction: a tutorial for higher education institutions. M., SPb: ASV; 2005. 272 p. (In Russ.)]
5. Dikman L.G. Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. M.: ASV; 2009. 608 s. [Dikman L.G. Organisation of construction production. M.: ASV; 2009. 608 p. (In Russ.)]
6. Mukharramova E.R. Formirovanie resursnogo potentsiala stroitel'nogo predpriyatiya. Rossiiskoe predprinimatel'stvo. 2013;14(236):45-52. [Mukharramova E.R. Formation of the resource potential of a construction enterprise. Russian Journal of Entrepreneurship. 2013;14(236):45-52. (In Russ.)]
7. Adebile A., Sarpong D. (2015) Managerial Engagement with Scenario Planning: A Conceptual Consumption Approach. Foresight and STI Governance, vol. 9, no 4, pp. 73–80. DOI: 10.17323/1995-459x.2015.4.73.80
8. Ivantsevich Dzh.M., Lobanov A.A. Chelovecheskie resursy upravleniya: osnovy upravleniya personalom. M.: Delo; 1993. 304 s. [Ivantsevich Dzh.M., Lobanov A.A. Human resources management: the basics of personnel management. M.: Delo; 1993. 304 p. (In Russ.)]
9. Kibanov A.Ya. Osnovy upravleniya personalom: uchebnik. M.: INFRA-M; 2007. 447 s. [Kibanov A.Ya. Fundamentals of personnel management: a tutorial. M.: INFRA-M; 2007. 447 p. (In Russ.)]
10. Kunnieva Z. A. Formirovanie strategii razvitiya stroitel'nogo predpriyatiya. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie stepeni kandidata ekonomicheskikh nauk: 08.00.05. Makhachkala; 2010. [Kunnieva Z. A. Formation of the development strategy of a construction enterprise. Published summary of Candidate of Economy thesis: 08.00.05. Makhachkala; 2010. (In Russ.)]
11. Chistov L. M. Ekonomika stroitelstva 2-e izd. SPb.: Piter; 2003. 637 s. [Chistov L. M. Economy of construction. 2nd ed. SPb.: Peter; 2003. 637 p. (In Russ.)]

12. Statisticheskii sbornik "Stroitel'stvo v Rossii 2016". Rosstat. 2016. [Statistical compilation "Construction in Russia 2016". Rosstat. 2016. (In Russ.)]
13. Rosstat. Rossiiskii statisticheskii ezhegodnik. Ofitsial'noe izdanie [Elektronnyi resurs]. Informatsionno-izdatel'skii tsentr "StatistikaRossii". Rezhimdostupa: www.infostat.ru. [Rosstat. Russian Statistical Yearbook. Official publication [Electronic resource]. Information and Publishing Centre "Statistics of Russia". Available at: www.infostat.ru. (In Russ.)]
14. Ivanovskaya L. V., Svistunov V.M. Obespechenie sistemy upravleniya personalom napredpriyatii. M.: GAU; 2005. 126 s. [Ivanovskaya L. V., Svistunov V.M. Provision of a personnel management system at the enterprise. M.: GAU; 2005. 126 p. (In Russ.)]
15. C. William Ibbs, Young-Hoon Kwak. The benefits of Project Management: financial and organizational rewards to corporations. - Project Management Institute Education Foundation, 1997.
16. Cherepovskii A.P. Kadrovaya sostavlyayushchaya restrukturalizatsii i razvitiya metodov strategicheskogo upravleniya v stroitel'stve. Sbornik nauchnykh trudov OrelGAU "Vestnikstroitel'stva i arkhitektury", vypusk 1. Orel: Izdatel'stvo OOO PF «Kartush»; 2010. S. 430 - 436. [Cherepovskii A.P. Personnel component of the restructuring and development of methods of strategic management in construction. Collection of scientific works of OrelSAU "Vestnik stroitel'stva i arkhitektury", Issue 1. Orel: Izdatel'stvoOOOPF «Kartush»; 2010. P. 430 - 436. (In Russ.)]
17. 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
18. Cherepovskii A.P. Strategicheskoe razvitie upravleniya personalom v stroitel'stve: monografiya. Orel: OrelGAU; 2007. 376 s. [Cherepovskii A.P. Strategic development of personnel management in construction: a monograph. Orel: OrelSAU; 2007. 376 p. (In Russ.)]
19. Chernyak V.Z. Ekonomika i upravlenie na predpriyatii (stroitel'stvo): uchebnyk. M.: KnoRus; 2009. 731 s. [Chernyak V.Z. Economics and management at the enterprise (construction): a tutorial. M.: KnoRus; 2009. 731 p. (In Russ.)]
20. Simionov R. Analiz konkurentnykh preimushchestv stroitel'nogo predpriyatiya v rynochnoisrede. Problemy teorii i praktiki upravleniya. 2006;12:82-91. [SimionovR. Analysis of the competitive advantages of a construction company in a market environment.Theoretical and Practical Aspects of Management. 2006;12:82-91. (In Russ.)]
21. Dahlgren E., Leung T. An optimal multiple stopping approach to infrastructure investment decisions. Journal of Economic Dynamics and Control. 2015; 53:251–267
22. Prokhorov Yu.K., Frolov V.V. Upravlencheskie resheniya: uchebnoe posobie. SPb: SPbGU ITMO; 2011. 138 s. [Prokhorov Yu.K., Frolov V.V. Management decisions: a tutorial. SPb: SPbGU ITMO; 2011. 138 p. (In Russ.)]
23. Glukhov V.V., Balashova E.S. i dr. Resursnyi menedzhment: metody vyyavleniya rezervov proizvodstva. SPb.:Nauka; 2012. 275 s. [Glukhov V.V., Balashova E.S. et al. Resource management: methods for identifying the production reserves. SPb.:Nauka; 2012. 275 p. (In Russ.)]
24. Serikov A. Osobennosti resursnogo obespecheniya upravleniya. Problemy teorii i praktiki upravleniya. 2006;8:95-101. [Serikov A. Features of resource management. Theoretical and Practical Aspects of Management. 2006;8:95-101. (In Russ.)]
25. Emirbekova D.R. Otsenka effektivnosti resursnogo potentsiala stroitel'noi organizatsii. Upravlenie megapolisom. 2013;4(34):158-162. [Emirbekova D.R. Evaluation of the effectiveness of the resource potential of the construction organisation. Megapolis Management. 2013;4(34):158-162. (In Russ.)]

Сведения об авторе:

Эмирбекова Джаминат Рамидиновна - старший преподаватель, кафедра аудита и финансового контроля.

Information about the author:

Jaminat R. Emirbekova – Senior Lecturer, Department of Audit and Financial Control

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 27.07.2017.

Received 27.07.2017.

Принята в печать 10.09.2017.

Accepted for publication 10.09.2017.

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.);
- метаданные авторов (1 экз.);

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 9-10 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 слева.
- Название статьи (на русском и английском языке).
- Аннотация (Abstract) – 200-250 слов, 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

В статье указывается 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 по стандарту «Ванкувер».

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 MicrosoftWord, CorelDraw, MicrosoftVisio 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.). Название рисунка указывается на русском и английском языках.

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). Название таблицы указывается на русском и английском языках.

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: 367026, 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 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" 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: 70 Imama Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Daghestan, Russia. Daghestan State Technical University, Tutorial-Lecture Building 2, Editorial Board «Herald of Daghestan 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 – №3 – 2017.

HERALD
OF DAGHESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY.
TECHNICAL SCIENCES
Makhachkala, Volume 44, No.3, 2017.

Верстка: Шагина С.Б.

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: Shagina C.B.

Editorial address: 70 I. Shamil Ave., Makhachkala 367026, Daghestan, Russia.

FSBEE HE «DSTU»
Tel./fax (8722)623715
(8722)623964

«БЕСПЛАТНО»

Подписано в печать 28.09.2017г. Сдано в печать 28.09.2017г.

Формат 60x84 ¹/₈. Гарнитура «Times». Бумага офсетная

Тираж 500. Усл. п.л. 27,52. Уч. изд.л. 27,14.

Заказ № 135.

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Лотос»
367018. Республика Дагестан, г. Махачкала, пр-кт Петра I, 61.