

ISSN 2073-6185

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



Том 42, № 3, 2016.

ВЕСТНИК ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Volume 42, No.3, 2016.

HERALD OF DAGESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES

Журнал основан в 1997 году.
Выходит 4 раза в год

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

© Учредитель ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», 2016.

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

© FSBEE HE «Daghestan State Technical University», 2016

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 42, №3, 2016 г.

Главный редактор :

Исмаилов Т.А., д.т.н., профессор, ректор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Заместитель главного редактора:

Эсетова А.М., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Редакционная коллегия:

Абакаров А.Д., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Абакаров Г.М., д.х.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Абдулгалимов А.М., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Адамов А.П., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Батдалов М.М., д.т.н., член-корр. Российской академии архитектуры и строительных наук, профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Билалов Б.А., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Володин В.М., д.э.н., профессор, декан Пензенского государственного университета, г. Пенза, Россия.

Гулиев М.Е., д.э.н., доцент Азербайджанского государственного экономического университета, г. Баку, Азербайджанская Республика.

Гусейнов Р.В., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Исалова М.Н., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Исмаилов Э.Ш., д.б.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Каргин Н.И., д.т.н., профессор, начальник Управления развития перспективных исследований, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия.

Кутузов В.М., д.т.н., профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), г. Санкт-Петербург, Россия.

Ларинов А.Н., д.э.н., профессор, генеральный директор ООО «Научно-исследовательский центр «Стратегия», г. Москва, Россия.

Магомедов А.Г., д.э.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Мелехин В.Б., д.т.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Митаров Р.Г., д.ф.-м.н., профессор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Павлюченко Е.И., д.э.н., профессор, проректор по НИИД 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.

Редакционный совет:

Председатель редакционного совета:

Якимович Б.А., д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», г. Ижевск, Россия.

Сопредседатели

Иванов К.М., д.т.н., профессор, ректор БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова, г. Санкт-Петербург, Россия.

Исмаилов Т.А., д.т.н., профессор, ректор Дагестанского государственного технического университета, г. Махачкала, Россия.

Кутузов В.М., д.т.н., профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), г. Санкт-Петербург, Россия.

Члены редакционного совета

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.

Магомедов М. Х., д-р.физ.-мат. наук, генеральный директор ООО «САУНО», НПФ, г. Москва, Россия.

Несветаев Г.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии строительного производства, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия.

Райзер В. Д., д.т.н., профессор, штат Калифорния, г. Сан-Диего, США.

Сулин А.Б., д.т.н., профессор, член-корр. MAX, 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.

Адрес учредителя: 367015, РД, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Тел./факс 8722)623715; (8722)623964 E-mail:vestnik.dstu@mail.ru Website: <http://vestnik.dstu.ru/>

**Научные
направления:**

**Физико-
математические
науки**
Механика

Технические науки

Энергетическое,
металлургическое
и химическое
машиностроение

Информатика,
вычислительная
техника и
управление

Строительство
и архитектура

**Экономические
науки**

**Вестник
Дагестанского
государственного
технического
университета.**
Технические науки.
Том 42, №3
Махачкала, 2016 –
235с.

Издается по
решению Ученого
Совета ФГБОУ ВО
«Дагестанский
государственный
технический
университет»

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

| | |
|---------------|---|
| МЕХАНИКА..... | 8 |
|---------------|---|

Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В.

| | |
|---|---|
| РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ | 8 |
|---|---|

Агаханов Г.Э.

| | |
|---|----|
| МОДЕЛИРОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ГРУНТА ПРИ КОМПРЕССИОННОМ СЖАТИИ | 16 |
|---|----|

Дорохов А.Ф., Проватар А.Г., Санаев Н.К.

| | |
|--|----|
| НАСЫЩЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗЕРКАЛА РАБОЧЕГО ЦИЛИНДРА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ВЫСОКООРГАНИЗОВАННЫМИ ФОРМАМИ УГЛЕРОДА | 27 |
|--|----|

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

| | |
|--|----|
| ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ | 34 |
|--|----|

Букашев Ф.И., Шахмаева А.Р.

| | |
|---|----|
| РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНЫХ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ (БСИТ) | 34 |
|---|----|

Герейханов Р.К.

| | |
|--|----|
| АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ..... | 45 |
|--|----|

Евдолов Д.В., Евдолов О.В., Набиев Н.А.

| | |
|--|----|
| МОДЕЛЬ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ, ВЫДЕЛЯЕМОЙ РЭА | 53 |
|--|----|

Исмаилов Т.А., Муслимов Э.М., Рашидханов А.Т., Юсуфов Ш.А.

| | |
|---|----|
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПРИБОРОВ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПИТАНИЯ В СОСТАВЕ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ БЛОКОВ | 64 |
|---|----|

Исмаилов Т.А., Рагимова Т.А., Хазамова М.А.

| | |
|---|----|
| КРИОТЕРМОАППЛИКАЦИОННАЯ ТЕРАПИЯ В НЕВРОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ | 73 |
|---|----|

Исмаилов Т.А., Шангереева Б.А., Шахмаева А.Р.

| | |
|--|----|
| КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ БИПОЛЯРНЫХ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ (БСИТ) | 83 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ | 92 |
|--|----|

Григорьян О. П., Магомедова М. Р.

| | |
|---|----|
| ИМИТАЦИОННОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ МУТНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ УЩЕРБА ВОДНЫМ БИОЛОГИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ РЕКИ ЧЕРЕК..... | 92 |
|---|----|

Кадиев И.П., Кадиев П.А.

| | |
|---|-----|
| СПОСОБ ЗАДАНИЯ ПРАВИЛ ИНДЕКСАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ | 101 |
|---|-----|

Мамедбеков С.Н., Омаров А.О., Раджабов Р.Г.

| | |
|--|-----|
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕВОДА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ТОЧЕК С ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЛИПСОИДА НА ПЛОСКОСТЬ В КОНФОРМНОЙ ПРОЕКЦИИ ГАУССА-КРЮГЕРА..... | 110 |
|--|-----|

| | |
|---|------------|
| СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА..... | 119 |
| <i>Акаев Н.К., Юсупов А.К.</i> | |
| АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШПРЕНГЕЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК..... | 119 |
| <i>Алиев Р.М., Гумаров Р.К.</i> | |
| ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРСКО-КАСПИЙСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА НА ТЕРРИТОРИИ РАВНИННОГО ДАГЕСТАНА | 131 |
| <i>Белова Н.А., Страхова Н.А., Цамаева П.С.</i> | |
| СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМА ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ..... | 144 |
| <i>Вишиталов Р.И., Муселемов Х.М., Устарханов О.М.</i> | |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОТОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ..... | 155 |
| <i>Джалилов Ш.Г., Оцоков К.А.</i> | |
| СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕНОБЕТОНА | 167 |
| <i>Курбанов Р.М., Хаджисидалов Г.Н., Хежев Т.А.</i> | |
| ЖАРОСТОЙКОЕ АКТИВИЗИРОВАННОЕ ВЯЖУЩЕЕ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА..... | 176 |
| <i>Мантуров З.А., Омаров А.О., Тотурбиеев А.Б., Тотурбиеева У.Д.</i> | |
| АРБОЛИТОБЕТОН НА СИЛИКАТНАТРИЕВОМ КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ И ОБРЕЗКАХ ВИНОГРАДНОЙ ЛОЗЫ | 183 |
| <i>Муртазаев С.-А. Ю., Саламанова М.Ш., Хубаев М.С.</i> | |
| РЕЦЕПТУРА САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА | 193 |
| ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ..... | 203 |
| <i>Абдуллаева Т.К., Гамидуллаев Б.Н., Гамидуллаев Р.Б.</i> | |
| КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПЛЕКСА ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ РЕИНЖИНИРИНГА ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ | 203 |
| <i>Исмаилова Ш.Т., Эмирбекова Д.Р.</i> | |
| МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ..... | 211 |
| <i>Мейланов И.М., Эсетова А.М.</i> | |
| РАЗВИТИЕ ФОРМ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА..... | 220 |
| ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ | 230 |

Ministry of Education and Science of the Russian Federation
 Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
 "Daghestan State Technical University"

HERALD OF DAGESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY. TECHNICAL SCIENCES
 V o l u m e 4 2 , N o . 3 , 2 0 1 6 .

Editor- in-Chief:

Tagir A. Ismailov, Doctor of Technical Science, Professor, Rector, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;

Deputy Editor:

Aida M. Esetova, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;

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. Batdakov, Doctor of Technical Science , Corresponding member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;

Bilal A. Bilalov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;

Viktor M. Volodin, Doctor of Economics, Professor, Dean, Penza State University, Penza, Russia.

Mushfig E. Guliev, Doctor of Economics, Associate Professor, Azerbaijan State University of Economics, Baku, Azerbaijan;

Rasul V. Guseynov, Doctor of Technical Science, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;

Marzhanat N. Isalova, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;

Elder Sh. Ismailov, Doctor of Biology, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;

Nicholay I. Kargin, Doctor of Technical Science , Professor, Head of the department of the development of perspective researches of National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia;

Vladimir M. Kutuzov, Doctor of Technical Science , Professor, Rector of St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russia;

Arkady N. Larionov, Doctor of Economics, Professor, General Director LLC "Research Center" Strategy ", Moscow, Russia.

Arbali.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. Matarov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russia;

Elena I. Pavlyuchenko, Doctor of Economics, Professor, Vice Rector on scientific and innovative activity, 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.

Editorial council

Chairman of the editorial council:

Boris A. Yakimovich, Doctor of Technical Science, Professor, rector, FSBEI HE "Kalashnikov Izhevsk State Technical University", Izhevsk, Russia.

The co-chairs of the editorial council:

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, DSTU, Makhachkala, Russia.

Vladimir M. Kutuzov, Doctor of Technical Science , Professor, Rector of St. Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russia;

Members of the editorial Board

Mustafa B.-O. Babanly, Professor, Rector, Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan.

Alexey N. Davidyuk, Doctor of Technical Science, honored Builder of Russia, Director, Gvozdev NIIZHB, JSC "SIC Construction", Moscow, Russia.

Islam I. Djanzakov, Doctor of Technical Science, Professor, corresponding member, SRA RK, academician of MANEB, Atyrau, Republic of Kazakhstan.

Vladimir G. Kazachek, Doctor of Technical Science, Professor, senior researcher, Ataev Institute of Dwelling - NIPTIS Director of Mobile diagnostics in construction", Minsk, Republic of Belarus..

Magomed Kh. Magomedov, Doctor of Mathematics and Physics, General Director, "SAUNO" ltd. Moscow, Russia.

Gregory V. Nesvetaev, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Construction Technologies Department, FSBEI HE "Don State Technical University", Rostov-on-Don, Russia.

Vladimir D. Raizer, Ph.D., Professor, California, San Diego, USA.

Alexander B. Sulin, Doctor of Technical Science, Professor, corresponding member, MAX, Institute of Industrial and Marine Medicine of Federal Medical and Biological Agency, St. Petersburg, Russia.

Vyacheslav M. Khachumov, Doctor of Technical Science, Professor, head of laboratory, Institute for Systems Analysis of RAS, Moscow, Russia.

Yousuf N. Emirov, Doctor of Mathematics and Physics, research associate, Nanotechnology Research and Education Center, University of South Florida, USA.

Alexey G. Yakunin, Doctor of Technical Science, Professor, head of the department, Computing Systems and Information Security", FSBEI HE "Polzunov Altai State Technical University" Barnaul, Russia.

| | Research areas |
|--|---|
| Physical- mathematical science | Mechanics |
| Technical science | Power, Metallurgical and Chemical Mechanical Engineering |
| Computer science, Computer Engineering and Management | Building and architecture |
| Economic science | |
| Herald of Daghestan State Technical University. | Technical Science Volume 42, No.3 Makhachkala, 2016 –235p. |
| Published by decision of the Academic Council FSBEI HE «DSTU» | |
| Edition address: | 70, I. Shamil Ave., 367015, Makhachkala, the Republic of Daghestan FSBEI HE "DSTU" Tel./fax (8722)623715 (8722)623964 |

CONTENTS

PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE

| | |
|-----------------|---|
| MECHANICS | 8 |
|-----------------|---|

Elifhan K.Agachanov, Galina M.Kravchenko, Elena V.Trufanova

| | |
|--|---|
| REGULATION OF PARAMETERS OF NATURAL OSCILLATIONS OF THE SPATIAL FRAME OF THE BUILDING | 8 |
|--|---|

Gadzhi E.Agakhanov

| | |
|--|----|
| SIMULATION OF MULTIPLEXING OF TWO PHASE SOIL IN CASE OF COMPRESSION COMPRESSION | 16 |
|--|----|

Alexander F.Dorokhov, Nadyr K.Sanaev, Aleksey G.Provotor

| | |
|---|----|
| SATURATION OF THE SURFACE LAYER OF THE MIRROR CYLINDER OF PISTON INTERNAL COMBUSTION ENGINES IS HIGHLY ORGANIZED FORMS OF CARBON | 27 |
|---|----|

TECHICAL SCIENCE

| | |
|--|----|
| POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING | 34 |
|--|----|

Fedor I.Bukashev, Aishat R.Shakhmaeva

| | |
|---|----|
| DEVELOPMENT OF CONTROLLED RECTIFIERS BASED ON THE BIPOLAR WITH STATIC INDUCTION TRANSISTORS (BSIT) | 34 |
|---|----|

Rasul K.Gereykhannov

| | |
|---|----|
| ELECTRICITY QUALITY INDICATION IMPROVING ALGORITHM IN INDUSTRIAL ENTERPRISES | 45 |
|---|----|

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

| | |
|---|----|
| THERMOELECTRIC SYSTEM MODEL FOR HEAT UTILIZATION GENERATED BY ELECTRONIC | 53 |
|---|----|

Tagir A.Ismailov, Emin M.Muslimov, Arip T.Rashidkhanov, Shirali A.Yusufov

| | |
|--|----|
| ENSURING THERMAL REGIME FOR THE SUPPLY DISTRIBUTED DEVICES IN THE COMPOSITION OF THE SHIP'S SECONDARY POWER SUPPLY SYSTEMS ON THE BASE OF THE STANDARDIZED UNITS | 64 |
|--|----|

Tagir A. Ismailov, Madina A.Hazamova, Tamila A.Ragimova

| | |
|---|----|
| CRYOTHERMOAPPLICATIONAL THE RAPY IN NEUROLOGY WITH THE USE OF THERMOELECTRIC ENERGY CONVERTERS | 73 |
|---|----|

Tagir A. Ismailov, Aishat R. Shakhmaeva, Bike A.Shangereeva

| | |
|--|----|
| STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AFFECTING THE BIPOLAR STATIC INDUCTION TRANSISTOR (BSIT) RESISTANCE | 83 |
|--|----|

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

Olga P.Grigoryan, Milada R. Magomedova

| | |
|--|----|
| IMITATION MATHEMATICAL MODELING OF SUSPENDED PARTICLES EXPANSION TO DETERMINE THE AREAS OF INCREASED TURBIDITY IN THE ASSESSMENT OF DAMAGE TO WATER BIOLOGICAL RESOURCES OF THE CHEREK | 92 |
|--|----|

Islamuddin P.Kadiev, Pashay A.Kadiev

| | |
|--|-----|
| METHOD OF SETTING THE RULES OF MATRIX CONFIGURATIONS ELEMENTS INDEXING | 101 |
|--|-----|

Salman N.Mamedbekov, Arif O.Omarov, Rustam G.Radjabov

| | |
|---|-----|
| GEOEDETIC POINTS COORDINATES TRANSITION SIMULATION FROM THE ELLIPSOID SURFACE INTO THE SPACE CONFORMAL GAUSS-KRUGER PROJECTION | 110 |
|---|-----|

| | |
|---|------------|
| BUILDING AND ARCHITECTURE | 119 |
| <i>Nasrudin K.Akaev, Abusupyan K.Yusupov</i> | |
| CALCULATION ALGORITHM TRUSS UNDER CRANE BEAMS | 119 |
| | |
| <i>Rasul M. Aliev, Rinat K.Gumarov</i> | |
| THE TEREK-CASPIAN FOREDEEP OIL AND GAS CONTENT IN THE TERRITORY OF THE DAGESTAN PLAIN | 131 |
| | |
| <i>Natalia A.Belova, Nina A.Strahova, Petimat S.Tsamaeva</i> | |
| THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY PRODUCTION OF BITUMEN FOR THE ROAD PAVING | 144 |
| | |
| <i>Rajab I.Vistalov, Hayrulla M.Muselemov, Osman M.Ustarkhanov</i> | |
| THE DEFINITION OF THE GIVEN CHARACTERISTICS OF HONEYCOMB FILLERS OF THE DIFFERENT SHAPES | 155 |
| | |
| <i>Shamil G.Jalalov, Kamil A.Otsokov</i> | |
| THE WAYS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF FOAM CONCRETE | 167 |
| | |
| <i>Ramazan M.Curbanov, Gadzhimagomed N.Hadzhishalapov, Tolia A.Hezhev</i> | |
| INTENSIFY HEAT-RESISTANT BINDER BASED ON PORTLAND CEMENT | 176 |
| | |
| <i>Zagir A.Manturow, Arif O.Omarov, Adilbiy B.Toturbiev, Umuy D.Toturbieva</i> | |
| ARBOLITCONCRETE ON SILICATESODIUM COMPOSITE BINDER AND SCRAPS OF VINE | 183 |
| | |
| <i>Side-Alvi Y.Murtazaev, Madina Sh.Salamanova, Magomed S.Hubaev</i> | |
| FORMULATION OF SELF-COMPACTING CONCRETE USING RAW MATERIALS OF THE NORTH CAUCASUS | 193 |
| | |
| ECONOMIC SCIENCE | 203 |
| | |
| <i>Tamara K.Abdullayeva, Bukar N.Gamidullaev, Ramin B.Gamidullaev</i> | |
| THE MAIN FACTORS COMPLEX CLASSIFICATION OF THE ENTERPRISE MANAGEMENT PROCESSES REENGINEERING | 203 |
| | |
| <i>Shani T.Ismailova, Djaminat R.Emirbekova</i> | |
| METHODICAL ASPECTS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF MANAGEMENT RESOURCE POTENTIAL OF A CONSTRUCTION ENTERPRISE | 211 |
| | |
| <i>Izmet M.Meilanov, Aida M.Esetova</i> | |
| DEVELOPMENT OF THE STATE SUPPORT FORMS PROJECTS IN INDUSTRIAL BUILDING | 220 |

Для цитирования: Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):8-15. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-8-15

For citation: Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. REGULATION OF PARAMETERS OF NATURAL OSCILLATIONS OF THE SPATIAL FRAME OF THE BUILDING. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):8-15. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-8-15

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ. МЕХАНИКА PHYSICAL-MATHEMATICAL SCIENCE. MECHANICS

УДК 624.048

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-8-15

Агаханов Э.К.¹, Кравченко Г.М.², Труфанова Е.В.³

¹Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, e-mail: elifhan@bk.ru.

²³Донской государственный технический университет»,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1², e-mail: Galina.907@mail.ru

³e-mail: El.Trufanova@mail.ru

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО КАРКАСА ЗДАНИЯ

Аннотация. Цель. В статье рассматривается проблема влияния геометрических характеристик элементов железобетонного каркаса здания на параметры форм собственных колебаний системы. Методы. Разработана конечно-элементная модель объекта в программном комплексе Ing+ по пространственной плитно-стержневой схеме методом конечных элементов. Плитный ростверк, плиты перекрытия и покрытия, стены и диафрагмы жесткости моделировались треугольными оболочечными элементами с 18-ю степенями свободы и четырехугольными оболочечными элементами с 24-ю степенями свободы. Колонны моделировались пространственными стержнями с 12-ю степенями свободы. Пространственная жесткость каркаса обеспечена совместной работой колонн, диафрагм жесткости и плит перекрытий. Расчетная схема разработана с учетом жесткой заделки колонн, диафрагм жесткости и стен в монолитный плитный ростверк. Результаты. Исследовано семь вариантов различных проектных решений каркаса многоэтажного здания. В проектных решениях варьировались параметры поперечного сечения стен шахты лифта, диафрагм жесткости и плит перекрытий. В результате динамического расчета в программном комплексе Ing+ МКЭ получены максимальные перемещения верхней точки плиты перекрытия, частоты и периоды собственных колебаний. Вывод. Выполнен анализ результатов исследований по регулированию форм и частот собственных колебаний каркаса здания с учетом изменения жесткостей элементов каркаса. Результаты динамического расчета сведены в табличную, графическую и иллюстративную формы. Даны рекомендации по выбору варианта проектных решений каркаса здания с оптимальными параметрами собственных колебаний.

Ключевые слова: каркас здания, геометрические характеристики элементов каркаса, динамический расчет, формы собственных колебаний, метод конечных элементов, конечно-элементная модель, параметры собственных колебаний

Elifhan K.¹ Agachanov, Galina M.² Kravchenko, Elena V.³ Trufanova

¹Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
e-mail: elifhan@bk.ru,

²³Donskoy State Technical University,
1 Gagarina square, Rostov-on-Don, 344000,
²e-mail: Galina.907@mail.ru,

³e-mail: El.Trufanova@mail.ru

REGULATION OF PARAMETERS OF NATURAL OSCILLATIONS OF THE SPATIAL FRAME OF THE BUILDING

Abstract. Aim. In article the problem of influence of geometrical characteristics of elements of a steel concrete frame of the building on parameters of forms of natural oscillations of system is considered. **Methods.** The finite and element model of an object in a program complex of ING + according to the spatial slabby and rod diagram is developed by the finite-element method. A slabby grillage, plates of overlapping and a covering, a wall and a diaphragm of rigidness were modelled by triangular cover elements with 18 levels of freedom and quadrangular cover elements with the 24th freedom levels. Columns were modelled by spatial rods with 12 levels of freedom. Spatial rigidness of a frame is provided with collaboration of columns, diaphragms of rigidness and plates of overlappings. The estimated diagram is developed taking into account rigid seal of columns, diaphragms of rigidness and walls in a monolithic slabby grillage. **Results.** Seven versions of different project solutions of a frame of the multi-storey building are probed. In project decisions parameters of a transverse section of walls of the elevator shaft, diaphragms of cruelty and plates of overlappings varied. As a result of dynamic calculation in a program complex of ING + MKE are received the maximum relocation of the upper point of a plate of overlapping, frequency and the periods of natural oscillations. **Conclusion.** The analysis of results of researches on regulation of forms and frequencies of natural oscillations of a frame of the building taking into account change of rigidities of elements of a frame is made. Results of dynamic calculation are reduced in plate, graphic and illustrative forms. Recommendations about a choice of version of project solutions of a frame of the building with optimum parameters of natural oscillations are made.

Key words: building frame, geometrical characteristics of elements of a frame, dynamic calculation, forms of natural oscillations, finite-element method, finite and element model, parameters of natural oscillations

Введение. Регулирование частот собственных колебаний является одной из основных задач динамики сооружений. Задача регулирования перемещений и усилий в элементах строительных конструкций на разных стадиях работы сооружения может быть решена варьированием соотношения жесткостей элементов каркаса здания [3,4]. Современные нормы проектирования требуют выполнения расчета каркаса здания с учетом динамических воздействий. В связи с этим встает вопрос оптимального соотношения жесткостей каркаса здания при динамическом расчете [8]. Наиболее опасной считаются формы с низкими частотами колебаний. При регулировании параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания необходимо стремиться к минимальным отклонениям здания от вертикали. Кроме того, конструктивную схему здания следует принимать такой, при которой эффект закручивания в первых двух формах колебаний минимальный [17].

Постановка задачи. Постановка задачи регулирования форм и частот собственных колебаний пространственного каркаса здания требует выбора таких варьируемых параметров, которые в результате будут удовлетворять условиям надежности конструкции [14]. Для решения поставленной задачи необходимо предварительно задать область возможных решений с изменением варьируемых параметров [1]. При этом не ставится задача минимизации расходуемого материала. С целью упрощения модели пространственного каркаса здания совместная работа с грунтом основания не учитывалась. Принятые допущения несущественно влияют на точность полученных результатов [5,6,7,11].

Методы исследования. Объект исследования – 11-ти этажный жилой дом в г. Ростов-на-Дону. Жесткость сооружения обеспечена совместной работой элементов железобетонного каркаса. Класс бетона фундаментного плитного ростверка В20, стен подвала и элементов каркаса – В25. Высота фундаментной плиты – 900 мм, сечение колонн подвала, первого и второго этажей 500x500 мм, третьего и последующих этажей – 400x400 мм. Толщина стен подвала – 300 мм.

Для решения поставленной задачи выполнено моделирование пространственного каркаса здания методом конечных элементов по плитно-стержневой схеме в программном комплексе

Ing+ [13]. Плитный ростверк, плиты перекрытия и покрытия, стены и диафрагмы жесткости моделировались треугольными оболочечными элементами с 18-ю степенями свободы и четырехугольными оболочечными элементами с 24-ю степенями свободы. Колонны моделировались пространственными стержнями с 12-ю степенями свободы [16, 19, 20]. Расчетная схема разработана с учетом жесткой заделки колонн, диафрагм жесткости и стен в монолитный плитный ростверк. Основной шаг конечно-элементной сетки расчетной схемы 600x600 мм. Количество элементов – 42189. Количество узлов – 41362 (рис.1).

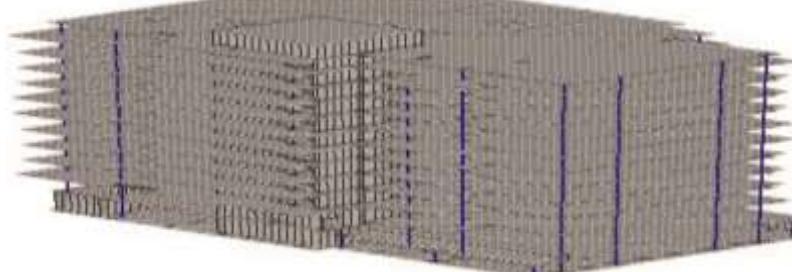


Рисунок 1 - Расчетная схема

В расчетной схеме учтены нагрузки, создающие инерционные силы: собственный вес несущих конструкций (учитывается программой автоматически), постоянные нагрузки, временные (полезные и снеговые) нагрузки. Для динамического расчета нагрузки и вес элементов конструкций переведены в массы (табл. 1) [2, 10, 12].

Таблица 1 - Комбинация расчетных масс

| Комбинации | Собственные колебания | | Дополнительные колебания |
|------------|-----------------------|------|--------------------------|
| | НГ-1 | НГ-2 | |
| | 0,1 | 0,1 | 0,09 |

Для решения вопроса о влиянии геометрических характеристик элементов железобетонного каркаса здания на параметры форм собственных колебаний системы исследовано 7 различных конечно-элементных моделей каркаса многоэтажного здания с использованием программного комплекса Ing+ [18]. Варьировались параметры поперечного сечения стен шахты лифта, диафрагм жесткости и плит перекрытий.

Геометрические характеристики поперечных сечений элементов пространственной плитно-стержневой модели по 7 вариантам представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристики поперечных сечений элементов пространственной плитно-стержневой модели

| № варианта | Толщина стен шахты лифта, мм. | Толщина диафрагм жесткости, мм. | Высота плит, мм. |
|------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|
| 1 | 200 | 200 | 220 |
| 2 | 300 | 300 | 220 |
| 3 | 250 | 250 | 220 |
| 4 | 180 | 180 | 220 |
| 5 | 200 | 300 | 220 |
| 6 | 200 | 300 | 200 |
| 7 | 200 | 300 | 230 |

В результате динамических расчетов семи вариантов расчетных схем получены формы и частоты собственных колебаний перемещения в узлах конструкции.

Общий вид форм колебаний для всех моделей представлен на рисунке 2.

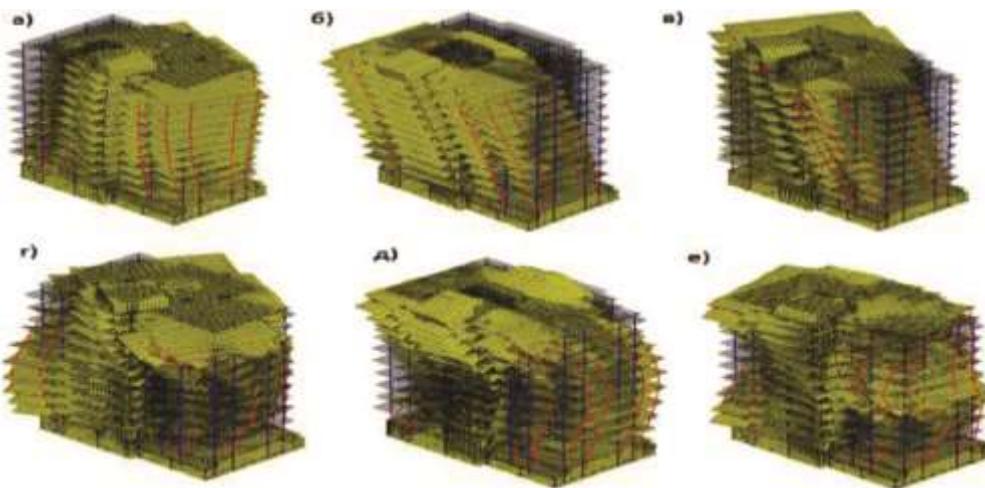


Рисунок 2 - Результаты расчета на собственные колебания:
 а) форма 1; б) форма 2; в) форма 3; г) форма 4; д) форма 5; е) форма 6.

Обсуждение результатов. Конструктивно-планировочное решение рассматриваемого жилого здания является сложным. Первая форма собственных колебаний является крутильной относительно вертикальной оси [9, 15].

Результаты динамического расчета показали, что частоты колебаний четвертой, пятой и шестой форм превышают 1,2 Гц и могут не учитываться в соответствии с п.11 табл. 11.5 СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Угловая скорость, частота колебаний и период колебания для первых трех форм колебаний по всем исследуемым моделям каркаса здания показаны на графиках (рис.3).

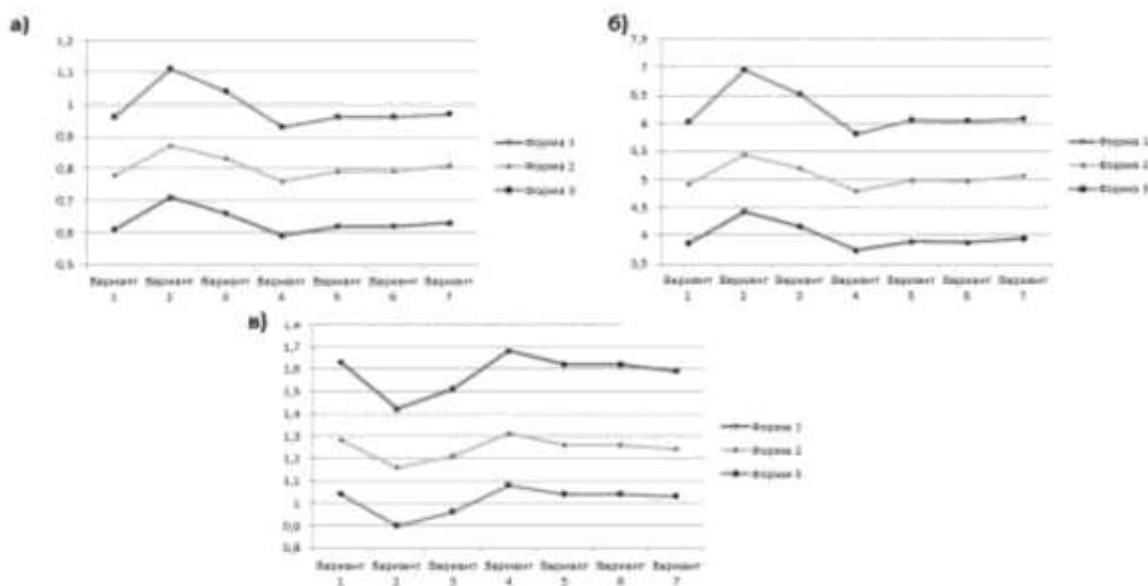


Рисунок 3 - Результаты динамического расчета:
 а) угловая скорость; б) частота колебаний; в) период колебаний.

Характер изменения параметров свободных колебаний показал фактическое совпадение динамических характеристик в пределах исследования каждой формы для первого, пятого и

шестого вариантов расчетной схемы. Наиболее оптимальным является вариант №4, для которого получены минимальные частоты, угловые скорости и максимальный период колебаний.

В расчетной модели №2 получены максимальные скорости колебаний. Изменение спектра частот, угловых скоростей и периодов колебания внутри каждой формы не превышает 16,3%.

Максимальные перемещения угловой точки покрытия для каждой из форм собственных колебаний отражены на диаграммах (рисунки 4-6) [3].

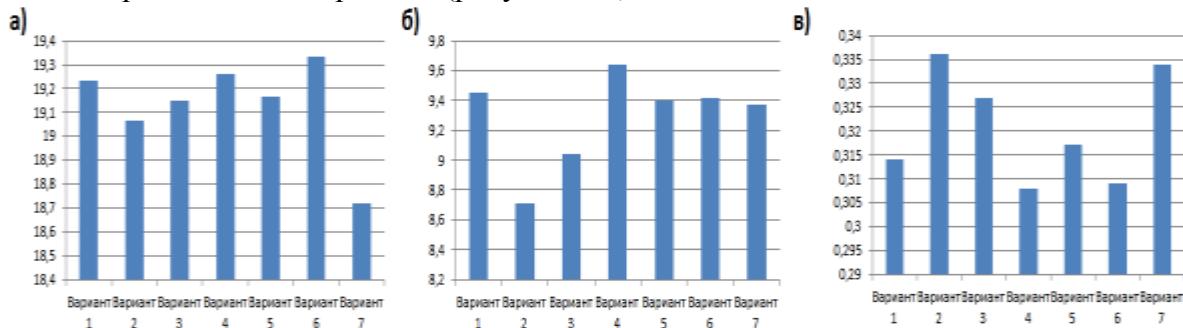


Рисунок 4 - Перемещения угловой точки покрытия при первой форме колебания:
 а) по оси X; б) по оси Y; в) по оси Z.

Максимальные перемещения угловой точки покрытия при первой форме колебания по оси X наблюдаются в шестом варианте, по оси Y – в четвертом, по оси Z – во втором. Наибольшее отклонение угловой точки покрытия от проектного положения достигается по оси X и равно 19,336 мм.

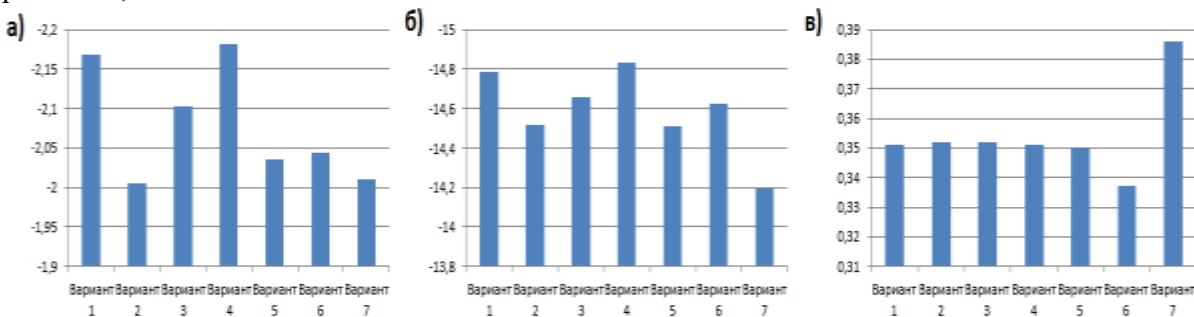


Рисунок 5 - Перемещения угловой точки покрытия при второй форме колебания:
 а) по оси X; б) по оси Y; в) по оси Z.

Анализ результатов исследования второй формы колебания на перемещения показал, что наибольшее отклонение угловой точки покрытия от проектного положения достигается по оси Y в четвертом варианте расчетной схемы и равняется 14,832 мм.

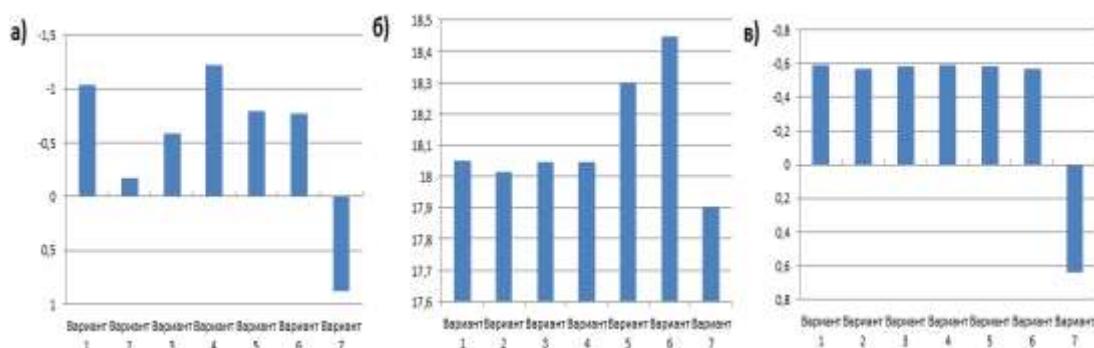


Рисунок 6 - Перемещения угловой точки покрытия при третьей форме колебания:
 а) по оси X; б) по оси Y; в) по оси Z.

В третьей форме колебания наблюдается смена направления перемещения по осям X и Z для седьмой модели расчетной схемы. Наибольшее перемещение, равное 18,448 мм, отмечено по оси Y в шестом варианте расчетной схемы.

Вывод. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания и определение динамических перемещений может быть достигнуто изменением жесткостей отдельных элементов каркаса здания. Метод конечных элементов позволяет выполнить исследование нескольких вариантов проектных решений, проанализировать полученный спектр частот и форм собственных колебаний. Для исследуемого объекта многоэтажного жилого здания в г. Ростов-на-Дону получена модель №4 с оптимальными формами, частотами и периодом собственных колебаний.

Библиографический список:

1. Абакаров А.Д., Зайнулабидова Х.Р. Вероятностные модели сейсмических воздействий. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2009. – Т.15 – №4 – С. 92-97.
2. Абдуразаков Г.М., Абакаров А.Д. Построение расчетных моделей оценки живучести рамных систем при сейсмическом воздействии. Вопросы современных технических наук: Свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов конференции. М. : – 2015. – С. 58-61.
3. Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Саченков В.И. и др. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости (регулирование, синтез, оптимизация). Учебное пособие для ВУЗов. – М.: – Стройиздат. – 1978. – С. 25-26.
4. Агаханов Г.Э. Решение задач механики деформируемого твердого тела с использованием фиктивных расчетных схем. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.38 – №3 – 2015. –С. 8-15. DOI:10.21822/2073-6185-2015-38-3-8-15.
5. Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Панасюк Л.Н., Труфанова Е.В. Реализация метода кинематической декомпозиции для расчетов в нелинейной постановке. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.35 – № 4. – 2014. – С.14-19. DOI:10.21822/2073-6185-2014-35-4-14-19.
6. Агаханов Э.К. О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.29 – №2. – 2013. – С. 39-45. DOI:10.21822/2073-6185-2013-29-2-39-45.
7. Агаханов Э.К. Развитие комплексных методов в механике деформируемого твердого тела. Материалы Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО «ГГНТУ», г. Грозный. – 2015. – С.99-105.
8. Кравченко Г.М., Казанцев А.А., Шамитько Д.А. Определение оптимальных параметров стержневых и плитных систем. Theoretical Foundation of Civil Engineering, Варшава. – 2006. – С.78-82.
9. Кравченко Г.М., Коробкин А.П., Труфанова Е.В., Лукьянов В.И. Критерии оценки динамических моделей железобетонного каркаса здания. Science Time. – 2014. - С. 255-260.
10. Муртазалиев Г.М., Акаев А.И., Пайзулаев М.М. Основные соотношения начального этапа послекритического деформирования конструкций. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – Т.28 – № 1. – 2013. - С. 90-93. DOI:10.21822/2073-6185-2013-28-1-90-94.
11. Муртазалиев Г.М., Дибиргаджиев А.М. Вариационные принципы механики конструкций//Сборник тезисов докладов XXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». – 2015. – С.118-119.

12. Труфанова Е.В., Панасюк Е.Л. Влияние упрощающих гипотез при моделировании объектов строительства на точность конструктивных результатов. Наука и бизнес: пути развития. - 2013. – Т.26 – №8 – С.11-18.
13. Batht K.-J. Finite Element Procedures. *New Jersey: Prentice Hall*, 1996, pp.95-97.
14. Engel H. Structure Systems. *Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt*, 1967, pp. 23-24.
15. Lutz L.A. Analysis of Stress in Concrete Hear a Reinforcing Bar Due To Bond and Transverse. *ACI Journal*, 1979, no.10, pp.12-15.
16. Nilsen A.H. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by the Finite Element Method. *ACI Journal*, 1968, vol.65, no.9, pp.6-70.
17. Raymond W. Clough, Joseph Penzien. Dynamics of Structures. *New York: McGraw-Hill*, 1993, pp.29-31.
18. Semenov V.A. Hybrid finite elements for analysis of shell structures. *Proceedings of international congress ICSS-98*, June 22-26, 1998, Moscow, Russia, 1998, vol.1, pp.47-49.
19. Simbirkin V. Analysis of Reinforced Concrete Loadbearing Systems of Multistorey Buildings. Modern Building Materials, Structures and Techniques. *CD-ROM Proceedings of the 8th International Conference*, Vilnius, May 19-21, 2004, pp.98-99.
20. Yakushev Vladimir Analysis of numerical methods for building structures in STARK ES. *ABSE-IASS-2011 Symposium*, London, 20 - 23 September, 2011, pp.54-56.

References:

1. Abakarov A.D., Zaynulabidova H.R. Probabilistic models of seismic effects. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical science]*, 2009. vol.15, no.4, pp.92-97. (In Russian)
2. Abdurazakov G.M., Abakarov A.D. Construction of settlement survivability assessment models frame systems under seismic impacts. *Voprosy sovremennoy tekhnicheskikh nauk: Svezhii vzglyad i novye resheniya. Sbornik nauchnykh trudov konferentsii* [Questions of modern engineering science: A fresh look and new solutions. *Collection of scientific papers Conference*]. 2015, pp. 58-61. (In Russian)
3. Abovsky N.P., Endzhiievsky L.V., Sachenkov V.I. et al. Selected problems in structural mechanics and theory of elasticity (regulation, synthesis, optimization). *Uchebnoe posobie dlya VUZov* [Textbook for High Schools]. Moscow: *Stroyizdat*, 1978, pp.25-26. (In Russian)
4. Agakhanov G.E. Agakhanov G.E. The solution of problems of mechanics of the deformable solid body with use of fictitious settlement schemes. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Science]*, 2015, vol.38, no.3, pp.8-15. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2015-38-3-8-15.
5. Agakhanov E.K., Kravchenko G.M., Panasyuk L.N., Trufanova E.V. Implementation of the method of kinematic decomposition for calculations in nonlinear formulation. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]*, 2014, vol.35, no.4, pp.14-19. (In Russian). DOI:10.21822/2073-6185-2014-35-4-14-19.
6. Agakhanov E.K. About development of complex decision methods of the problems of deformable solid body mechanics. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]*, 2013, vol.29, no.2, pp.39-45. (In Russian). DOI:10.21822/2073-6185-2013-29-2-39-45.
7. Agakhanov E.K. Development of complex methods in solid mechanics. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Groznyy. [International scientific-practical conference]*, Grozny, 2015, pp.99-105. (In Russian)
8. Kravchenko G.M., Kazantsev A.A., Shamitko D.A. Determination of the optimal parameters of plate and rod systems. *[Theoretical Foundation of Civil Engineering]*, Warsaw, 2006, pp.78-82. (In Russian)

9.Kravchenko G.M., Korobkin A.P., Trufanova E.V., Lukyanov V.I. Criteria for evaluation of dynamic models of reinforced concrete frame building. *Science Time*, 2014, pp.255-260. (In Russian)

10.Murtazaliyev G.M., Akaev A.I., Payzulaev M.M. Main ratios of the initial stage of poslekritichechky of deformation of designs. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]*, 2013, vol.28, no.1. pp.90-94. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2013-28-1-90-94.

11.Murtazaliev G.M., Dibirgadzhiev A.M. Variational principles of mechanics of structures. Abstracts of the XXXVI final scientific conference of teachers, staff and students Dagestan State Technical University. Dagestanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet [Dagestan State Technical University], 2015, pp.118-119. (In Russian)

12.Trufanova E.V., Panasyuk E.L. Influence of simplifying hypotheses in modeling of construction projects on the accuracy of design results. *[Science and business: ways of development]*, Nauka i biznes: puti razvitiya, 2013, vol.26, no.8, pp.11-18. (In Russian)

13.Bath K.-J. Finite Element Procedures. *New Jersey: Prentice Hall*, 1996, pp.95-97.

14.Engel H. Structure Systems. *Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt*, 1967, pp.23-24.

15.Lutz L.A. Analysis of Stress in Concrete Hear a Reinforcing Bar Due To Bond and Transverse. *ACI Journal*, 1979, no.10, pp.12-15.

16.Nilsen A.H. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by the Finite Element Method. *ACI Journal*, 1968, vol. 65, no.9, pp.6-70.

17.Raymond W. Clough, Joseph Penzien. Dynamics of Structures. *New York: McGraw-Hill*, 1993, pp.29-31.

18.Semenov V.A. Hybrid finite elements for analysis of shell structures. *Proceedings of international congress ICSS-98*, June 22-26, 1998, Moscow, Russia, 1998, vol.1, pp.47-49.

19.Simbirkin V. Analysis of Reinforced Concrete Loadbearing Systems of Multistorey Buildings. Modern Building Materials, Structures and Techniques. *CD-ROM Proceedings of the 8th International Conference*, Vilnius, May 19-21, 2004, pp.98-99.

20. Yakushev Vladimir Analysis of numerical methods for building structures in STARK ES. *ABSE-IASS-2011 Symposium*, London, 20 - 23 September, 2011, pp.54-56.

Сведения об авторах

Агаханов Элифхан Керимханович—доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов.

Кравченко Галина Михайловна – кандидат технических наук, профессор кафедры технической механики, академия строительства и архитектуры.

Труфанова Елена Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики, академия строительства и архитектуры.

Authors information.

Elifhan K.Agakhanov – doctor of technical science, Professor, head of roads, bases and foundations of the transport faculty.

Galina M.Kravchenko – PhD of technical science, Professor of the Department of technical mechanics, Academy of construction and architecture.

Elena V.Trufanova – PhD of technical science, associate Professor of the Department of technical mechanics, Academy of construction and architecture.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 05.06.2016.

Принята в печать 22.07.2016.

Conflict of interest

Received 05.06.2016.

Accepted for publication 22.07.2016.

Для цитирования: Агаханов Г.Э. МОДЕЛИРОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ГРУНТА ПРИ КОМПРЕССИОННОМ СЖАТИИ. *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2016;42 (3):16-26. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-16-26

For citation: Agakhanov G.E. SIMULATION OF MULTIPLEXING OF TWO PHASE SOIL IN CASE OF COMPRESSION COMPRESSION. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences.* 2016;42 (3):16-26. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-16-26

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ. МЕХАНИКА PHYSICAL-MATHEMATICAL SCIENCE. MECHANICS

УДК 539.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-16-26

Агаханов Г.Э.

Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
e-mail: elishan@bk.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ГРУНТА ПРИ КОМПРЕССИОННОМ СЖАТИИ

Аннотация. Цель. Статья посвящена поиску методов решения задачи уплотнения слоя двухфазного грунта при компрессионном сжатии равномерно распределенной нагрузкой. **Методы.** По расчетной модели сплошного изотропного тела с линейно-наследственной ползучестью в случае инвариантности среды и постоянства коэффициента Пуассона во времени, а также с учетом различной сопротивляемости скелета грунта при уплотнении и разуплотнении получено решение задачи уплотнения слоя двухфазного грунта при компрессионном сжатии равномерно распределенной нагрузкой. **Результаты.** Анализ полученного решения показывает, что при постоянстве во времени коэффициента Пуассона среды, ползучесть не влияет на напряженное состояние, а лишь сказывается на деформации или перемещения (осадку), что соответствует ранее установленным положениям. При постоянстве коэффициента Пуассона напряженно-деформированное состояние среды можно определить и методом упругой аналогии, решая соответствующую упругомгновенную задачу. Решение уравнения для порового давления выполнено методом Фурье. По полученному аналитическому решению составлена блок-схема и программа в пакете Matlab с использованием встроенного языка программирования системы Matlab. **Вывод.** Для двух вариантов условий дренирования выполнен расчет функции порового давления, функции бокового распора и степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести; построены их поверхности распределения и графики изменения.

Ключевые слова: уплотнение двухфазного грунта, компрессионное сжатие, линейно-наследственная ползучесть, различная сопротивляемость скелета грунта при уплотнении и разуплотнении, сжимаемая поровая жидкость

Gadzhi E. Agakhanov
*Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
e-mail: elishan@bk.ru*

SIMULATION OF MULTIPLEXING OF TWO PHASE SOIL IN CASE OF COMPRESSION COMPRESSION

Abstract. Aim. The article is devoted to solving the problem of finding metoda seal a two phase soil layer under compression compression uniformly distributed load. **Methods.** On estimated model of a continuous isotropic body with linear and hereditary creep in case of invariance of the environment and a persistence of coefficient of Poisson in time, and also taking into account different resilience of a skeleton of soil when multiplexing and demultiplexing the decision of the task of multiplexing of a layer of two-phase soil in case of compression is received by a uniformly distributed load.

Special cases of the intense deformed status are considered. **Results.** The analysis of the received decision shows that in case of a persistence in time of coefficient of Poisson of the environment, creep doesn't influence tension, and only affects deformation or relocation (settling) that corresponds to earlier set provisions. In case of a persistence of coefficient of Poisson the intense deformed status of the environment can be determined also by method of elastic analogy, solving the appropriate uprugomgnovenny problem. The solution of the equation for pore pressure is executed by Fourier method. According to the received analytical decision the flowchart and the program in Matlab packet with use of the built-in programming language of the Matlab system is made. **Conclusion.** For two options of conditions of drainage calculation of function of pore pressure, function of a side raspor and level of consolidation of a layer taking into account and without creep is executed and their surfaces of distribution and a graphics of change are constructed.

Key words: consolidation of two-phase soil, compression compression, linear and hereditary creep, different resilience of a skeleton of soil when multiplexing and demultiplexing, the compressed steam liquid

Введение. Процесс консолидации водонасыщенной двухфазной грунтовой системы, находящейся под действием поверхностных сил, сопровождается возникновением сил взаимодействия между двумя фазами грунта (грунтовым скелетом и поровой водой), обуславливаемых явлениями взвешивания скелета грунта за счет возникших давлений в поровой жидкости [13, 19, 22, 23-24].

Постановка задачи. Принимая расчетную модель сплошного изотропного тела с линейно-наследственной ползучестью, система уравнений для оценки воздействия порового давления на грунт в случае инвариантности среды и постоянства коэффициента Пуассона во времени, а также с учетом различной сопротивляемости скелета грунта при уплотнении и разуплотнении, имеет вид [1, 2, 9, 11, 17]:

$$\left. \begin{aligned} S_c \left(\nabla^2 u + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \varepsilon_o}{\partial x} \right) + S_o^y \left(\frac{\partial \varepsilon_o}{\partial x} \right) &= \frac{1}{\beta} \frac{\partial p_w}{\partial x}; \\ S_c \left(\nabla^2 v + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \varepsilon_o}{\partial y} \right) + S_o^y \left(\frac{\partial \varepsilon_o}{\partial y} \right) &= \frac{1}{\beta} \frac{\partial p_w}{\partial y}; \\ S_c \left(\nabla^2 w + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \varepsilon_o}{\partial z} \right) + S_o^y \left(\frac{\partial \varepsilon_o}{\partial z} \right) &= \frac{1}{\beta} \frac{\partial p_w}{\partial z}; \\ \frac{\partial \varepsilon_o}{\partial t} &= \frac{k_\phi}{\gamma_w} \nabla^2 p_w - \frac{3n_{cp}}{\alpha_w} \cdot \frac{\partial p_w}{\partial t}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Полные (общие) напряжения при этом определяются по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= S_c \left(\frac{4\varepsilon_x - 2\varepsilon_y - 2\varepsilon_z}{3} \right) + S_o^y (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \sigma_y &= S_c \left(\frac{4\varepsilon_y - 2\varepsilon_z - 2\varepsilon_x}{3} \right) + S_o^y (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \sigma_z &= S_c \left(\frac{4\varepsilon_z - 2\varepsilon_x - 2\varepsilon_y}{3} \right) + S_o^y (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \tau_{xy} &= S_c (\gamma_{xy}); \\ \tau_{yz} &= S_c (\gamma_{yz}); \\ \tau_{zx} &= S_c (\gamma_{zx}). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Рассмотрим одномерную задачу уплотнения слоя двухфазного грунта мощности h , загруженного равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q . Пусть консолидируемый слой лежит на скальном недеформируемом основании.

Рассмотрены два варианта условий дренирования:

а) водопроницаемые обе поверхности ($z = 0$; $z = h$) консолидируемого слоя

$$p_w|_{z=0} = 0; \quad p_w|_{z=h} = 0; \quad (3)$$

б) поверхность $z = 0$ водопроницаема, а поверхность $z = h$ водонепроницаема

$$p_w|_{z=0} = 0; \quad \frac{\partial p_w}{\partial z}|_{z=h} = 0. \quad (4)$$

Методы исследования. Полагая в системе уравнений (2) составляющие деформаций

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0; \quad \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0,$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x = \sigma_y &= S_c \left(\frac{-2\varepsilon_z}{3} \right) + S_o^y (\varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \sigma_z &= S_c \left(\frac{4\varepsilon_z}{3} \right) + S_o^y (\varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

С учетом условия $R_c(t - \tau) = R_o(t - \tau) = R(t - \tau)$ система уравнений (5) принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x = \sigma_y &= \frac{3E_o^y - 2G}{3} S(\varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \sigma_z &= \frac{3E_o^y - 4G}{3} S(\varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $S(\varepsilon)$ - оператор, имеющий вид [3]:

$$S(\varepsilon) = \varepsilon(t) - \int_0^t \varepsilon(\tau) R(t - \tau) d\tau.$$

Принимая во втором уравнении системы (6) $\sigma_z = -q$, имеем

$$S(\varepsilon_z) = -\frac{3}{3E_o^y + 4G} \left[q - \frac{1}{\beta} p_w \right]. \quad (7)$$

Подставляя уравнение (7) в первое уравнение системы (6) получим

$$\sigma_x = \sigma_y = -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q - \frac{6G}{3E_o^y + 4G} \cdot \frac{1}{\beta} p_w. \quad (8)$$

Перейдя в выражении (7) к оператору L , обратному S

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{3}{3E_o^y + 4G} L \left(q - \frac{1}{\beta} p_w \right). \quad (9)$$

Интегрируя выражение (9) получим:

$$w = -\frac{3}{3E_o^y + 4G} L \left(qz - \frac{1}{\beta} \int_0^z p_w dz \right) + C. \quad (10)$$

Учитывая, что консолидируемый слой лежит на скальном недеформируемом основании, т. е. $w|_{z=h} = 0$, имеем

$$C = \frac{3}{3E_o^y + 4G} L \left(qh - \frac{1}{\beta} \int_0^h p_w dz \right). \quad (11)$$

Тогда осадка основания $s = w|_{z=0}$ в соответствии с уравнениями (10) и (11) будет равна

$$s = \frac{3}{3E_o^y + 4G} L \left(qh - \frac{1}{\beta} \int_0^h p_w dz \right). \quad (12)$$

Заметим, что формула для определения напряжений (8) не содержит ядро (резольвента ядра) ползучести, а в выражение для деформации (9) или перемещения (10) (осадки (12)) ядро ползучести входит. Это соответствует известному положению, что при постоянстве во времени

коэффициента Пуассона среды, ползучесть не влияет на напряженное состояние, а лишь сказывается на деформации или перемещении (осадка).

В данном случае, напряженно-деформированное состояние исходной задачи можно было получить и методом упругой аналогии, согласно которому достаточно решить упругомгновенную задачу и использовать зависимости [6, 8, 14]:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_x^y = \sigma_y^y; \quad (13)$$

$$w = L(w^y), \quad (14)$$

где σ_x^y , σ_y^y и w^y - напряжения и перемещение упругомгновенной задачи.

Остается найти поровое давление p_w .

Продифференцируем первые три уравнения системы (1) соответственно по x , y , z и сложим их

$$\frac{4G + 3E_o^y}{3} S(\nabla^2 \varepsilon_o) = \frac{1}{\beta} \nabla^2 p_w. \quad (15)$$

Уравнение (15) можно представить с точностью до произвольной гармонической функции, которую впоследствии примем равной нулю (соответствует поиску лишь первого приближения решения), в следующем виде [18, 21]

$$\frac{4G + 3E_o^y}{3} S(\varepsilon_o) = \frac{1}{\beta} p_w. \quad (16)$$

Простейшее предположение состоит в том, что объемные деформации от порового давления будем считать чисто упругими, т.е. без наследственной части [4]. При этом

$$\varepsilon_o = \frac{3}{\beta(4G + 3E_o^y)} p_w. \quad (17)$$

Дифференцируя уравнение (17) по t и сравнивая с последним уравнением системы (1), получим

$$c \nabla^2 p_w = \frac{\partial p_w}{\partial t}, \quad (18)$$

где $c = \frac{k_\phi}{\gamma_w \left(\frac{3}{\beta(4G + 3E_o^y)} + \frac{3n_{cp}}{\alpha_w} \right)}$.

В случае одномерной задачи $\left(\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$ уравнение (18) принимает вид:

$$c \frac{\partial^2 p_w}{\partial z^2} = \frac{\partial p_w}{\partial t}. \quad (19)$$

Полагая, что $p_w(z, t) = Z(z)T(t)$ решение уравнения (19) будем искать методом Фурье [12, 16, 20]. В соответствии с выражением (19) после разделения переменных получаем

$$\frac{Z''}{Z} = \frac{T'}{cT} = -\alpha_i^2, \text{ откуда } Z'' + \alpha_i^2 Z = 0 \text{ и } T' + \alpha_i^2 cT = 0. \quad (20)$$

Тогда для $Z(z)$ и $T(t)$ имеем $Z(z) = A \sin(\alpha_i z) + B \cos(\alpha_i z)$

и $T(t) = C \exp(-\alpha_i^2 ct)$,

где A , B , и C - произвольные постоянные.

Тогда частное решение уравнения (19) имеет вид

$$p_w(z, t) = [A \sin(\alpha_i z) + B \cos(\alpha_i z)] C \exp(-\alpha_i^2 ct). \quad (21)$$

Для условий дренирования (3) получаем $B = 0$ и $\alpha_i = \frac{i \cdot \pi}{h}$, где i - любое целое число.

В силу линейности уравнения (19), выражение

$$p_w(z, t) = \sum_{i=0}^{i=\infty} C_i \exp(-\alpha_i^2 ct) \sin(\alpha_i z) \quad (22)$$

также является его решением, удовлетворяющим граничным условиям (3), в котором вследствие произвольности величины C_i произвольная постоянная A_i может быть опущена.

Коэффициент C_i определим из условия, что в начальный момент времени $t = 0$ поровое давление $p_w(z, t)$ равно [10, 15]:

$$p_w(z, 0) = \frac{q}{\frac{1}{\beta} + n_{cp} \frac{4G + 3E^y}{\alpha_w}} = \beta b q, \quad (23)$$

где

$$b = \frac{1}{1 + \frac{n_{cp} \beta (4G + 3E^y)}{\alpha_w}}. \quad (24)$$

Значение функции $p_w(z, t)$ для момента времени $t = 0$ из выражения (22) подставим в условие (23)

$$\sum_{i=0}^{i=\infty} C_i \sin(\alpha_i z) = \frac{q}{\frac{1}{\beta} + n_{cp} \frac{4G + 3E^y}{\alpha_w}} = \beta b q.$$

Разлагая постоянную величину $\beta b q$ в ряд синусов и приравнивая соответствующие коэффициенты в правой и левой частях уравнения, имеем

$$C_i = \frac{4\beta b q}{\pi} \frac{1}{i}, \quad (25)$$

где $i = 1, 3, 5, \dots$.

Тогда согласно выражению (22), получаем

$$p_w(z, t) = \frac{4\beta b q}{\pi} \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i} \exp(-c \alpha_i^2 t) \sin(\alpha_i z). \quad (26)$$

Подставляя уравнение (26) в уравнения (8) и (12), мы получим окончательные расчетные формулы:

$$\begin{aligned} \sigma_x = \sigma_y = & -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q - \frac{24bqG}{\pi(3E_o^y + 4G)} \times \\ & \times \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i} \exp(-c \alpha_i^2 t) \sin(\alpha_i z); \end{aligned} \quad (27)$$

$$s = \frac{3qh}{3E_o^y + 4G} L \left(1 - \frac{8b}{\pi^2} \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i^2} \exp(-c \alpha_i^2 t) \right). \quad (28)$$

Принимая ядро ползучести в виде

$$L(t - \tau) = \delta \exp[-\delta_1(t - \tau)] \quad (29)$$

для осадки из (28) имеем

$$\begin{aligned} s = & \frac{3}{3E_o^y + 4G} qh \left\{ 1 + \frac{\delta}{\delta_1} [1 - \exp(-\delta_1 t)] - \frac{8b}{\pi^2} \times \right. \\ & \times \left. \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i^2} \left[\exp(-c \alpha_i^2 t) + \frac{\delta}{(\delta_1 - c \alpha_i^2)} [\exp(-c \alpha_i^2 t) - \exp(-\delta_1 t)] \right] \right\}. \end{aligned} \quad (30)$$

Рассмотрим мгновенное напряженно-деформированное состояние (начальное состояние) $t = 0$.

Тогда с учетом суммы рядов Фурье $\sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{i^2} = \frac{\pi^2}{8}$ и $\sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{i} \sin(\alpha_i z) = \frac{\pi}{4}$

(при $0 \leq z \leq h$) выражения (26), (27) и (30) принимают вид

$$p_w(z,0) = \frac{4\beta b q}{\pi} \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i} \sin(\alpha_i z) = \beta b q ; \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x = \sigma_y &= -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q - \frac{24bqG}{\pi(3E_o^y + 4G)} \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i} \sin(\alpha_i z) = \\ &= -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q - \frac{6bqG}{3E_o^y + 4G} ; \end{aligned} \quad (32)$$

$$s = \frac{3}{3E_o^y + 4G} qh \left[1 - \frac{8b}{\pi^2} \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i^2} \right] = \frac{3}{3E_o^y + 4G} qh [1 - b] . \quad (33)$$

Определим конечное напряженно-деформированное состояние («стабилизированное» состояние) $t \rightarrow \infty$.

В этом случае выражения (26), (27) и (30) имеют вид

$$p_w(z,\infty) = 0 ; \quad (34)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q ; \quad (35)$$

$$s = \frac{3}{3E_o^y + 4G} qh \left(1 + \frac{\delta}{\delta_1} \right) . \quad (36)$$

В случае, когда поровая жидкость является несжимаемой [7] ($\alpha_w \rightarrow \infty$),

$$c = \frac{k_\phi \beta (4G + 3E^y)}{3\gamma_w} , \quad b = 1 . \quad (37)$$

Легко заметить, что для условий дренирования (4) в полученных решениях изменится только значение α_i , которое в данном случае равно $\frac{i\pi}{2h}$, где $i = 1, 3, 5, \dots$.

Степень консолидации слоя можно определить по формуле

$$U = \frac{s(t)}{s(\infty)} .$$

Обсуждение результатов. Для выполнения расчетов при различных значениях исходных данных по полученному аналитическому решению составлена блок-схема и программа в пакете MatLab с использованием встроенного языка программирования системы MatLab. Для двух вариантов условий дренирования выполнен расчет функции порового давления, функции бокового распора и степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести при следующих значениях исходных данных [5]:

$$\beta = 0.4 ; \quad b = 1 ; \quad \delta = 0.01 ; \quad \delta_1 = 0.1 ; \quad \mu = 0.3 ; \quad E^y = E = 19 \text{ MPa} .$$

Поровое и боковое давления находят, умножая значения соответствующих функций на q и $-q$. По результатам численного счета построены поверхности распределения функции порового давления, функции бокового распора и графики изменения степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести для первого и второго вариантов дренирования (рис.1-6).

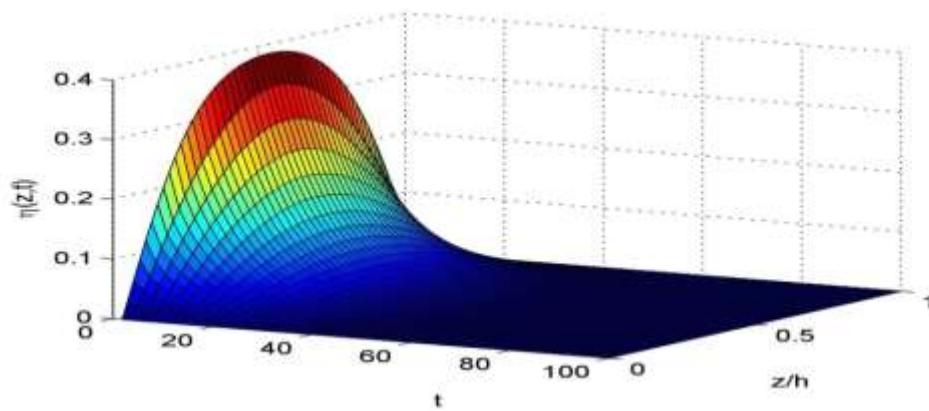


Рисунок 1 - Распределение функции порового давления для первого варианта дренирования

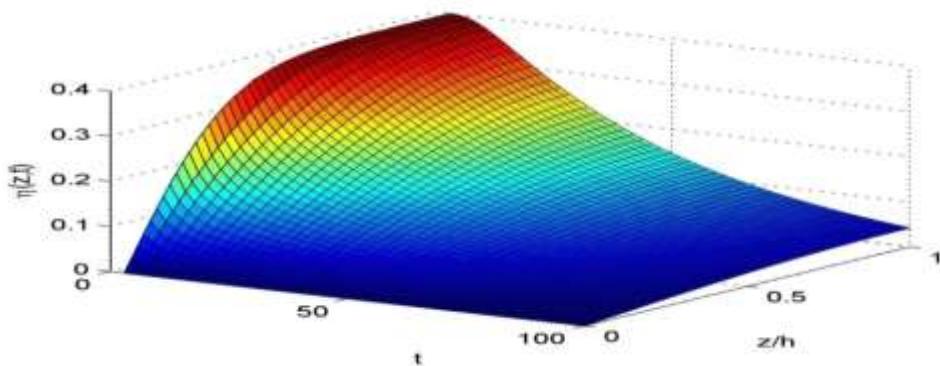


Рисунок 2 - Распределение функции порового давления для второго варианта дренирования

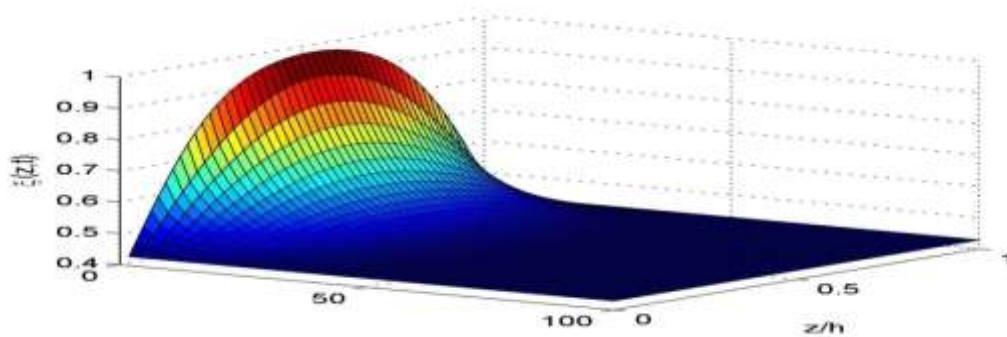


Рисунок 3 – Распределение функции бокового распора для первого варианта дренирования

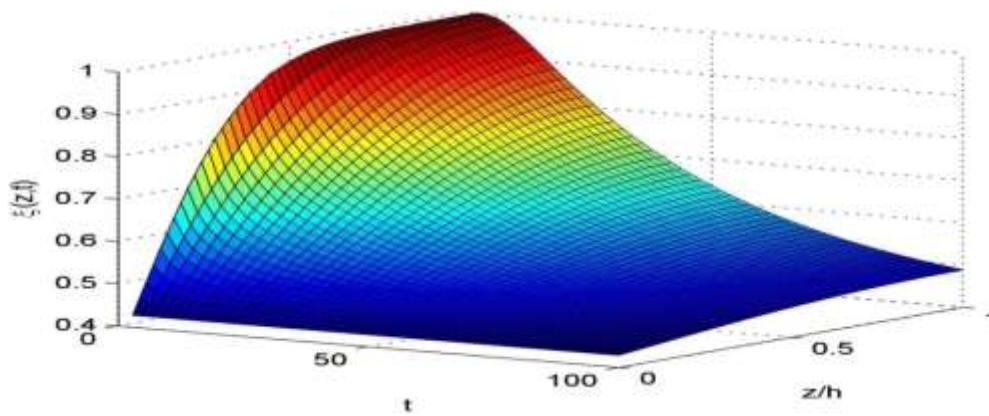


Рисунок 4 – Распределение функции бокового распора для второго варианта дренирования

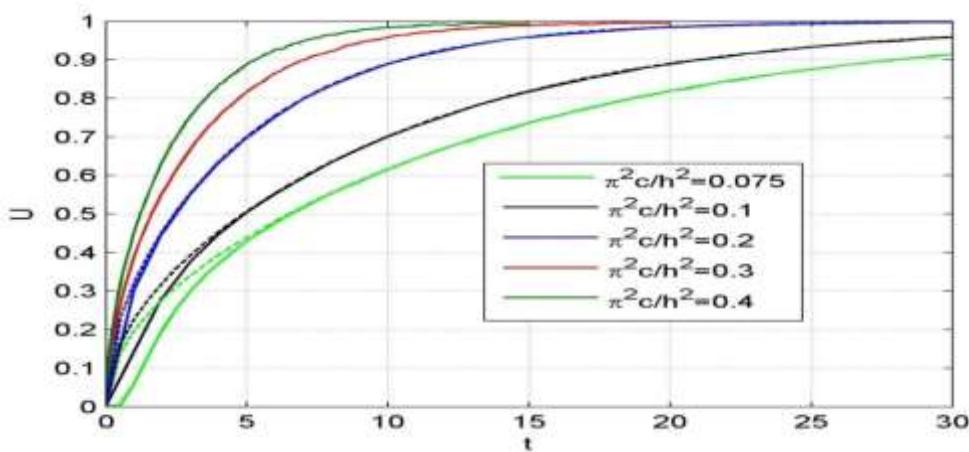


Рисунок 5 – Графики изменения степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести для первого варианта дренирования

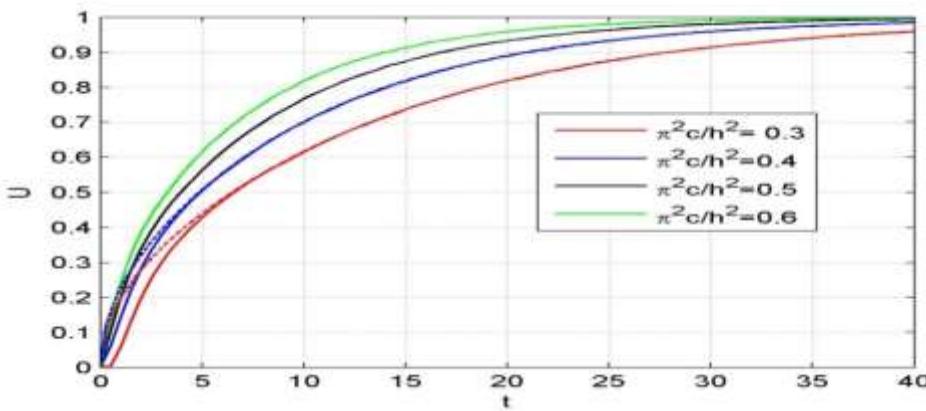


Рисунок 6 – Графики изменения степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести для второго варианта дренирования

Вывод. При постоянстве во времени коэффициента Пуассона среды ползучесть не влияет на напряженное состояние, а лишь сказывается на деформации или перемещения (осадка). По полученному аналитическому решению составлена блок-схема и программа в пакете MatLab с использованием встроенного языка программирования системы MatLab. Для двух вариантов условий дренирования выполнен расчет функции порового давления, функции боково-

го распора и степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести; построены поверхности распределения и графики изменения.

Библиографический список:

1. Агаханов Г.Э. О математическом моделировании физических воздействий в грунтах//Научное обозрение. - № 12. – 2014.– С. 733 - 736.
2. Агаханов Г.Э. О математическом моделировании воздействия порового давления на грунт//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки – Махачкала, 2015. – Т.36 - № 1.– С. 8 - 16. DOI:10.21822/2073-6185-2015-36-1-8-16.
3. Агаханов Г.Э. Математическое моделирование влажностных напряжений в грунтовом полупространстве//Науковедение. Электронный журнал. – 2015. – Т. 7. - №3. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/12TVN315.pdf>. № ГР ФС 77 - 39378.
4. Агаханов Г.Э., Мелехин В.Б. Моделирование деформаций земляного полотна автомобильных дорог//Научное обозрение. - № 4. - 2016.– С.90 - 93.
5. Агаханов Э.К., Агаханов М.К. О моделировании действия объемных сил в упругоползучем теле//Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. - 2005. - № 1.– С. 25– 26.
6. Агаханов Э.К., Агаханов М.К. Эквивалентность воздействий для несжимаемого материала//Промышленное и гражданское строительство. - М.:,2015. - № 11.– С. 40– 43.
7. Агаханов Э.К., Агаханов М.К. Грунтовое основание с трапецидальным вырезом под действием собственного веса//Научное обозрение. - М.:,2016. - № 12.– С. 67– 71.
8. Агаханов Э.К. О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2013. – Т.29 - № 2.– С.39– 45.
9. Годунов С.К. О численном решении краевых задач для систем обыкновенных линейных дифференциальных уравнений//Успехи математических наук. - 1961. ХVI, Вып. 3(99). - С. 171-174.
10. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. – С.145– 147.
11. Тер-Мартиросян З.Г., Тер-Мартиросян А.З. НДС водонасыщенных оснований фундаментов конечной ширины//Основания, фундаменты и механика грунтов. - М.:, 2014. - № 16. - С. 6-10.
12. Флорин В.А. Основы механики грунтов. – М.: Стройиздат, 1959. - Т.1.– С.157– 165.
13. Хесин Г.Л. Метод фотоупругости. - М.: Стройиздат, 1975. - Т. 3.– С. 93– 100.
14. Цытович Н.А., Зарецкий Ю.К., Малышев М.В., Абелев М.Ю., Тер-Мартиросян З.Г. Прогноз скорости осадок оснований сооружений. - М.: Стройиздат, 1967.– С. 189– 190.
15. Andreev V.I., Avershyev A.S. On accounting mechanical heterogeneity in solving problems of moisture transfer in soils. Proc. of the XXI Russian - Slovak - Polish seminar "Theoretical foundation of civil engineering", 2012, pp.87-92,
16. Andreev V.I., Avershyev A.S. Stationary Problem of Moisture-elasticity for In- homogeneous thick-walled Shells. *Advanced Materials Research. Trans Tech Publications*, Switzerland, 2013, vols. 671-674, pp. 571-575.
17. Andreev V.I., Avershyev A.S. About Influence of Moisture on Stress State of Soil taking into account Inhomogeneity. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2013, vol. 9, no. 3, pp.14-20.

18. Andreev V.I., Avershyev A.S. Nonstationary problem moisture elasticity for nonhomogeneous hollow thick-walled cylinder. *Transactions of International Conference on Fluid Structure Interaction* 10 - 12 April, *WITpress*, 2013, pp.123–132.
19. Andreev V.I., Avershyev A.S. Two-dimensional Problem of Moisture Elasticity of Inhomogeneous Spherical Array with Cavity. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vols. 580-583, pp.812-815.
20. Andreev V.I., Avershyev A.S. Nonstationary Problem Moisture Elasticity for Nonhomogeneous Hollow Thick-walled Sphere. *Advanced Materials Research*, *Trans Tech Publications*, Switzerland, 2014, vol. 838, pp.254-258.
21. Avershyev A.S., Andreev V.I. Two-dimensional problem moisture elasticity for inhomogeneous flat annular area. *Applied Mechanics and Materials*. *Trans Tech Publications*, Switzerland, 2014, vol. 583, pp.2974–2977.
22. Biot M. A. General Theory of Three-Dimensional consolidation. *I. Appl. Phys.* 12. 1941, pp.155-164.
23. Carillo N. Simple Two and Three Dimensions cases in the Theory of Consolidation of Soils. *I. of Math. Phis.* 21. 1942, pp.1-5.
24. Gibson R. E. The progress of consolidation in a clay layer increasing in thickness with time “Geotechnique”, 1958, no.8, pp.68-95.

References:

1. Agakhanov G.E. The mathematical modeling of the impact of pore pressure on the ground. *Nauchnoe obozrenie*, [Scientific Review], 2014, no.12, pp.733 - 736. (In Russian)
2. Agakhanov G.E. About mathematical modelling of influence of steam pressure upon soil. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences], 2015, vol.36, no.1, pp.8-16. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2015-36-1-8-16.
3. Agakhanov G.E. Mathematical modeling of humidity stress in the soil half. *Naukovedenie*, 2015, vol.7, no.3. Access mode:naukovedenie.ru/12TVN315.pdf. № GR FS 77 - 39378.(In Russian)
4. Agakhanov G.E., Melekhin V.B. Simulation of deformation of subgrade of highways. *Nauchnoe obozrenie*, 2016, no. 4, pp.90 - 93. (In Russian)
5. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. On the modeling action of body forces in uprugopolzuchem body. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki*. [Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Technical science]. 2005, no.1, pp. 25- 26. (In Russian)
6. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. Equivalent effect to incompressible material. *Industrial and civil construction*, Moscow, 2015, no.11, pp. 40- 43. (In Russian)
7. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. Subgrade trapezoidal Vyra Zoom under its own weight. *Nauchnoe obozrenie*, Moscow, 2016, no.12, pp 67-71. (In Russian)
8. Agakhanov E.K .On the development of complex methods for solving problems in mechanics de-formed rigid body. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences], 2013, vol.29, no 2, pp. 39- 45. (In Russian)
9. Godunov S.K. On the numerical solution of boundary value problems for systems of ordinary differential equations. *Successes of Mathematical Sciences*, 1961. XVI, vol. 99, no.3, pp.171- 174. (In Russian)
10. Rzhanitsyn A.R. The theory of creep. Moscow: *Stroyizdat*, 1968, pp.145- 147. (In Russian)

11. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z. VAT saturated grounds finite width foundations. *Grounds, foundations and soil mechanics. Moscow:*, 2014, no.16, pp.6-10. (In Russian)
12. Florin V.A. Fundamentals of Soil Mechanics, *Moscow: Stroyizdat*, 1959, vol.1, pp. 157- 165. (In Russian)
13. Hesin G.L. Photoelasticity method. *Moscow: Stroyizdat*, 1975, vol.3, pp.93- 100. (In Russian)
14. Tsytovich N.A., Zaretsky Y.K., Malyshev M.V., Abel M.Yu, Ter-Martirosyan Z.G. Forecast sediment rate facilities grounds. *Moscow: Stroyizdat*, 1967, pp.189- 190. (In Russian)
15. Andreev V.I., Avershyev A.S. On accounting mechanical heterogeneity in solving problems of moisture transfer in soils. *Proc. of the XXI Russian - Slovak - Polish seminar "Theoretical foundation of civil engineering"*, 2012, pp. 87-92. (In Russian)
16. Andreev V.I., Avershyev A.S. Stationary Problem of Moisture-elasticity for In- homogeneous thick-walled Shells. *Advanced Materials Research. Trans Tech Publications, Switzerland*, 2013, vols. 671-674, pp. 571-575.
17. Andreev V.I., Avershyev A.S. About Influence of Moisture on Stress State of Soil taking into account Inhomogeneity. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2013, vol. 9, no.3, pp. 14-20.
18. Andreev V.I., Avershyev A.S. Nonstationary problem moisture elasticity for nonhomogeneous hollow thick-walled cylinder. *Transactions of International Conference on Fluid Structure Interaction 10 - 12 April, 2013. WITpress*, pp. 123-132.
19. Andreev V.I., Avershyev A.S. Two-dimensional Problem of Moisture Elasticity of Inhomogeneous Spherical Array with Cavity. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vols. 580-583, pp. 812-815.
20. Andreev V.I., Avershyev A.S. Nonstationary Problem Moisture Elasticity for Nonhomogeneous Hollow Thick-walled Sphere. *Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, Switzerland*, 2014, vol. 838, pp. 254-258.
21. Avershyev A.S., Andreev V.I. Two-dimensional problem moisture elasticity for inhomogeneous flat annular area. *Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, Switzerland*, 2014, vol. 583, pp. 2974-2977.
22. Biot M. A. General Theory of Three-Dimensional consolidation. *I. Appl. Phys. 12*. 1941, pp.155-164.
23. Carillo N. Simple Two and Three Dimensions cases in the Theory of Consolidation of Soils. *I. of Math. Phis. 21*. 1942, pp.1-5.
24. Gibson R. E. The progress of consolidation in a clay layer increasing in thickness with time "Geotechnique", 1958, no.8, pp.68-95.

Сведения об авторе

Агаханов Гаджи Элифханович – аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Authors information.

Gadzhi E.Agakhanov – postgraduate student, Department of computing software and automated systems.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 12.06.2016.

Received 12.06.2016.

Принята в печать 20.08.2016.

Accepted for publication 20.08.2016.

Conflict of interest

Для цитирования: Дорохов А.Ф., Санаев Н.К., Проватар А.Г. НАСЫЩЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗЕРКАЛА РАБОЧЕГО ЦИЛИНДРА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ВЫСОКООРГАНИЗОВАННЫМИ ФОРМАМИ УГЛЕРОДА . Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):27-33. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-27-33

For citation: Dorokhov A.F., Sanaev N. K., Provotar A. G. SATURATION OF THE SURFACE LAYER OF THE MIRROR CYLINDER OF PISTON INTERNAL COMBUSTION ENGINES IS HIGHLY ORGANIZED FORMS OF CARBON. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):27-33. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-27-33

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ. МЕХАНИКА PHYSICAL-MATHEMATICAL SCIENCE. MECHANICS

УДК 621.9.015-621.432

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-27-33

Дорохов А.Ф.¹, Санаев Н.К.², Проватар А.Г.³

¹Астраханский государственный технический университет,
414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16,
e-mail:dorokhovaf@rambler.ru,

²Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
e-mail: nurik909@mail.ru,

³ Волжский государственный университет водного транспорта,
Астраханский филиал,
414056, г. Астрахань, ул. Набережная Приволжского Затона, 14а,
e-mail: provatar@mail.ru.

НАСЫЩЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗЕРКАЛА РАБОЧЕГО ЦИЛИНДРА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ВЫСОКООРГАНИЗОВАННЫМИ ФОРМАМИ УГЛЕРОДА

Аннотация. Целью настоящего исследования является рассмотрение задачи создания в поверхностном слое зеркала рабочего цилиндра структуры, обеспечивающей противоизносные и антифрикционные свойства. **Методы.** Открытие новых форм углерода - фуллеренов и изучение их свойств дало направление развитию микромеханики трения и износа на основе формирования новых качеств поверхностного слоя в парах трения путём насыщения его кристаллической структуры выпуклыми многогранными молекулами фуллеренов, преимущественно C_{60} и C_{70} . **Результат.** В таких случаях наиболее приемлемыми будут технологии нанесения, например – посредством безабразивного хонингования (шаржирования) цилиндров ДВС. Важным и новым в этом направлении является то, что в данном случае преследуется цель внедрения фуллеренов посредством их диффузии в кристаллическую решётку поверхностного слоя детали, подвергающейся трению и изнашиванию. **Вывод.** Доказано, что сочетание температурного, барометрического и напряжённого факторов при внедрении имплантанта в поверхностный слой создаёт возможность избежать при работе двигателя возникновения термомутуризмов сил, стремящихся вытолкнуть безабразивный состав из впадин микрорельефа колец силами трения покоя.

Ключевые слова: фуллерены, диффузия, безабразивное хонингование, шаржирование, коэффициент диффузии, зеркало цилиндра

Alexander F.¹ Dorokhov, Nadyr K.² Sanaev, Aleksey G.³ Provotar
Astrakhan State Technical University, 16 Tat-

ishchev St., Astrakhan, 414056,
e-mail: dorokhovaf@rambler.ru,

²Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

e-mail: nurik909@mail.ru,
Astrakhan branch Volga State University of water transport,
14^a Volga Embankment Backwater Ave, Astrakhan, 414056,
e-mail: provatar@mail.ru

SATURATION OF THE SURFACE LAYER OF THE MIRROR CYLINDER OF PISTON INTERNAL COMBUSTION ENGINES IS HIGHLY ORGANIZED FORMS OF CARBON

Abstract. Aim. The purpose of the real research also is consideration of a problem of creation in a blanket of a mirror of the working cylinder of the structure providing antiwear and antifrictional properties. **Methods.** Opening of new forms of carbon - fullerenes and studying of their properties has channelized development of micromechanics of friction and wear on the basis of formation of new qualities of a blanket in couples of friction by saturation of its crystal structure by convex many-sided molecules of fullerenes, mainly to C₆₀ and C₇₀. **Results.** In such cases the most acceptable will be technologies of drawing, for example – by means of a bezabrazivny honingovaniye (charging) of DVS cylinders. And new in this direction the fact that in this case the aim of introduction of fullerenes, by means of their diffusion, in a crystal lattice of a blanket of the detail which is exposed to friction and wear is pursued is important. **Conclusion.** It is proved that the combination of temperature, barometric and intense factors at introduction of an implant in a blanket creates an opportunity to avoid during the operation of the engine of emergence of the thermoelastic forces seeking to push out bezabrazivny structure from hollows of a microrelief of rings and rest friction forces.

Key words: fullerenes, diffusion, bezabrazivny honingovaniye, charging, diffusion coefficient, cylinder mirror

Введение. Поршневые двигатели внутреннего сгорания, особенно дизельные, являются основой приводов движителей большинства наземных и водных транспортных средств, которым нет альтернативы в обозримой перспективе.

Важным аспектом улучшения эксплуатационных показателей поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является повышение износостойкости зеркала рабочего цилиндра и уменьшение потерь мощности на преодоление сил трения в цилиндропоршневой группе (ЦПГ). В этом направлении выполнены многочисленные исследования, результаты которых изложены в работах различных авторов [1,2,3]. Однако большая часть этих исследований была посвящена повышению твёрдости поверхностного слоя зеркала рабочего цилиндра за счёт термической, химико-термической обработки поверхностного пластического деформирования, при этом уменьшение потерь мощности на преодоление сил трения в ЦПГ достигалось за счёт применения плакирующих присадок к моторным маслам [11,12,13,14,15].

Другое направление – создание различных типов регулярных микрорельефов на зеркале цилиндра, обеспечивающих повышение маслённости поверхности или механическое нанесение на зеркало цилиндра различного рода антифрикционных приработочных покрытий многокомпонентного состава. При этом вопрос о создании в поверхностном слое условий, одновременно способствующих повышению твёрдости (следовательно, износостойкости) и антифрикционных свойств, не ставился.

Постановка задачи. Целью настоящего исследования является решение задачи создания в поверхностном слое зеркала рабочего цилиндра структуры, обеспечивающей противоизносные и антифрикционные свойства.

Открытие новых форм углерода - фуллеренов и изучение их свойств дало направление развитию микромеханики трения и износа на основе формирования новых качеств поверхностного слоя в парах трения путём насыщения его кристаллической структуры выпуклыми многоугольными молекулами фуллеренов, преимущественно C₆₀ и C₇₀, которые в их твёрдом состоянии получили название фуллериты. Уже первые эксперименты по исследованию механических свойств фуллерита подтвердили надежду на создание высокоэффективного твердого смазывания на основе фуллеренов. Согласно работ [4,5,6], поверхность твердых материалов, покрытых фуллереновой пленкой, имеет аномально низкий коэффициент трения, повышенную долговеч-

нность и износостойкость. Если технология производства такого покрытия будет настроена, и будет обеспечиваться возможность его практического использования, то износостойкость деталей повысится в 1,5 – 2,5 раза, расходы топлива сократятся на 2 – 7% и мощность ДВС возрастёт на 2 – 4%.

Методы исследования. Наиболее распространённым способом внедрение фуллеренов в поверхностный слой пар трения это - нанесение, напыление, наплавка. Технологии напыления и наплавки достаточно хорошо отработаны и апробированы в производстве, но они наиболее применимы для формирования слоя со специальными свойствами для наружных поверхностей [3]. Но эти же технологии трудноприменимы для их реализации на внутренних поверхностях, например для зеркала цилиндра ДВС с диаметром менее 200 мм. В таких случаях наиболее приемлемыми будут технологии нанесения, например, посредством безабразивного хонингования (шаржирования) цилиндров ДВС, как указано в работах [7, 8]. Важным и новым в этом направлении является то, что в данном случае преследуется цель внедрения фуллеренов, посредством их диффузии в кристаллическую решётку поверхностного слоя детали, подвергающейся трению и изнашиванию, а не нанесения плёнки за счёт адгезии.

Заметим, что диффузия, как физическое явление, имеет несколько форм, которые достаточно полно описаны в научной литературе. Определим диффузию как процесс переноса вещества из одной части системы в другую, происходящий под действием градиента концентрации. Однако градиент концентрации – важная, но не единственная причина, вызывающая перенос вещества в системе.

При свободной диффузии не взаимодействующих между собой частиц (в отсутствии приложенных внешних сил) в однородном и изотропном твердом теле поток диффузионных частиц пропорционален градиенту концентрации dC/dx (для одномерного случая). Связь между ними определяется первым законом Фика, $J = -D \frac{dC}{dx}$, где D , коэффициент диффузии атомов. Из данного выражения можем определить коэффициент диффузии как скорость, с которой система способна при заданных условиях создать нулевую разность концентраций. Знак «минус» в выражении означает, что поток атомов направлен из области с большей концентрацией в область с меньшей концентрацией.

В рассматриваемом случае необходимо диффундировать молекулы фуллерена из состава безабразивных хонинговых брусков (безабразивный состав – БА) в поверхностный слой обрабатываемого зеркала цилиндра. Безабразивные бруски для такого вида обработки получаются спеканием многокомпонентного состава из 20% фуллерена C_{60} , 5% меди и 75% политетрафторэтилена (фторопласт-4). Предполагается использовать для диффундирования в поверхностный слой обрабатываемого изделия такие формы диффузии, как термодиффузия и бародиффузия. Скорость термодиффузии, выражаемая коэффициентом диффузии D_T , определяется выражением [9, 10],

$$D_T = D_0 \exp [-Q/(k_B T)], \text{м}^2/\text{с} \quad (1)$$

где D_0 – частотный фактор, $\text{м}^2/\text{с}$; Q – энергия активации процесса диффузии, эВ; k_B – постоянная Больцмана, $1,380\ 648\ 52(79) \cdot 10^{-23}$ Дж K^{-1} . Экспериментальные значения при диффундировании углерода в железоуглеродистый сплав: $D_0 = 2,0 \cdot 10^{-5}$; $Q = 0,9$, [10]. Обеспечение термодиффузии требует создания температурного градиента, что возможно при нагреве обрабатываемого изделия до значений температур, соответствующих его эксплуатационным температурам. Аналогично коэффициенту термодиффузии определяется коэффициент бародиффузии, D_p .

$$D_p = D_0 \exp [-Q/(k_B p)], \text{м}^2/\text{с}, \quad (2)$$

где p – давление в зоне диффундирования, Па. Давление в зоне диффундирования будет определяться давлением разжима хонинговых брусков.

В данном случае предполагается, что, в следствие принципа аддитивности, направленность обеих форм диффузии будет одинакова, и тогда общий суммарный коэффициент диффузии будет представлять собой сумму выражений 1 и 2, т.е.

$$D_{\Sigma} = D_T + D_p. \quad (3)$$

При этом надо учитывать то, что D определяет количество вещества (кг), проходящего через единичную площадь (1 м^2) в 1 секунду – $\text{м}^2/\text{с}$. Тогда значение D_{Σ} необходимо привести к площади поверхности зеркала цилиндра, т.е. $D_{\text{общ}} = D_{\Sigma} * K_{\text{з.ц}}$, где $K_{\text{з.ц}}$ – коэффициент, характеризующий соотношение площади поверхности зеркала конкретного цилиндра (в м^2) к поверхности в 1 м^2 . Окончательно, количество диффундированного вещества будет определяться временем обработки цилиндровой втулки t_0 , где t_0 – основное время шаржирования, мин.

Фактором, усиливающим диффузионное проникновение фуллерена в поверхностный слой, может послужить ситуация, при которой будут более явно выделены дислокации и свободные вакансии в кристаллической решётке. Такая ситуация может быть создана за счёт организации напряжений растяжения поверхностного слоя изделия в который будет диффундировать фуллерен.

Обсуждение результатов. С учётом всех вышеизложенных факторов предлагается конструктивная схема приспособления для насыщения поверхностного слоя зеркала цилиндровой втулки фуллереном путём безабразивного хонингования – шаржирования (рис. 1).

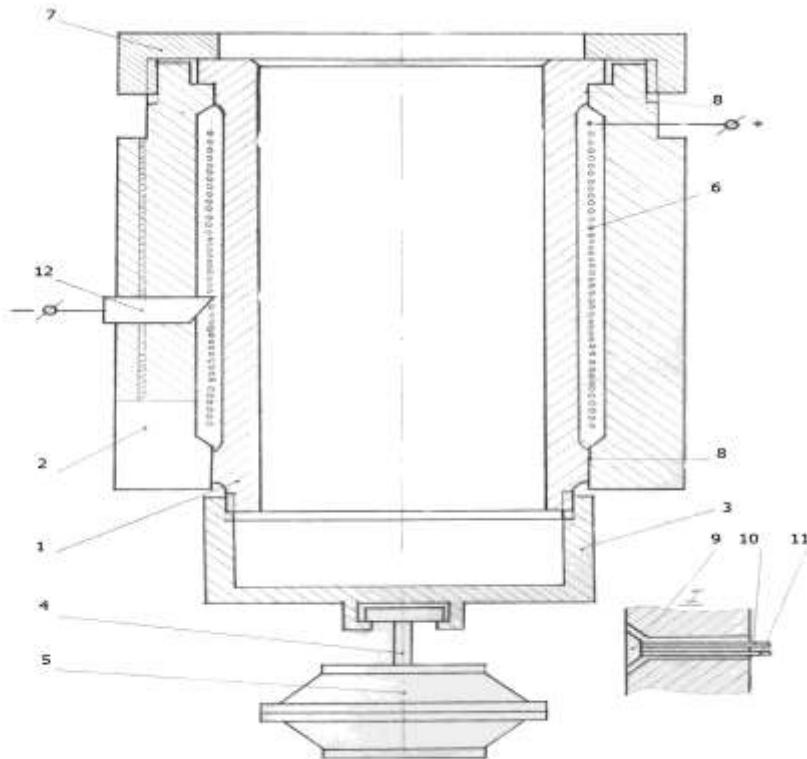


Рисунок 1 - Конструктивная схема приспособления

Как показано на рисунке 1, 1 – цилиндровая втулка; 2 – копус приспособления; 3 – стакан, навинчивающийся на резьбу на нижней части втулки; 4 – шток пневмокамеры; 5 – пневмокамера; 6 – индукторная обмотка; 7 – прижимная гайка приспособления; 8 – места установки термопар в приспособлении; 9 – спай термопары; 10, 11 – термоэлектроды; 12 – подвижный контакт в пазе корпуса приспособления.

Цилиндровая втулка, установленная в приспособлении, базируется по верхнему посадочному пояску и торцу бурта, фиксируется прижимной гайкой 7, а на её нижнюю часть навинчивается стакан 3.

В индукторную обмотку подаётся ток, посредством чего втулка разогревается. В теле втулки создаётся температурное поле, аналогичное или близкое к её действительному температурному полю в эксплуатации, показатели которого определены расчётою или экспериментально. Значения температурного поля регулируются силой тока путём перемещения подвижного контакта 12 по показаниям термопар 8. Посредством пневмокамеры в поверхностном слое зеркала цилиндра создаются упругие напряжения растяжения $\sigma_p = E$, где E – модуль упругости для материала цилиндра, МПа. Так создаются условия, способствующие проникновению фуллеренов в поверхностный слой зеркала цилиндра, в результате чего ожидается повышение его износостойкости и трибологических характеристик.

Внедрение БС в поверхностный слой будет достаточно успешным при формировании специального микропрофиля поверхности путём плосковершинного хонингования. Процесс плосковершинного хонингования производится в результате трех операций:

- черновое хонингование алмазными брусками зернистостью 160/125 мкм, частота вращения хонинговальной головки $n = 100$ об/мин, скорость возвратно-поступательного движения хонинговальной головки, $V_{B-P} = 31$ дм.х/мин, давление разжима хонинговальных брусков по манометру станка $p = 1,3$ МПа, смазочно-охлаждающая жидкость - керосин 70%, масло минеральное – 30%;
- получистовое хонингование алмазными брусками зернистостью 100/80 мкм, $n = 100$ об/мин. $V_{B-P} = 31$ дм.х/мин, $p = 1,0$ МПа. СОЖ керосин 70%, масло 30%;
- чистовое хонингование алмазными брусками зернистостью 80/60 мкм, $n = 100$ об/мин. $V_{B-P} = 31$ дм.х/мин, $p = 0,4$ МПа. СОЖ керосин 70%, масло 30%.

В результате комплекса хонинговальных операций на обработанной поверхности зеркала цилиндра образуется система микронеровностей, которая состоит из сравнительно глубоких впадин, оставшихся от чернового хонингования и площадок с собственной шероховатостью, образовавшихся после окончательного хонингования путём частичного срезания выступов исходного профиля, как показано на рис. 2.

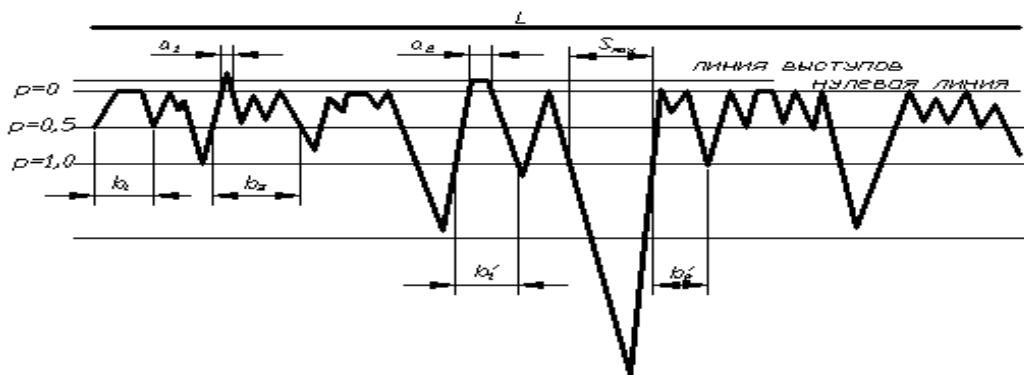


Рисунок 2 - Профилограмма зеркала цилиндровой втулки

Вывод. При втирании БС в поверхностный слой зеркала цилиндра, сам БС, а также элементы микрорельефа зеркала упруго деформируются. В дальнейшем, при работе двигателя, под действием рабочей температуры, появляются температурные деформации, что предопределяет сложное напряжённое состояние соединения «цилиндр – БС».

Сочетание трёх факторов при внедрении имплантанта в поверхностный слой – температурного, барометрического и напряжённого даёт возможность избежать при работе двигателя возникновения термоупругих сил, стремящихся вытолкнуть БС из впадин микрорельефа и он будет там находиться, удерживаемый силами разжима поршневых колец и силами трения покоя. Диффузионное проникновение фуллерена в поверхностный слой зеркала цилиндра будет

продолжаться ещё какое-то время после начала эксплуатации двигателя под действием тех же факторов – температуры, давления и напряжённого состояния.

Библиографический список:

1. Мышкин М.К., Петровец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. – М.: Физматлит, 2007 – С. 150-368.
2. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением: Справочник. – С-Пб.: Политехника, 1998. – 414 с.
3. Технология упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: материалы 17-ой междунар. науч.-практ. конф. 14-17 апреля 2015 года. – С-Пб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015 – С.345-365.
4. Елецкий А.В., Смирнов В.М. Фуллерены // УФН, 1993. - №2. - С.33-58.
5. Gusev A.I., Rempel A.A. Nanocrystalline Materials. Cambridge: Cambridge International Science Publishing, 2004, pp. 250-280.
6. Сидоров Л.Н., Юровская М.А., Борщевский А.Я. и др. Фуллерены. — М.: Экзамен, 2005. - 687 с.
7. Дорохов А.Ф., Санаев Н.К. Исследование надёжности сцепления антифрикционного покрытия с рабочей поверхностью цилиндра судового ДВС // Вестник Астраханского государственного технического университета. Морская техника и технология. 5(46)/2008, Астрахань, - Издательство АГТУ.- С. 143-147.
8. Дорохов А.Ф., Санаев Н.К., Масуев М.А. Снижение потерь мощности на преодоление сил трения в судовых высокооборотных дизелях//Трение и смазка в машинах и механизмах, № 9, 2008. С. 18-21.
9. Гуров К.П., Карташкин Б.А., Угасть Ю.Э. Взаимная диффузия в многофазных металлических системах. - М.: Наука, 1981. -350 с.
10. Диффузия в кристаллах: Интернет-ресурс <http://dssp.petrus.ru>.
11. Silva S.A.M., Perez J., Torresi R.M., Luengo C.A., Ticianelli E.A. Surface and electrochemical investigations of a fullerene soot. *Electrochimica Acta*. 1999, vol.44, no.20, pp.3565 – 3574.
12. Yang Z.H., Wu H.Q. Electrochemical intercalation of lithium into fullerene soot. *Mat Lett.* 2001, vol.50, no.2, pp.108-114.
13. Wang Z., Ogata H., Morimoto Sh., Fujishige M., Takeuchi K., Hashimoto Y., Endo M. High-temperature-induced growth of graphite whiskers from fullerene waste soot. *Carbon*, 2015, vol.90, pp.154-159.
14. Endo M., Kim Y.A., Hayashi T. et al. Microstructural changes induced in "Stacked cup" carbon nanofibers by heat treatment. *Carbon*. 2003, vol.41, pp.1941 – 1947.
15. Goel A., Heben P., Vander Sande J.B., Howard J.B. Combustion synthesis of fullerenes and fullerene nanostructures. *Carbon*, 2002, vol.40, no.2, pp.177- 182.

References:

1. Myshkin M.K., Petrokovets M.I. Friction, lubrication, wear. Physical foundations and technical applications of tribology. *Moscow: Fizmatlit*, 2007, pp.150-368. (In Russian)
2. Shneyder Yu.G. Technology of finishing by pressure: a Handbook. St. Petersburg: *Politekhnika, [Politehnica]*, 1998, 414 p. (In Russian)

3. Technology hardening, coating and repair: theory and practice: proceedings of the 17th Intern. scientific.-pract. Conf. April 14-17, 2015. St. Petersburg: *Publishing house of Polytechnical University*, 2015, pp.345-365. (In Russian)
4. Eletskii A.V., Smirnov V.M. Fullerene. *UFN*, 1993, no. 2, pp.33-58. (In Russian)
5. Gusev A.I., Rempel A.A. Nanocrystalline Materials. Cambridge: *Cambridge International Science Publishing*, 2004, pp. 250-280.
6. Sidorov L.N., Yurovskaya M.A., Borshchevsky A.Ya. Fullerenes. *Moscow: Exam*, 2005, p.687. (In Russian)
7. Dorokhov A.F., Sanaev N.K. Investigation of the reliability of adhesion anti-friction coatings with the working surface of the cylinder marine engine. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Morskaya tekhnika i tekhnologiya*. [Herald of Astrakhan State Technical University. Marine engineering and technology]. Astrakhan. Publishing house of ASTU, 2008, vol.46, no.5, pp.143-147. (In Russian)
8. Dorokhov A.F., Sanaev N.K., Masuev M.A. Reduction of power losses to overcome friction forces in marine high-speed diesel engines. *Friction and lubrication in machines and mechanism* B.A., and Yu. e Ugaste Mutual diffusion in multiphase metallic systems. *Moscow: Nauka*, 1981, 350p. (In Russian)
9. Diffusion in crystals: an Internet resource. Access mode <http://dssp.petrsu.ru> (In Russian)
10. Silva S.A.M., Perez J., Torresi R.M., Luengo C.A., Ticianelli E.A. Surface and electrochemical investigations of a fullerene soot. *Electrochimica Acta*. 1999, vol.44, no.20, pp.3565 – 3574.
11. Yang Z.H., Wu H.Q. Electrochemical intercalation of lithium into fullerene soot. *Mat Lett*. 2001, vol.50, no.2, pp.108-114.
12. Wang Z., Ogata H., Morimoto Sh., Fujishige M., Takeuchi K., Hashimoto Y., Endo M. High-temperature-induced growth of graphite whiskers from fullerene waste soot. *Carbon*, 2015, vol.90, pp.154-159.
13. Endo M., Kim Y.A., Hayashi T. et al. Microstructural changes induced in "stacked cup" carbon nanofibers by heat treatment. *Carbon*. 2003, vol.41, pp.1941 – 1947.
14. Goel A., Heben P., Vander Sande J.B., Howard J.B. Combustion synthesis of fullerenes and fullerene nanostructures. *Carbon*, 2002, vol.40, no.2, pp.177- 182.

Сведения об авторах.

Дорохов Александр Федорович – доктор технических наук, профессор.

Санаев Надыр Кельбиханович – кандидат экономических наук, декан заочного факультета, доцент кафедры организации и безопасности движения транспортного факультета.

Проватар Алексей Геннадьевич – начальник судоводительского отделения Каспийского института морского и речного транспорта.

Authors information.

Alexander F.Dorohov – doctor of technical Sciences, Professor.

Aleksey G. Prowatar – head of the navigation Department of the Caspian Institute of sea and river transport.

Nadyr K. Sanaev – candidate of economic Sciences, Dean of distance faculty, associate Professor of Department of organization and traffic safety, transport faculty.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 01.06.2016.

Принята в печать 20.07.2016.

Conflict of interest

Received 01.06.2016.

Accepted for publication 20.07.2016.

Для цитирования: Букашев Ф.И., Шахмаева А.Р. РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНЫХ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ (БСИТ). Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):34-44. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-34-44

For citation: Bukashev F.I., Shakhmaeva A.R. DEVELOPMENT OF CONTROLLED RECTIFIERS BASED ON THE BIPOLAR WITH STATIC INDUCTION TRANSISTORS (BSIT). Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):34-44. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-34-44

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621.314.6

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-34-44

Букашев Ф.И.¹, Шахмаева А.Р.²

¹Новгородский государственный университет
173003, г. Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д.41,
e-mail: boukachev@gmail.com,

²Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, e-mail: fpk12@mail.ru

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНЫХ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ (БСИТ)

Аннотация. Целью исследования является разработка одного из перспективных полупроводниковых приборов, пригодных для создания и совершенствования управляемых выпрямителей, биполярного статического индукционного транзистора. **Методы.**

Рассмотрены структурная и принципиальная схемы управляемого выпрямителя на основе биполярного статического индукционного транзистора (БСИТ), а также критерий эффективности управляемых выпрямителей – эквивалентное падение напряжения.

Результат. Представлены результаты исследований макета управляемого выпрямителя на БСИТ КТ698И; установлена работоспособность макета при входном напряжении от 2,0 В на частоте до 750 кГц. Коэффициент полезного действия исследованных макетов при средних плотностях тока достигает 90%. Предложена оптимизация технологического маршрута изготовления микроэлектронного управляемого выпрямителя, включающего БСИТ и интегральные биполярные элементы схемы управления. **Вывод.** Доказано, что наиболее эффективное использование биполярного статического индукционного транзистора имеет место при работе в низковольтных управляемых выпрямителях на частотах 350-400 кГц совместно с низковольтной схемой управления. Обосновано, что повышение функциональных характеристик преобразователей связано, в первую очередь, с расширением диапазонов входного напряжения и выходного тока.

Ключевые слова: транзистор, преобразователь, управляемый выпрямитель, БСИТ-транзистор, МОП-транзистор, технология, напряжение, коэффициент полезного действия

Fedor I.¹ Bukashev, Aishat R.² Shakhmaeva

Novgorod State University

41 d. Bolshaya Sankt-Peterburgskaya, Veliky Novgorod, 173003,
e-mail: boukachev@gmail.com,

² Dagestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
e-mail: fpk12@mail.ru

**DEVELOPMENT OF CONTROLLED RECTIFIERS BASED ON THE BIPOLAR
WITH STATIC INDUCTION TRANSISTORS (BSIT)**

Abstract. Aim. The aim of this study is to develop one of the most perspective semiconductor device suitable for creation and improvement of controlled rectifiers, bipolar static induction transis-

tor. Methods. Considered are the structural and schematic circuit controlled rectifier based on bipolar static induction transistor (BSIT), and the criterion of effectiveness controlled rectifiers - equivalent to the voltage drop. **Results.** Presented are the study results of controlled rectifier layout on BSIT KT698I. It sets the layout operation at an input voltage of 2.0 V at a frequency up to 750 kHz. The efficiency of the studied layouts at moderate current densities as high as 90 %. Offered is optimization of technological route microelectronic controlled rectifier manufacturing including BSIT and integrated bipolar elements of the scheme management. **Conclusion.** It is proved that the most efficient use of the bipolar static induction transistor occurs at the low voltage controlled rectifiers 350-400 kHz, at frequencies in conjunction with a low-voltage control circuit. It is proved that the increase of the functional characteristics of the converters is connected to the expansion of the input voltage and output current ranges.

Key words: transistor, converter, controlled rectifier, BSIT transistor, MOSFET, technology, power, efficiency

Введение. Прогресс современных высокочастотных преобразователей электрической энергии связан с повышением удельных массогабаритных характеристик, повышением рабочих частот и снижением потерь в активных и пассивных компонентах. Снижение потерь энергии в преобразователях является одним из важнейших аспектов, определяющих их энергоэффективность. Существенный вклад в суммарные потери мощности преобразователей с низким выходным напряжением постоянного тока вносят потери в выходном выпрямителе.

Постановка задачи. Для повышения КПД низковольтных преобразователей широко используются синхронные (управляемые) выпрямители с МОП-транзисторами в качестве ключевых элементов. Многие крупные производители серийно выпускают интегральные схемы управления или предлагают готовые решения для создания синхронных выпрямителей, например International Rectifier IR1176 и Fairchild Semiconductors SG6203. Управляемые выпрямители на МОП-транзисторах обладают рядом достоинств, демонстрируя высокий КПД на высоких рабочих частотах.

В то же время, если управляющее напряжение затворов МОП-транзисторов оказывается выше, чем выходное напряжение управляемых выпрямителей, это требует применения специальных синхронизированных схем управления.

Результатом этого и существенным недостатком данных управляемых выпрямителей с низким выходным напряжением является высокая схемотехническая сложность. Помимо синхронных выпрямителей с МОП-транзисторами известен класс управляемых выпрямителей на основе биполярных транзисторов.

Наиболее ранняя известная конструкция преобразователя напряжения - управляемый выпрямитель однофазной двухполупериодной схемы со средней точкой силового трансформатора. Разработано большое число различных вариантов управляемых преобразователей переменного напряжения в постоянное, однако наряду с достоинствами, данные решения обладают рядом недостатков, в первую очередь, недостаточно высоким КПД, ограниченной рабочей частотой и узким диапазоном рабочих напряжений.

Одним из перспективных полупроводниковых приборов, пригодных для создания и совершенствования управляемых выпрямителей, является биполярный статический индукционный транзистор (БСИТ). Принцип действия и первые экспериментальные образцы статических индукционных транзисторов были разработаны японским ученым Джан-ичи Нишидзава (Jun-ichi Nishidzawa) в начале 1950-х годов [1,2,3]. Несмотря на отличие внутренней структуры, с точки зрения электрических характеристик БСИТ подобен биполярному транзистору, отличаясь от последнего существенно более высоким быстродействием, заметно меньшими потерями в цепи управления и в цепи коммутации, большей областью безопасной работы по причине отсутствия вторичного пробоя [4,5,6].

Важными качествами БСИТ являются низкое входное напряжение управления и малая входная диффузионная емкость, чем обусловливается малая мощность, необходимая для отпирания БСИТ. По проведенной оценке, при частотах выше 300 кГц мощность потерь при переключении у БСИТ ниже, чем у МОП-транзистора того же класса по напряжению и току. Учи-

тывая перечисленные преимущества БСИТ, разработка управляемых выпрямителей на их основе с указанными характеристиками (напряжением от 2 до 3 В и рабочей частотой выше 300 кГц), является актуальной на сегодняшний день.

Методы исследования. Если сравнивать основные электрические характеристики БСИТ 2T9183A-5 производства ОАО «Элекс» (г. Александров) и современного ему МОП-транзистора аналогичного класса по току и напряжению FQD17N08L производства компании Fairchild Semiconductor, то сравнение типов приборов позволяет выделить преимущества и недостатки БСИТ. Так, для управления БСИТ требуется гораздо меньшее напряжение, чем для управления МОП-транзисторами.

Это позволяет конструировать управляемые выпрямители на меньшее выходное напряжение без вспомогательных источников питания. Достигаемая плотность тока на единицу площади структуры БСИТ примерно вдвое превышает аналогичную величину МОП-транзисторов. МОП-транзисторы демонстрируют предельно низкую мощность управления на постоянном токе, однако с ростом частоты переключений мощность управления растет.

Динамические характеристики МОП-транзисторов на порядок превосходят характеристики БСИТ и почти на два порядка – характеристики биполярных транзисторов. Худшие динамические свойства БСИТ, по сравнению с МОП-аналогами, связаны с накоплением заряда носителей в области прямосмещенного р-п перехода «затвор-канал». Мощность в цепи управления БСИТ и МОП-транзисторов сравнивается на частотах 350-400 кГц.

Таблица 1 - Качественное сравнение БСИТ и МОП-транзисторов

| Наименование параметра | Типовое значение | |
|--------------------------------------|---|---|
| | БСИТ (2T9183A-5) | МОП |
| Достигнутая плотность тока структуры | Высокая: 3-10 А/мм ² | Удовлетворительная: 3-5 А/мм ² |
| Блокировка напряжения | Блокировка в обоих направлениях | Блокировка в одном направлении из-за наличия в структуре паразитного диода сток-исток |
| Сопротивление открытого транзистора | Отлично – до полутура раз ниже, чем у МОП-транзистора, в зависимости от тока управления | Отлично - при высоких напряжениях затвора, хорошо - при напряжениях затвора, близких к пороговому |
| Импульсный ток | Высокий | Высокий |
| Управляющее напряжение | Менее 1 В | От 1,8 до 10 В |
| Температурная стабильность | Отлично: V_{be} в среднем 2 мВ/°C, $R_{ce(sat)}$ в среднем 0,38%/°C | Удовлетворительно: V_{th} в среднем 4-6 мВ/°C, $R_{ds(on)}$ в среднем 0,64%/°C |
| Мощность управления | Удовлетворительно | Отлично - на постоянном токе, удовлетворительно - на высокой частоте |
| Скорость переключения | Высокая | Очень высокая |
| Цена на единицу площади структуры | Сравнима | Сравнима |

В таблице 1 приведены результаты качественного сравнения параметров БСИТ и МОП-транзисторов.

Качественное сравнение параметров БСИТ и МОП-транзисторов позволяет сформулировать следующие выводы:

- биполярный статический индукционный транзистор представляет собой отдельный тип полупроводникового прибора, обладает характеристиками, подобными характеристикам

биполярного транзистора, отличается более высоким быстродействием, меньшим напряжением насыщения коллектор-эмиттер, более высоким коэффициентом усиления по току;

- преимуществами БСИТ являются высокая плотность тока на единицу площади структуры и низкое напряжение управления;
- преимущества БСИТ делают целесообразным разработку управляемых выпрямителей с низкими выходными напряжениями, при которых управление по затвору МОП-транзисторами затруднено или невозможно, с рабочими частотами от 350-400 кГц.

Таким образом, наиболее перспективным полупроводниковым прибором, пригодным для создания и совершенствования управляемых выпрямителей, является биполярный статический индукционный транзистор (БСИТ). С учетом этого, можно предположить, что наиболее эффективное использование БСИТ имеет место при работе в низковольтных управляемых выпрямителях на частотах 350-400 кГц совместно с низковольтной схемой управления.

Несмотря на отличие внутренней структуры, с точки зрения электрических характеристик, БСИТ подобен биполярному транзистору, но отличается от последнего существенно более высоким быстродействием, заметно меньшими потерями в цепи управления и в цепи коммутации, большей областью безопасной работы по причине отсутствия вторичного пробоя. К числу достоинств БСИТ следует также отнести низкое напряжение управления. В настоящее время по совершенствованию технологии и конструкции БСИТ проводятся исследовательские работы [7,8,9,10].

Основным критерием для управляемых выпрямителей может быть введен критерий эффективности - суммарная мощность потерь в управляемом выпрямителе:

$$P_{dissCR} = I_{вых}(V_{вых} - V_{вых}) + V_{вх}I_y, \quad (1)$$

где $V_{вых}$ – выходной ток управляемого выпрямителя, А; $V_{вх}$, $V_{вых}$ – соответственно входное напряжение и выходное напряжение управляемого выпрямителя, В; I_y – ток потребления управляемого выпрямителя, А.

Введем критерий - эквивалентное падение напряжения управляемого выпрямителя, равное падению напряжения на выпрямительном элементе, выделяющем при равном среднем выходном токе равную тепловую мощность (2):

$$V_{eqCR} = \frac{P_{dissCR}}{I_{вых}} = V_{вых} - V_{вх} + \frac{V_{вх}I_y}{I_{вых}} \quad (2)$$

Предложенный критерий удобен для количественной оценки энергетической эффективности использования данных управляемых выпрямителей по сравнению с диодами в зависимости от диапазона изменения выходного тока и напряжения.

Анализ выражения (2) и проведенный эксперимент показывают, что эквивалентное падение напряжения рассматриваемых управляемых выпрямителей монотонно возрастает с ростом выходного тока и выходного напряжения.

Одной из мер энергетической эффективности выпрямительного диода является прямое падение напряжения при заданном прямом токе.

Усилия разработчиков направлены на его снижение при сохранении высокого быстродействия. Для современных диодов Шоттки прямое падение напряжения достигает 0,5 В и менее. Повышение функциональных характеристик преобразователей связано в первую очередь с расширением диапазонов входного напряжения и выходного тока. Схемотехническая реализация макета управляемого выпрямителя приведена на рис.1 (использован n-БСИТ КТ698И).

В данном макете VT1 – БСИТ КТ698И, VT2 – биполярный транзистор КТ3102Б, VT3 и

VT4 – KT3107Б, VD1 и VD2 – LL4147, R1 – 1 кОм, R2 – 7,5 Ом, R3 – 22 Ом. Конденсатор C1 емкостью 15 нФ предназначен для поддержания потенциала на базе транзистора VT1 с целью его более быстрого запирания. Здесь реализован метод пропорционально-насыщенного управления биполярным статическим индукционным транзистором [11]. Установлено, что входное напряжение, равное 2,0 В, является нижним рабочим напряжением данного управляемого выпрямителя.

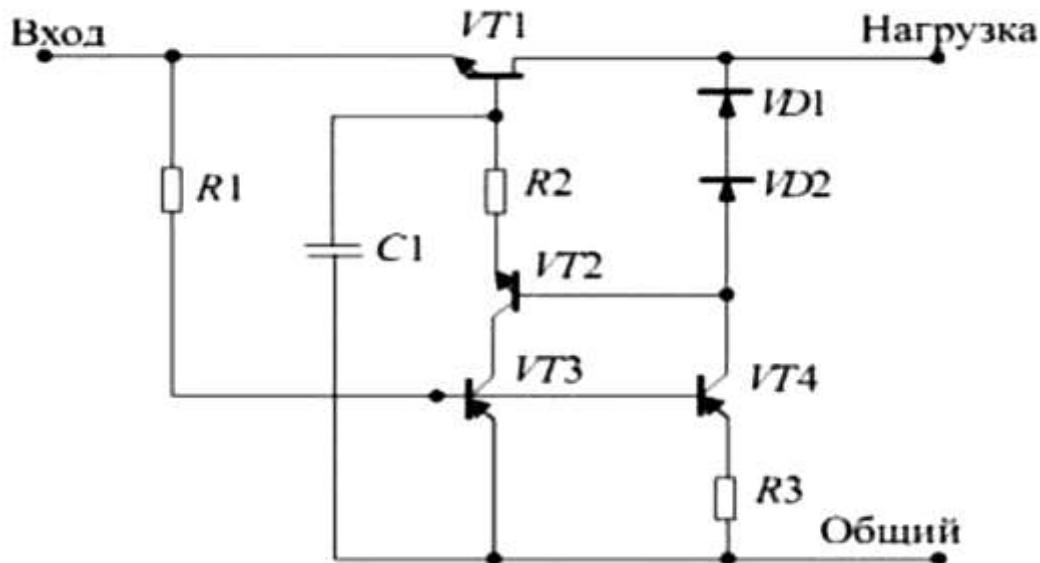


Рисунок 1 - Управляемый выпрямитель с пропорционально-насыщенным управлением БСИТ

Входное переменное напряжение для макета управляемого выпрямителя формировалось при помощи инвертора, собранного на сильноточных МОП-транзисторах. Питание инвертора задавалось при помощи двухполарного регулируемого источника питания со средней точкой, соединенной с общим проводом схемы управляемого выпрямителя. На затворы транзисторов от управляемого генератора подавались прямоугольные импульсы заданной частоты со скважностью, равной двум.

Нагрузкой макетов управляемых выпрямителей являлись мощные безиндуктивные пленочные резисторы. Напряжения и токи измерялись при помощи двухканального цифрового осциллографа. Значения мощности и тока получены посредством численного интегрирования обработанных массивов данных.

Энергетические характеристики управляемого выпрямителя представлены в таблице 2.

**Таблица 2 - Энергетические характеристики управляемого выпрямителя
 (номинальное напряжение 3,0 В, частота 750 кГц)**

| Выходной ток, А (действительное значение) | Выходная мощность, мВт | Мощность цепи коммутации, мВт | Мощность цепи управления, мВт | КПД, % | Эквивалентное напряжение, В |
|--|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|-----------------------------|
| 0,406 | 617,0 | 28,2 | 19,7 | 92,8 | 0,118 |
| 0,791 | 1171,8 | 101,5 | 34,3 | 89,6 | 0,172 |
| 1,161 | 1685,5 | 211,7 | 40,1 | 87,0 | 0,217 |

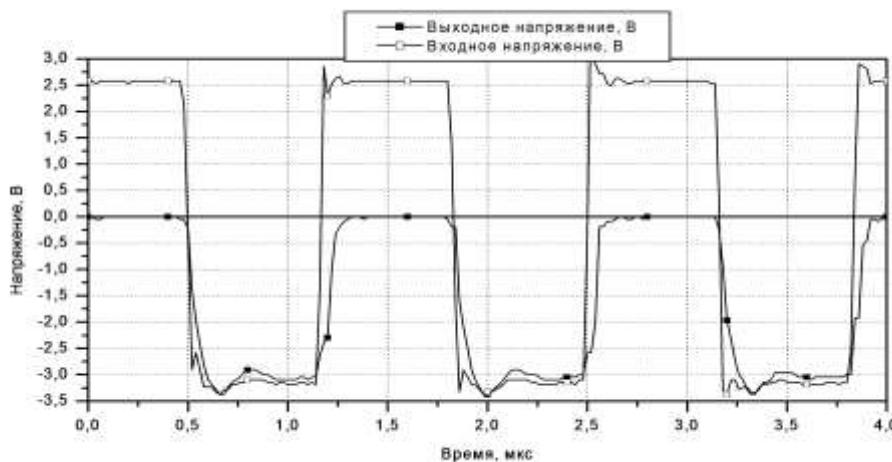


Рисунок 2 - Осциллограммы входного (—□—) и выходного (—■—) напряжения при сопротивлении нагрузки 7,5 Ом и частоте 750 кГц

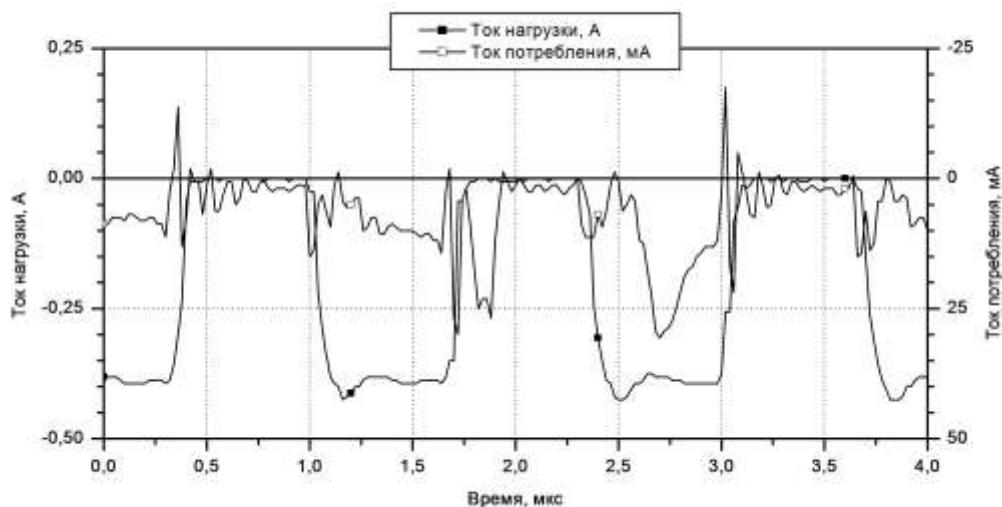


Рисунок 3 - Осциллограммы тока нагрузки (—■—) и тока потребления (—□—) при сопротивлении нагрузки 7,5 Ом и частоте 750 кГц

На рис. 2 и 3 приведены примеры осциллограмм входного и выходного напряжений, выходного тока и тока потребления на частоте 750 кГц. В таблице 2 обобщены энергетические характеристики управляемого выпрямителя в зависимости от входного напряжения и сопротивления нагрузки. Эквивалентное падение напряжения управляемого выпрямителя также отнесено к фазе проводимости БСИТ.

Микроэлектронная реализация управляемого выпрямителя исследуемого макета (рис.4) может быть реализована в виде интегральной микросхемы.

Схема, показанная на рис.4, является развитием схемы рассматриваемого макета.

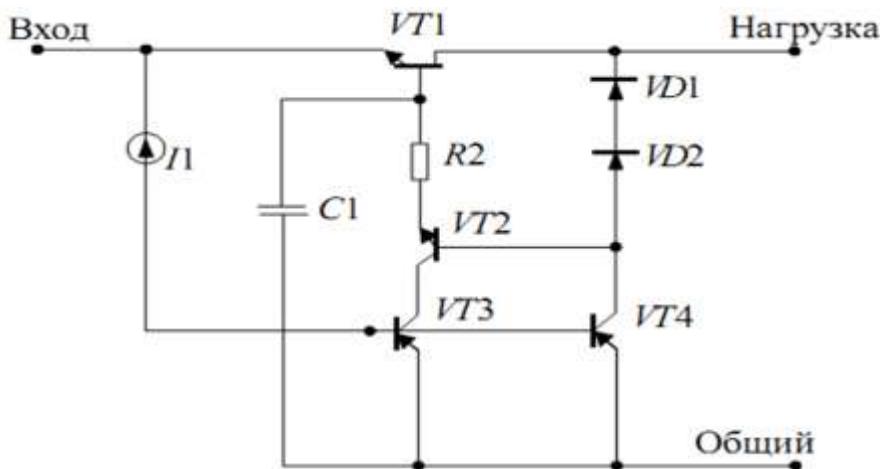


Рисунок 4 -- Вариант микроэлектронной реализации управляемого выпрямителя на основе БСИТ

На данном макете резистор $R3$ отсутствует, требуемая величина тока коллектора $VT4$ достигается выбором отношения токов насыщения транзисторов $VT3$ и $VT4$. Источник тока $I1$ может иметь различную природу, например, это может быть резистор или источник тока на биполярных транзисторах. Конденсатор $C1$ может подключаться извне или быть в составе микросхемы. При проектировании управляемого выпрямителя также желательно увеличить рабочее обратное напряжение база-эмиттер БСИТ.

Обсуждение результатов. На основе оптимизации технологических процессов очистки поверхности пластин, диффузии бора, диффузии фосфора из твердого планарного источника, процесса пирогенного окисления, процессов получения и травления пленки нитрида кремния, металлизации обратной стороны формируемых структур разработан технологический маршрут изготовления структур, состоящий из 62 основных технологических операций. Одна из особенностей технологического маршрута – оптимальный процесс металлизации обратной стороны интегральной структуры.

Металлизация обратной стороны интегральной структуры известными способами может привести к некачественной посадке кристалла на основание корпуса и потере процента выхода годных изделий.

В процессе работы выбрана оптимальная технология металлизации, состоящая из последовательного напыления четырех слоев (хром-никель-олово-серебро) в едином технологическом цикле и обеспечивающая качественную посадку кристалла на основание корпуса, а также увеличение процента выхода годных изделий на 6-10% [12-14].

Особенность предлагаемого процесса можно объяснить тем, что после металлизации проводится посадка кристалла прибора на основание корпуса, однако в случае одновременного присутствия примесей нескольких металлов на обратной стороне кристалла, даже благородных, часто развивается коррозия паяного соединения, приводя к разрушению контакта без всякого воздействия агрессивных сред [13].

Взаимодействие припоя с основой предупреждает барьерный слой никеля. По подслою никеля часто применяют покрытие золота и серебра. Устойчивостью к атмосферному воздействию обладают покрытия оловом, сплавом золото-никель.

Однако на границе припой-золото на деталях могут появляться зоны хрупкого покрытия, разрушающегося при эксплуатации приборов. Серебряные покрытия обладают свойством растворяться в припое с образованием Ag_3Sn , и нет данных, позволяющих утверждать, что Ag_3Sn

может вызывать хрупкость, или преждевременные отказы припаяных соединений. Добавка в припое серебра способствует повышению прочности припаяных соединений.

Следовательно, для прочного, надежного монтажа полупроводникового кристалла требуется создание на пластине адгезивной пленки, барьерного слоя, защитного слоя, и слоя, хорошо взаимодействующего с припоеем.

Анализ технологических режимов напыления металлов на обратную сторону пластин привел к определенным числовым значениям толщин каждого слоя, наиболее оптимальным с точки зрения качества монтажа кристалла. Хром является первым слоем многослойной металлизации обратной стороны пластин. Его используют, чтобы получить хорошую механическую адгезию с кремнием.

Толщина пленки хрома составляет 500 ± 100 Å. Пленка хрома (Cr) не должна иметь толщину менее 300 Å, в противном случае возможна неравномерность толщины пленки на различных участках пластины и по периферии, однако наращивание пленки более 700 Å ухудшает электрические и теплопроводные характеристики кремниевых структур. Пленки никеля, используемые для покрытия обратной стороны пластин, характеризуются высоким уровнем механических напряжений.

Для получения хорошей адгезии наносимой пленки необходимо выполнение требований по высокой чистоте обрабатываемых поверхностей пластин относительно углеводородных загрязнений на границах раздела «кремний - хром, пленка хрома - пленка никеля». Кроме того, для выполнения условия хорошей смачиваемости на границе «пленка никеля - пленка олова», необходима высокая чистота этой границы.

Это условия является наиболее критичными в процессе нанесения 4-х слойной металлизации, поэтому очень важно проводить процесс в едином технологическом цикле. Пленка никеля (Ni) должна иметь толщину 5000 Å, потому что после расплавления верхних слоев припой контактирует с никелем и требуется запас толщины для хорошей взаимодиффузии никеля и припоя. Для напыления никеля требуется низкий вакуум порядка 10^{-5} Па, так как никель хорошо окисляется при обычном давлении, а если никель окислился, то его восстановить невозможно.

Толщина слоя олова должна быть в пределах 500-1000 Å. Олово напыляют для того, чтобы не окислялась пленка никеля при проникновении кислорода через пленку серебра. После посадки кристалла и серебра, и олово будут расплавлены, а припой будет контактировать с никелем. Толщина пленки серебра находится в пределах 4000-10000 Å.

Данное сочетание напыляемых слоев обеспечивает получение надежного омического контакта к коллекторной области при посадке кристалла на основание, которое приводит к уменьшению сопротивления омического перехода, что увеличивает процент выхода годных приборов [15,16,17,18].

Вывод. В результате проведенных измерений характеристик макета управляемого выпрямителя на основе БСИТ КТ698И с пропорционально-насыщенным управлением установлено работоспособность макета при входном напряжении от 2,0 В на частоте до 750 кГц.

Коэффициент полезного действия исследованных макетов при средних плотностях тока достигает 90%, а эквивалентное падение напряжения достигает 100-200 мВ.

Критерий – эквивалентное падение напряжения управляемого выпрямителя, равное падению напряжения на выпрямительном элементе, выделяющем при равном среднем выходном токе равную тепловую мощность, удобен для оценки энергетической эффективности использования управляемых выпрямителей по сравнению с диодами в зависимости от выходного тока и выходного напряжения.

Библиографический список:

1. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Букашев Ф.И., Захарова П.Р. Технология, конструкции, методы моделирования и применение БСИТ-транзисторов/ М.: Академия, 2012.-252 с.
2. Букашев Ф.И. SPICE-модель биполярного статического индукционного транзистора // Известия вузов. Электроника, № 5, 2009. - С. 15-21.
3. Григорьев Б.И. Состояние и перспективы развития теории силовых биполярных транзисторов// Известия высших учебных заведений. Приборостроение. Спб.: ИТМО, 2016, Т. 59 - № 2, с. 95-106.
4. Лагунович Н.Л., Турцевич А.С., Борзов В.М. Новый технологический маршрут изготовления биполярного транзистора со статической индукцией// МНПК «Современные информационные и электронные технологии». Одесса, 2016, С.150-151.
5. Шахмаева А.Р., Шангерева Б.А., Саркаров Т.Э. Технология изготовления транзисторных структур силовой электроники//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. – №1. –Т. 40. -С.31-37.
6. Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Применение САПР SYNOPSYS для моделирования БСИТ-транзистора// Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы материаловедения и наноматериалов: труды VIII Международной конференции.- 9-10 июня 2011.- М: Изд-во МИСиС, 2011.-С.823-828.
7. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Абдулхаев О.А. Полевой транзистор с длинным каналом со свойствами короткоканального транзистора// Физика и техника полупроводников. М.: Изд. «Наука», 2014.- № 4 - С. 498-503.
8. Захарова П.Р. Исследование и анализ изменения параметров канальной области бсит - транзистора средней высоковольтности. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013;29(2):15-21
9. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Технологическое решение по улучшению параметров кристалла биполярного со статической индукцией транзистора// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.-2011.- Т. 20 - №1 - С. 6-10.
10. Шахмаева А.Р., Шангерева Б.А., Захарова П.Р. Разработка конструктивно-технологических решений создания БСИТ-транзисторов с применением средств приборно-технологического моделирования//Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы IV международной научно-практической конференции, 4-5 августа 2014 г.– М., 2014.-С. 172-174
11. Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Совершенствование технологии изготовления низковольтного транзистора с наноразмерными величинами активных областей// Прикаспийский журнал. Управление и высокие технологии. 2011.- Т.4 - №16. - С.103-110.
12. Патент 2013100562/28 Рос. Федерации: МПК H01L 21/58, № 2534439; заявл. 09.01.2013; опубл. 27.11.2014 Бюл. №33.-4с. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Способ формирования контакта к стоковой области полупроводникового прибора.
13. Wang, Y., Feng, J., Liu, C. et al. Improvements on voltage-resistant performance of bipolar static induction transistor (BSIT) with buried gate structure. *Science in China Series F: Information Sciences*, 2012, 55(4): 962.

14. Wang, Y., Feng, J., Liu, C. et al. Improvement on the dynamical performance of a power bipolar static induction transistor with a buried gate structure. *Journal of Semiconductors*, 2011, 32 (11): 962.
15. Napoli, E. and Strollo, A. G. Static Induction Transistors. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 2014, pp.1–6.
16. Meenakshi Mataray et al. Modern Power Semiconductor Devices. (IJCSIT) International Journal of Computer Science and Information Technologies, 2012, vol.3, no. 4, pp. 4571 – 4574.
17. Shaohua Lu and Farid Boussaid. An Inductorless Self-Controlled Rectifier for Piezoelectric Energy Harvesting. *Sensors*, 2015, p.15.
18. G. Belkacem1a, S. Lefebvre1, P. Joubert et al. Distributed and coupled 2D electro-thermal model of power semiconductor devices. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2014, 66: 20102.

References:

1. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Bukashev F.I., Zakharova P.R. Technology, Constructions, methods of simulation and application BSIT-transistors. *Moscow: Academy*, 2012, 252 p. (In Russian)
2. Bukashev F.I. SPICE model of the bipolar static induction transistor. *News of higher education institutions. Electronics*, 2009, no.5, pp.15-21. (In Russian)
3. Grigoriev B.I. The state and prospects of further development of theory of power bipolar transistors. *Journal of Instrument Engineering*. St. Petersburg: ITMO, 2016, vol. 59, no.2, pp. 95-106. (In Russian)
4. Lagunovich N.L., Turtsevich A.S., Borzdov V.M. A new process flow of manufacture of the bipolar transistor with static induction. *MNPK "The Modern Information and Electronic Technologies"*. Odessa, 2016, pp.150-151. (In Russian)
5. Shakhmaeva A.R., Shangereeva B.A., Sarkarov T.E. Technology of manufacturing of transistor structures of force electronics. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]*, 2016, vol.40, no.1, pp.31-37. (In Russian)
6. Shakhmaeva A.R., Zakharova P.R. Application ofa TCAD of SYNOPSYS for simulation of the BSIT-transistor. Perspective technologies, the equipment and analytical systems of materials science and nanomaterials: works of the VIII International conference. June 9-10, 2011. *Moscow: MISIS*, 2011, pp.823-828. (In Russian)
7. Karimov A.V., Yodgorova D.M., Abdulkhaev O.A. Long-channel field-effect transistor with short-channel transistor properties. *Semiconductors. Moscow:Nauka*, 2014. no.4, pp.498-503. (In Russian)
8. Zakharova P.R. Research and the analysis of change of parameters in the channel of average high-voltage bipolar static induction transistor. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]*, 2013, vol.29, no.2, pp.15-21. (In Russian)
9. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.P., Zakharova P.R. Technology solution on improving of parameters of a crystal of the bipolar with static induction transistor. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]*, 2011, vol.20, no.1, pp. 6-10. (In Russian)
10. Shakhmaeva A.R. Shangereeva B.A., Zakharova P.R. Development of constructive technology solutions of creation of BSIT-transistors using means of instrumental and technological simu-

lation. The Actual directions of fundamental and applied researches: materials of the IV international scientific and practical conference, on August 4-5, 2014 – Makhachkala, 2014, pp.172-174. (In Russian)

11. Shakhmaeva A.R., Zakharova P.R. Enhancement of manufacturing technology of the low-voltage transistor with nanosized values of the active areas. *Caspian journal. Management and high technologies.* 2011, vol. 4, no.16, pp.103-110. (In Russian)
12. Patent 2013100562/28 Russian Federation: MPK H01L 21/58, No. 2534439; 09.01.2013 is declared; 27.11.2014 is published in Bulletin. no.33, 4p. A method of formation of contact to drain area of the semiconductor device. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharova P. R. (In Russian)
13. Wang, Y., Feng, J., Liu, C. et al. Improvements on voltage-resistant performance of bipolar static induction transistor (BSIT) with buried gate structure. *Science in China Series F: Information Sciences*, 2012, 55(4): 962.
14. Wang, Y., Feng, J., Liu, C. et al. Improvement on the dynamical performance of a power bipolar static induction transistor with a buried gate structure. *Journal of Semiconductors*, 2011, 32 (11): 962.
15. Napoli, E. and Strollo, A. G. 2014, Static Induction Transistors. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, pp.1–6.
16. Meenakshi Mataray et al. 2012, Modern Power Semiconductor Devices. (IJCSIT) International. *Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 4571 – 4574.
17. Shaohua Lu and Farid Boussaid. An Inductorless Self-Controlled Rectifier for Piezoelectric Energy Harvesting. *Sensors*, 2015, p.15.
18. G. Belkacem1a, S. Lefebvre1, P. Joubert et al. 2014, Distributed and coupled 2D electro-thermal model of power semiconductor devices. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 66: 20102.

Сведения об авторах.

Букашев Федор Игоревич – кандидат технических наук, преподаватель кафедры проектирования и технологии радиоаппаратуры.

Шахмаева Айшат Расуловна – кандидат технических наук, декан факультета повышения квалификации и переподготовки, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Authors information.

Fedor I. Bukashev – candidate of technical Sciences, lecturer of the Department of designing and technology of radio equipment,

Aishat R. Shakhmaeva – candidate of technical Sciences, Dean of Faculty training and re-training, Associate Professor of Department of Software computer technology and automated systems.

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

Поступила в редакцию 30.05.2016.

Received 30.05.2016.

Принята в печать 12.07.2016.

Accepted for publication 12.07.2016.

Для цитирования: Герейханов Р.К. АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):45-52. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-45-52

For citation: Gereykhhanov R.K. ELECTRICITY QUALITY INDICATION IMPROVING ALGORITHM IN INDUSTRIAL ENTERPRISES . Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 42(3): 45-52. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-45-52

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

TECHNICAL SCIENCE

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 620.98

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-45-52

Герейханов Р.К.

Дагестанский государственный технический университет,

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

e-mail:gereyhanov@gmail.com.

АЛГОРИТМ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация. Цель. В статье рассматриваются вопросы повышения качества электроэнергии на предприятиях; проведен анализ методов и базовых алгоритмов анализаторов параметров электроэнергии, на основе которых предлагается алгоритм и аппаратная структура системы для решения проблем, связанных с компенсацией реактивной мощности на предприятиях. Методы. В основу разработки легли математические методы и алгоритмы, которые позволяют анализировать гармонический состав электрических сигналов и производить расчет коэффициентов разложения по совокупности параметров для оценки качества электрической энергии предоставляемой потребителю. Для объективной оценки качества электрической энергии все полученные данные сравниваются с эталонными значениями из ГОСТ Р 54149-2010, после чего выявляется комплексная оценка качества электрической энергии. Результат. Данная разработка не только анализирует качество электрической энергии, но и отличается от аналогов присутствием обратной связи и проверкой на определение ступени воздействия на энергосеть для восстановления электрического сигнала с помощью подключения компенсационных устройств, что позволяет определенным параметрам электрической сети не отклоняться от регламентированных норм. Вывод. Отличительной особенностью разработанного алгоритма является быстродействие и работа системы в реальном времени, что позволяет одновременно анализировать состояние сети и оказывать мгновенное воздействие. Также алгоритм предоставляет возможность взаимодействия с техническим персоналом для принятия решения в диалоговом режиме.

Ключевые слова: энергоснабжение, качество электроэнергии, энергосеть, алгоритмы

Rasul K. Gereykhhanov

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

e-mail:gereyhanov@gmail.com.

ELECTRICITY QUALITY INDICATION IMPROVING ALGORITHM IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

Abstract. Aim. The questions of electrical power quality increase at the enterprises are considered at this article; the analysis of methods and basic algorithm analyzer parameters are carried out based on the algorithm and hardware structure of the system to solve the problems related to the compensation of the reactive power at the enterprises. Methods. The mathematical methods and algorithms formed the basis which allows analyzing the harmonic structure of the electrical signals it is allowed to calculate the expansion coefficients for the set of parameters to assess the quality of electricity supplied to consumers. To objective assessment of electric energy quality all the date are com-

pared with the reference values of the GOST R 54149-2010, after all a complex assessment of the electrical energy quality is revealed. **Results.** This development not only analyses the quality of electrical energy, but also differs from analogues by the presence of feedback and check to determine degree of impact on the power grid to recover the electrical signal by connecting compensation devices, which allows certain parameters of the electric network not to deviate from the regulated standards. **Conclusion.** A distinctive feature of the algorithm is the speed and operation of the system in real time that allows to analyze at the same time the state of the network and to make instant impact. Also the algorithm provides the opportunity to interact with technical staff to decide in the dialogue mode.

Key words: energy, quality of the electric power, grid, algorithms

Введение. Оценка контроля качества электрической энергии подразумевает выявление соответствий её показателей установленным нормам в ГОСТ Р 54149-2010 [3]. Оценка показателей качества электрической энергии предполагает выполнение большого объёма измерений с достаточно высокой производительностью. Для контроля качества электроэнергии применяют сертифицированные приборы, обеспечивающие измерения, расчет требуемых параметров и проверку на соответствие ГОСТу с последующим принятием решения о качестве электрической энергии, предоставляемой сетевым поставщиком.

Постановка задачи. В мировой практике решение проблемы качества поставок электроэнергии одновременно идет по двум направлениям: технологическому и нормативному [11,12,13,14]. Сущность технологического подхода заключается в развертывании территориальных систем контроля и управлении качественными показателями электроэнергии. При этом мониторинг проводиться на уровнях передачи и распределения электрической энергии. Нормативный подход предполагает создание технических регламентов и стандартов, определяющих отношения поставщика и потребителя электроэнергии с учетом ее качества. Контроль качества электроэнергии по этому направлению основывается на следующих трёх стандартах [5]: стандарты на методы измерений параметров качества электроэнергии; стандарты на качество электрической энергии (КЭЭ); стандарты по организации и проведению контроля КЭЭ и форму отчетов. В соответствии с ГОСТ Р 54149-2010 показатели качества электроэнергии снимаются непосредственно с точек передач электрической энергии потребителям, а не на точках распределения. Как правило, количество и местоположение этих источников в сети известно ориентировочно, а уровень вносимых источниками искажений заранее достоверно не определен. Искажающие токи растекаются по электрическим сетям в зависимости от схемы сети, частотных характеристик и т. п. после чего суммируются в сетевых узлах. Поэтому искажение напряжения определяется действием нескольких «виновников». Первичная обработка качества параметров напряжения и тока заключается в определении их гармонического состава посредством быстрого преобразования Фурье с усреднением полученных значений на установленных интервалах времени. В соответствии с ГОСТ Р 54149-2010 требуется вычислять среднеквадратичные значения, что приводит к необходимости использования многопроцессорных архитектур при построении приборов.

Методы исследования. Величины параметров электрической сети можно измерить прямыми и косвенными методами, но некоторые из параметров, такие как, среднеквадратические значения напряжений и токов, доза фликера и т.д. могут быть измерены лишь косвенными методами. Для определения величин напряжений и токов в электрической сети целесообразно использование различного рода аналого-цифровых преобразователей (АЦП), к входам которого подключаются прецизионные низкоомные резисторы, их величины составляют доли Ома, что минимизирует рассеиваемую на резисторах мощность, а к выходу АЦП возможно подключение вычислительного устройства для обработки первичной информации с последующим отображением результатов измерения.

Как показало исследование, существуют два варианта измерения параметров электрических сетей. Первый из них предлагает использование традиционных измерительных приборов с оценкой качества электрической энергии оператором, проводящим соответствующие измерения. Такой вариант достаточно трудоемок и не лишен известной доли субъективизма. Второй

вариант основан на применении в качестве измерителей параметров сетей автоматизированных и автоматических систем контроля. Дополнительно предоставляется возможность проведения диагностики электрических сетей, автоматизации документирования результатов контроля, обработки статистической информации [1] и т.д. Преимущества данного варианта вполне очевидны, однако его реализация требует значительных экономических затрат. Примерами такого рода анализаторов качества электрической энергии являются UF2[7], Парма РК 3.01[8], ИВК «Омск-М». [9] Эти анализаторы незначительно отличаются друг от друга технико-экономическими показателями, имеют однотипную структуру (рис.1) и практически используют одинаковые алгоритмы функционирования, отличающихся в отдельных деталях.

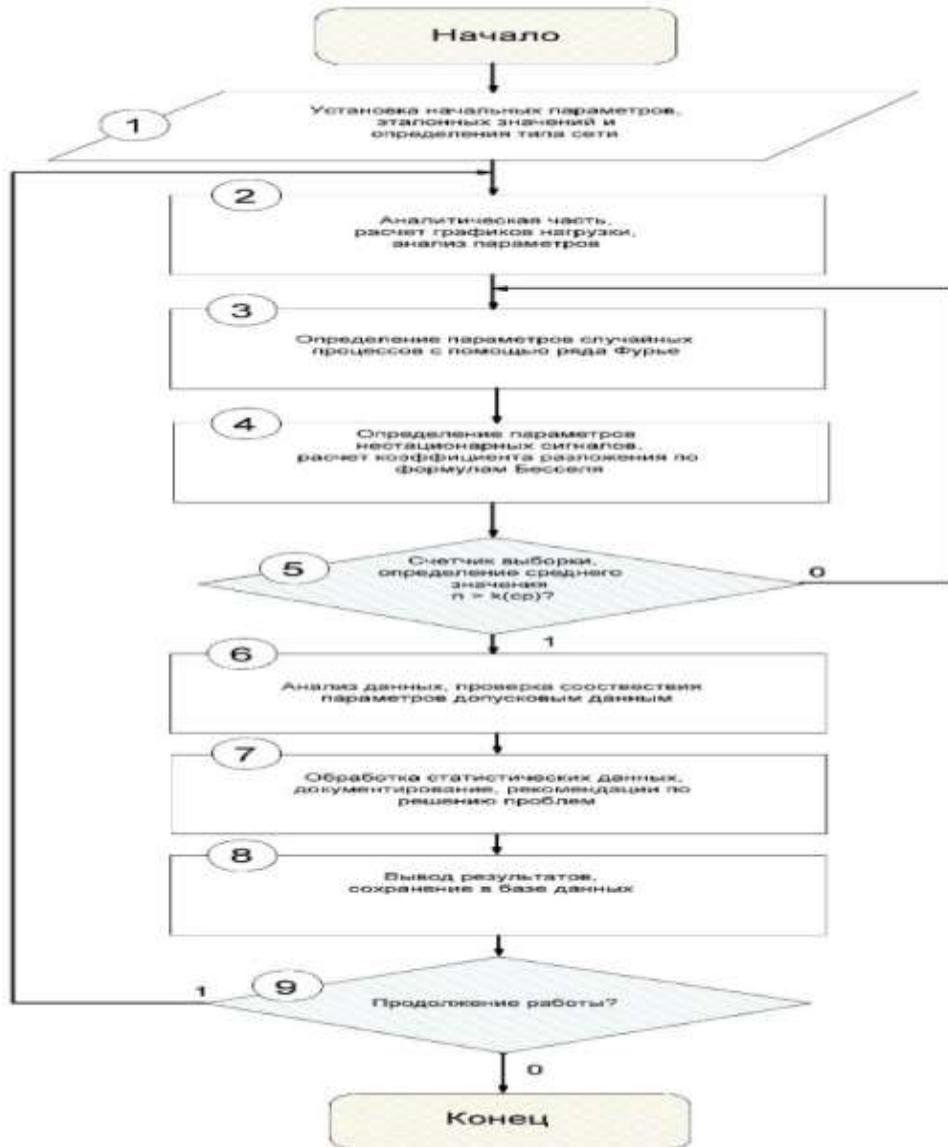


Рисунок 1-Обобщённая структурная схема системы анализа параметров электропитания

Обобщённая структура этих алгоритмов приведена на рисунке 2, и состоит из следующих блоков:

1. Задание режимов работы, установка эталонных значений и определение типа сети (трехфазная или однофазная);
2. Сбор и анализ данных, определение расчетных графиков, параметров электрической сети на основе результатов, полученных от АЦП;

3-4. Определение гармонического состава сигнала с помощью преобразования Фурье, определение параметров нестационарных сигналов, возникающих в энергосети, расчет коэффициентов разложения по методике Бесселя;

5. Цикл итераций для определения среднеквадратических значений полученных по методам разложения и определения гармонического состава;

6. Проверка целостности полученных данных, сравнение с эталонными значениями, регламентированных ГОСТ;

7. Рекомендации по решению проблем на электрической линии, выдвинутых на основе статистических расчетов, документирование параметров;

8. Вывод результатов по поддерживаемым интерфейсам связи, сохранение полученных данных в локальной и серверной базе данных.

В ряде задач приёма сигналов в присутствии шумов нельзя ограничиться таким общим критерием, как отношение сигнал/шум. Возникает необходимость использовать более тонкие статистические свойства процессов [2], которые дают возможность количественно оценить достоверность полученных данных. Также, для обработки дискретного сигнала рекомендуются применять фильтры Бесселя [10].

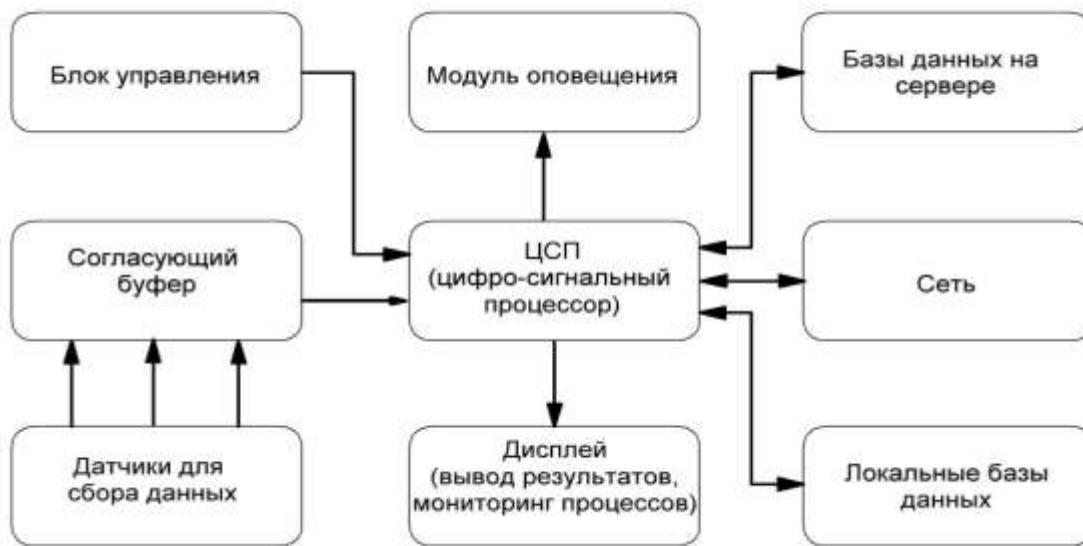


Рисунок 2- Основной обобщенный алгоритм анализатора КЭЭ

Как следует из алгоритма, анализаторы выполняют функции сбора и анализа информации о текущем состоянии электрической сети, обработки статистической информации и выдачи рекомендаций по устранению возможных внештатных ситуаций. При этом, непосредственное устранение [15,16,17,18] таких ситуаций возлагается на обслуживающий электрические сети технический персонал.

Однако, учитывая наличие человеческого фактора в контуре управления параметрами электрических сетей, сложно судить о достаточном быстродействии по ликвидации внештатных ситуаций. Для устранения указанного недостатка, т.е. исключения технического персонала обслуживания электрических сетей при возможных критических ситуациях, предлагается переход к автоматической системе [4] анализа поступающей информации с последующим воздействием на параметры сети (рис. 3).

Непосредственное воздействие на параметры сети предлагается посредством компенсационных устройств [6], при этом, целесообразна коммутация не одного компенсатора максимальной мощности из-за проблем снижения эффективности и возникновения фликер-эффекта, а требуемого по мере изменения параметров сети количества устройств меньшей мощности, т.е. применение ступенчатой коммутации или плавной регулировки выходной мощности.

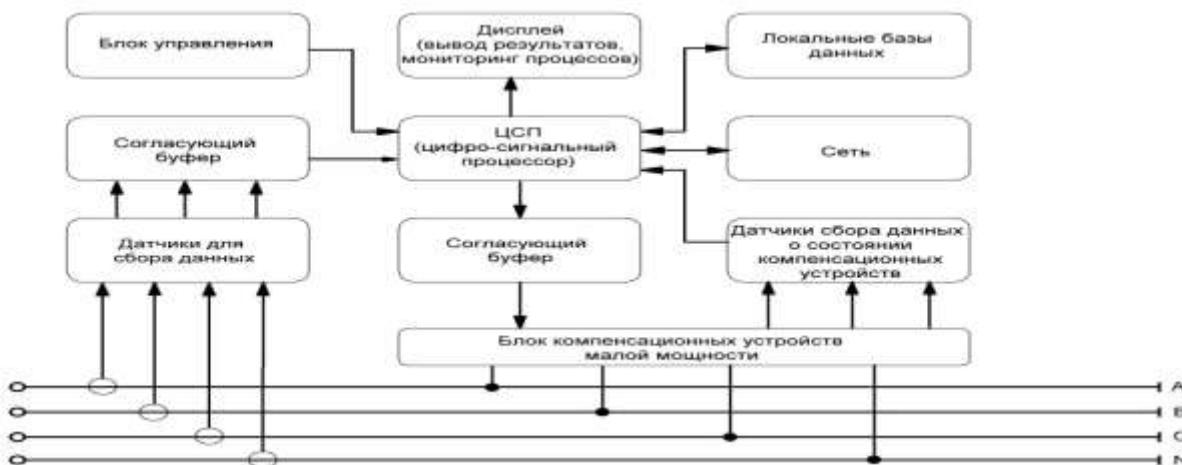


Рисунок 3-Структурная схема системы анализа и управления параметрами электроэнергии

В этом случае алгоритм функционирования системы анализа информации и управления параметрами электрической сети (рис.4) выполняет следующие действия:

1- 2. Определяются начальные значения анализируемых электрических цепей и активной нагрузки, аппроксимируются графики нагрузки, создается аналитическая модель исходного состояния электрической сети;

3. Происходит квантование и разложение на составляющие, которые будут соответствовать техническим требованиям подключаемых компенсаторов;

4. Цикл уменьшения вероятности ошибки и получения требуемого эффекта при коммутации компенсационных устройств, выводится среднее значение, исходя из множества выборок;

5-6. Квантование графиков нагрузки, расчет потерь на основании которых принимается решение о расхождении значений с эталонными;

7. Фильтрация и подготовка данных в зависимости от используемого протокола, на основе которого происходит определение типа изменившегося параметра;

8. Анализ изменения параметров от предыдущих измерений (измерительная часть работает до тех пор, пока не будут выявлены изменения между пакетами данных);

9-10. Определение изменившихся параметров, приоритета отклонившегося параметра и степени отклонения от допустимых норм, на основе чего решается, воздействовать на сеть в автоматическом режиме, или ожидать решения пользователя о применении тех или иных предложенных вариантов;

11. Распределение функций в соответствии с принятым решением блоком 9;

12. Оповещение об отклонении параметров от допустимых норм и автоматическом воздействии на электрическую сеть с целью компенсации отклонившихся параметров;

13-14. Проверка доступности используемых ресурсов, установка ограничений, определение требуемой мощности для компенсации реактивной мощности;

15-17. Взаимодействие с техническим персоналом посредством диалоговых окон с выбором предлагаемых вариантов и прогноза исхода событий при определённом выборе;

18. Проверка текущего состояния компенсаторов, анализ и определение доступности ресурсов;

19-21. Управление ступенями подключаемой мощности посредством компенсационных устройств (в данном варианте, в качестве примера, предложены три ступени воздействия при разных уровнях потребляемой мощности в процентном отношении). Если превышение номинальной потребляемой мощности ниже 25%, то активизируется требуемая часть из ресурсов компенсационных устройств с целью восстановления параметров сети;

23-26. Контроль отклоненных от норм параметров сети после подключения компенсационных устройств. При нахождении параметров в поле допуска следует сообщение об успеш-

ном восстановлении сигнала с документированием, в противном случае, переход к блоку 2 для повторного анализа всех параметров и определения последующей ступени воздействия;

22, 29. Оповещение об аварии и включение защитных механизмов, если все имеющиеся компенсационные средства не способные восстановить сигнал. Такая ситуация может произойти при потреблении больших мощностей, превышающих мощность компенсационных устройств. Если отклонения могут привести к авариям, возможно отключение фаз с помощью управляемых коммутаторов используемых на линии;

28. Отображение текущей информации о состоянии сети, запись данных на удаленные сервера, документирование.

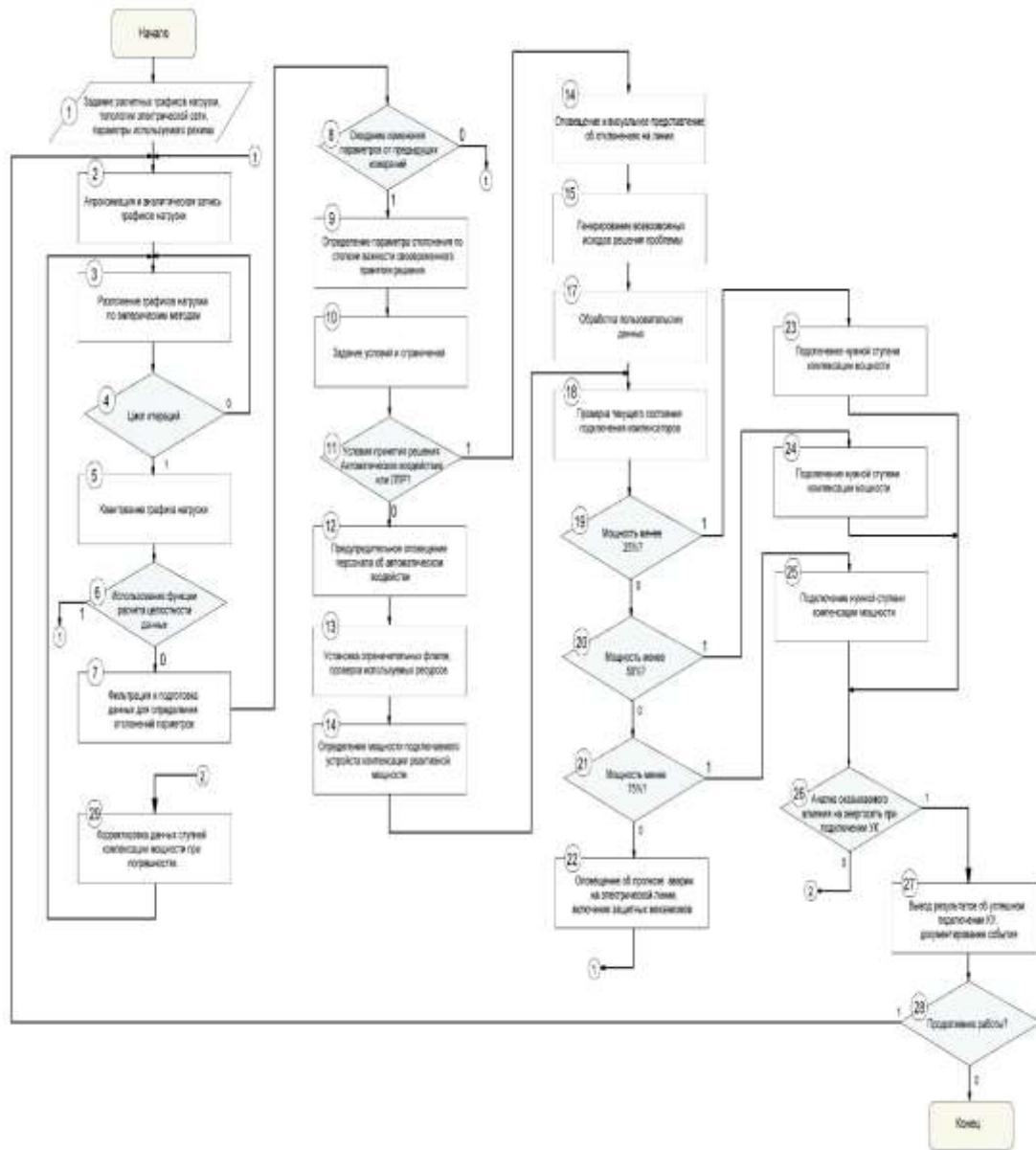


Рисунок 4- Алгоритм анализа и управления электрическими линиями

Вывод. В основу разработки представленного алгоритма легли математические и статистические функции, позволяющие выявлять гармонический состав сигнала, расчет коэффициентов разложения и оценки по совокупности параметров о качестве предоставляемой энергии [19,20,21] потребителю и состоянии электрической сети.

Сравнение полученных данных происходит с эталонными значениями регламентированных в ГОСТ Р 54149-2010, с учетом которых производится комплексная оценка качества электрической энергии.

Предложенное решение отличается дополнительной проверкой на определение ступени воздействия на энергосеть для последующего восстановления сигнала с помощью подключения компенсационных устройств. Алгоритм предоставляет возможность взаимодействия с техническим персоналом при принятии решения в диалоговом режиме.

Библиографический список:

1. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. - М.: Статистика, 1977.- С.64 - 98
2. Никитин Ю.М. Метод статистического исследования нестационарных случайных процессов в электроснабжении. Электричество. - 1971. - № 2. - С. 25–30.
3. Weng B. Optimal signal reconstruction using the empirical mode decomposition. *Euroasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2008, vol.4. pp.12–18.
4. Исмаилов Т.А., Герейханов Р.К., Магомедов А.М., Способ повышения качества электроснабжения напредприятиях и распределительных сетях. - Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Т.35, №4 - 2014 - С. 88-95
5. ГОСТ Р 54149-2010, <http://www.elec.ru/library/gosts/gost-r-54149-2010>.
6. Компенсационные устройства, <http://goo.gl/Tm3gZ5>
7. UF2, <http://www.entp.ru/catalog/pke/12>
8. Парма РК 3, <http://www.energoaudit.ru/goods/electrotesters/analyzatory/500.html>
9. ИВК «Омск-М», <http://www.kip-guide.ru/info/21571-01>
10. Фильтры Бесселя, <http://service4u.narod.ru/html/filter.html>
11. Паули В.К. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии. - Энергоэксперт. 2007. - №2. - с. 16-22.
12. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.
13. Куско А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях. - Додэка – XXI, 2010. - 336 с.
14. Benysek G. Power Theories for Improved Power Quality. 2012, pp.49-116.
15. Sahadat N., Hossain S., Rahman A., Taufique S. Power Quality Improvement of Large Power System Using a Conventional Method. 2011, pp.823-828.
16. Power Distribution Planning Reference Book. *Second Edition, New York*, 2011, pp.102-123.
17. Naik R.S., Vaisakh K. and Anand K. Determination of ATC with PTDF Using Linear Methods in Presence of TCSC. The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, *Singapore, 26-28 February 2010*, Vol. 5, pp. 146-151.
18. Fuchs E., Mohammad A. S. Masoum. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines. 2008, pp. 55 – 60.
19. Dugan C., Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty. Electrical Power Systems Quality. *Third Edition*, 2014, pp.105 – 111.
20. Гаврилов Ф.А. Качество электрической энергии. *Приазовский ГТУ*, 2007. - 96 с.
21. Волгин М.Е. Надежность и качество электрической энергии в системах электроснабжения. *Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова*, 2008 . – 81 с.

References:

1. Chetyrkin E., Statistical methods of forecasting. Moscow: *Statistika*, 1977, pp. 64 – 98 (In Russian)

2. Nikitin Yu. M., Method of statistical study of nonstationary random processes in the power supply. *Elektrichestvo*. 1971, no. 2, pp.25-30 (In Russian)
3. Weng B. 2008, Optimal signal reconstruction using the empirical mode decomposition. *Euroasip Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 4, pp. 12-18.
4. Ismailov T. A., Garahanov R. K., Magomedov M. A. Method of increasing the quality of electricity supply appropriate and distribution networks. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Tehnicheskie nauki*. [Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences], 2014, vol.35, no.4, pp. 88-95. (In Russian)
5. GOST R 54149-2010, <http://www.elec.ru/library/gosts/gost-r-54149-2010> (In Russian)
6. The compensation device <http://goo.gl/Tm3gZ5>(In Russian)
7. UF2, <http://www.entp.ru/catalog/pke/12>(In Russian)
8. Parma RK 3, <http://www.energoaudit.ru/goods/electrotesters/analizatory/500.html>(In Russian)
9. IVK "Omsk-M", <http://www.kip-guide.ru/info/21571-01>(In Russian)
10. Filters-Bessel, <http://service4u.narod.ru/html/filter.html>(In Russian)
11. Pauli V.K. Reactive power Compensation as effective crestoronline use of electricity. *Energoekspert*. 2007, no.2, pp.16-22.
12. Zhelezko Yu.S. Loss of electricity. Reactive power. The quality of electricity. *Moscow: ENAS*, 2009, 456p.
13. Kusko A., Thompson M. Power Quality in electrical networks. *Dodeka XXI*, 2010, 336 p.
14. Benysek G. Power Theories for Improved Power Quality. 2012, pp.49-116.
15. Sahadat N., Hossain S., Rahman A., Taufique S. Power Quality Improvement of Large Power System Using a Conventional Method. 2011, pp.823-828.
16. Power Distribution Planning Reference Book. *Second Edition, New York*, 2011, pp.102-123.
17. Naik R.S., Vaisakh K. and Anand K. Determination of ATC with PTDF Using Linear Methods in Presence of TCSC. The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, Singapore, 26-28 February 2010, vol. 5, pp. 146-151.
18. Fuchs E., Mohammad A. S. Masoum. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines. 2008, pp. 55 – 60.
19. Dugan C., Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty. Electrical Power Systems Quality. *Third Edition*, 2014, pp.105 – 111.
20. Gavrilov A.F. the Quality of electrical energy. Priazovskii GTU, 2007, 96p.(In Russian)
21. Volgin M.E., Reliability and quality of electric energy in power systems. *Pavlodar: PGU im. S. Toraigyrova*, 2008, 81p. (In Russian)

Сведения об авторе.

Герейханов Расул Кудратович – аспирант, кафедры теоретической и общей электротехники.

Rasul K. Gereihanov – postgraduate student, Department of theoretical and General electrical engineering.

Поступила в редакцию 25.05.2016.

Received 25.05.2016.

Принята в печать 25.07.2016.

Accepted for publication 25.07.2016.

Для цитирования: Евдулов Д.В., Евдулов О.В., Набиев Н.А. МОДЕЛЬ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ, ВЫДЕЛЯЕМОЙ РЭА . Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):53-63. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-53-63

For citation: Yevdulov D.V., Yevdulov O.V., Nabiiev N.A THERMOELECTRIC SYSTEM MODEL FOR HEAT UTILIZATION GENERATED BY ELECTRONICS. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 53-63. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-53-63

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621.362: 537.322

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-53-63

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

¹⁻³Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

^{1,2}e-mail:ole-ole-ole@rambler.ru

³e-mail:alternativa9372@mail.ru

МОДЕЛЬ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ, ВЫДЕЛЯЕМОЙ РЭА

Аннотация. Цель. В статье предложена термоэлектрическая система для утилизации теплоты, выделяемой радиоэлектронной аппаратурой, включающая в себя тепловой аккумулятор с плавящимися рабочими веществами и термоэлектрический генератор энергии. Рассмотрена ее тепловая и математическая модель. Методы. Модель построена путем решения задачи расчета процессов плавления и затвердевания рабочего вещества в теплоаккумуляторе, определения характеристик термоэлектрического генератора, преобразующего теплоту от радиоэлектронной аппаратуры в электрическую энергию. Результаты. Приведены результаты численного эксперимента по разработанной модели, представляющие собой графики, оценивающие продолжительность полного проплавления и затвердевания рабочего агента в зависимости от мощности радиоэлектронной аппаратуры, а также от интенсивности теплообмена с окружающей средой; зависимости генерируемой электродвигущей силы от перепада температур между спаями термоэлектрического генератора энергии, а также его коэффициента полезного действия. Установлено, что значение вырабатываемой электродвигущей силы термоэлектрического генератора в основном зависит от теплофизических характеристик вещества, используемого в качестве теплового аккумулятора, характеристик воздушного радиатора, обеспечивающего отвод теплоты от холодных спаев термоэлементов, а также температуры окружающей среды. Вывод. Доказано, что значение мощности рассеяния радиоэлектронной аппаратуры влияет на генерируемую электродвигущую силу лишь опосредственно путем влияния на процесс плавления вещества в теплоаккумуляторе.

Ключевые слова: теплота, РЭА, утилизация, тепловой аккумулятор, плавящееся рабочее вещество, термоэлектрический генератор, тепловая и математическая модель

Denis V.¹ Yevdulov, Oleg V.² Yevdulov, Nabi A.³ Nabiiev

¹⁻³Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

^{1,2}e-mail:ole-ole-ole@rambler.ru,

³e-mail:alternativa9372@mail.ru

THERMOELECTRIC SYSTEM MODEL FOR HEAT UTILIZATION GENERATED BY ELECTRONICS

Abstract. Aim. Proposed is the thermoelectric system for utilizing the heat emitted by electronic equipment, including thermal battery with consumable working substance and thermoelectric power generator. It is considered the thermal and mathematical model. **Methods.** The model is built by solving the problem of calculation of melting processes and solidification of the working substance in the heat accumulator, characterization of a thermoelectric generator to convert the heat from electronics into electrical energy. **Results.** Given are the results of numerical experiment on the developed models, presented as graphs that evaluate the duration of complete melting and solidification of the working agent depending on the power electronics, as well as the intensity of heat exchange with the environment. **Conclusion.** Based on the efficiency generated by the temperature difference between the junctions of the thermoelectric power generator and its efficiency.

Key words: heat, electronics, recycling, thermal battery, melting working substance, thermoelectric generator, heat and a mathematical model

Введение. Экономия энергетических ресурсов - одна из главных задач в современной энергетике мира, и в России в частности. Значимость ее определяется, во-первых, все возрастающим потреблением топлива и энергии экономиками стран, во-вторых, невозобновляемостью запасов углеводородного сырья.

23 ноября 2009 г. вышел Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1]. Федеральным законом определен комплекс правовых, организационных и экономических мер, направленных на стимулирование энергосбережения и повышение энергетической эффективности. В законе отмечено, что создание нового эффективного энергооборудования, рациональное и полное использование энергетических ресурсов во всех отраслях экономики, должны рассматриваться как приоритетные задачи. Одновременно все больше возрастает роль утилизации энергии от разного рода производств, эксплуатации различного оборудования. В этой связи важен тот факт, что в РЭА только часть поступившей электрической энергии преобразуется в полезный сигнал. При этом более 70% процентов энергии в блоках РЭА невозвратно теряются в виде выделяющегося тепла [2,3,4]. Это приводит к тому, что внутри РЭА значительная часть подводимой энергии превращается в тепло, которое рассеивается в окружающую среду без каких-либо полезных действий. В данных условиях представляет интерес разработка конструкции специальной системы, которая давала бы возможность утилизации этой энергии, в частности, преобразовывала бы ее в электрическую для дальнейшего применения.

Постановка задачи. Целью работы является разработка и всестороннее исследование термоэлектрической системы для утилизации теплоты, выделяемой компонентами РЭА, моделирование электро- и теплофизических процессов в ней.

РЭА в процессе своего функционирования выделяет значительное количество теплоты, которое, во-первых, оказывает негативное влияние на температурный режим работы приборов и их надежность, что требует применение специальных теплоотводящих систем, во-вторых, рассеивается безвозвратно в окружающей среде и практически не используется. В этой связи представляется перспективным разработка специальных систем, которые имели бы возможность совмещения функций системы охлаждения РЭА и частичной утилизации выделяемой ею теплоты с последующим преобразованием в электрическую энергию. Если в случае аккумуляции теплоты, выделяемой РЭА, могут быть использованы различного рода теплоаккумуляторы, принцип работы и описание которых приведены в [5, 6], то для дальнейшего преобразования аккумулированной теплоты в электрическую энергию могут быть эффективно применены только термоэлектрические преобразователи энергии [7]. Преимущества последних - значительный моторесурс, отсутствие подвижных частей, бесшумная работа, экологическая чистота, универсальность в отношении способов подвода и отвода теплоты и возможности рекуперации отработанной тепловой энергии [8-9].

Возможно несколько вариантов утилизации теплоты, выделяемой РЭА.

1. Преобразование тепловой энергии от работающей РЭА в электрическую путем непосредственного сопряжения тепловыделяющих компонентов со спаями термоэлектрических преобразователей с дальнейшей подачей получаемой термо-ЭДС на электрический аккумулятор. Данное техническое решение имеет несколько существенных недостатков. Первый недостаток состоит в невозможности в этом случае обеспечения требуемого температурного режима компонентов РЭА ввиду отсутствия возможности эффективного отвода теплоты от последних. Вторым недостатком является генерация электрической энергии только во время функционирования РЭА и соответственно обязательное применение аккумулятора электрической энергии, что не всегда бывает оправдано из-за ограничений по массогабаритным показателям.
2. Использование совместно с термоэлектрическими преобразователями энергии специальных систем теплоотвода. В этом случае спаи преобразователей будут сопрягаться с горячими поверхностями теплоотводящих систем. Для данного варианта недостаток, связанный с обеспечением требуемого температурного режима РЭА, будет устранен, но вместе с тем утилизация теплоты также будет осуществляться только во время работы компонентов РЭА, что также будет требовать наличие электрического аккумулятора.
3. Применение в качестве теплоотводящей системы тепловых аккумуляторов. Наиболее предпочтительным в этом случае будет применение теплоаккумуляторов, выполненных на основе плавящихся рабочих веществ с большой теплотой плавления и температурой плавления, лежащей в пределах 50-70° С.

К тепловым аккумуляторам своими спаями будут присоединяться термоэлектрические преобразователи энергии. Особенностью такой схемы утилизации теплоты РЭА будет возможность генерации электрической энергии, как во время ее работы, так и после. Продолжительность генерации электрической энергии после окончания цикла функционирования РЭА будет определяться теплофизическими характеристиками рабочего вещества, его количеством, а также условиями теплообмена с окружающей средой. Из всех трех рассмотренных вариантов утилизации теплоты, выделяемой РЭА, представляется наиболее эффективным и рациональным именно третий вариант, совмещающий в себе пассивную систему теплоотвода с возможностью генерации электрической энергии достаточно продолжительное время.

Методы исследования. Модель термоэлектрической системы может быть разбита на три основные части, включающие в себя расчет процесса плавления рабочего вещества в теплоаккумуляторе, определяющего эффективность отвода теплоты от компонента РЭА, а также продолжительность ее работы; расчет процесса охлаждения и затвердевания рабочего вещества в тепловом аккумуляторе, что определяет продолжительность генерации электрической энергии после прекращения цикла работы РЭА; расчет непосредственно термоэлектрического генератора (ТЭГ), определяющего количество получаемой электрической энергии за счет утилизации теплоты, выделяемой РЭА.

В соответствии с выбранной схемой утилизации теплоты ее тепловая модель имеет вид, изображенный на рис.1. В модель входят четыре основных блока: блок РЭА, теплового аккумулятора, ТЭГ и радиатора для отвода теплоты от вторых спаев ТЭГ.

На границе указанных блоков имеют место тепловые потоки, определяющие количество теплоты, передаваемое от РЭА к тепловому аккумулятору, от теплового аккумулятора к первым спаям ТЭГ, от вторых спаев ТЭГ к радиатору. Исходными параметрами для расчета являются тепловая мощность, выделяемая РЭА, теплофизические и габаритные параметры теплового аккумулятора, теплофизические и электрофизические характеристики материалов ТЭГ, способ исполнения радиатора. Выходными параметрами являются зависимости изменения во времени температуры оболочки теплового аккумулятора и границы раздела фаз рабочего вещества при различных величинах мощности рассеяния РЭА, а также характеристикок окружающей среды при плавлении и затвердевании рабочего агента, термо-ЭДС и мощность, вырабатываемая ТЭГ.

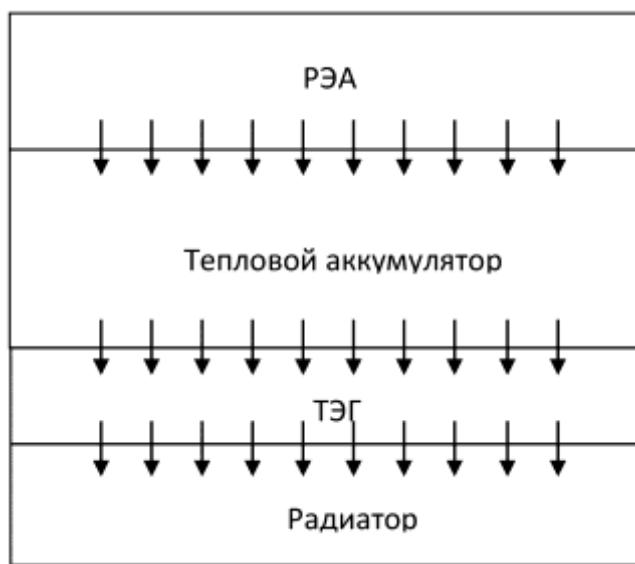


Рисунок 1- Термовая модель термоэлектрической системы утилизации теплоты

Моделирование процессов, связанных с изменением агрегатного состояния рабочего вещества, осуществлено путем решения задачи Стефана с использованием метода Л.С.Лейбензона [10]. Метод приближенного решения заключается в том, что функции изменения температуры в жидкой и твердой фазе вещества подбираются таким образом, чтобы они удовлетворяли требуемым начальным и граничным условиям.

Подобранные таким образом функции подставляются в условие сопряжения на границе раздела фаз, и полученное дифференциальное уравнение решается относительно координаты границы раздела фаз. Для рассматриваемого случая профили температур в твердой и жидкой фазе представлены в виде полиномиальной зависимости в соответствии с рекомендациями [11].

В результате получены следующие системы уравнений для исследования процессов плавления и затвердевания рабочего агента [12]:

1. Для случая плавления рабочего вещества

$$\frac{dT_{ob}}{d\tau} = \frac{1}{(c\rho\delta)_{ob}} \left[q_{P\mathcal{E}A} + \alpha_{cp} (T_{cp} - T_{ob}) + \frac{\lambda_1}{\xi} (T_{kp} - T_{ob}) \right], \quad (1)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \frac{\frac{1}{2} c_1 \rho_1 \xi \frac{dT_{ob}}{d\tau} + \frac{\lambda_1}{\xi} (T_{kp} - T_{ob})}{c_1 \rho_1 \left(\frac{1}{2} T_{kp} - T_{ob} \right) - c_2 \rho_2 (T_{kp} - T_{2R0}) \frac{\xi - R}{\xi_0 - R} - \rho_2 r}. \quad (2)$$

2. Для случая затвердевания рабочего вещества

$$\frac{dT_{ob}}{d\tau} = \frac{1}{(c\rho\delta)_{ob}} \left[\alpha_{cp} (T_{cp} - T_{ob}) + \frac{\lambda_2 (T_{kp} - T_{ob})}{\xi} \right], \quad (3)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \frac{\lambda_2 (T_{kp} - T_{ob})}{\rho_1 r - \frac{1}{2} c_2 \rho_2 (T_{ob} - T_{kp}) - c_1 \rho_1 (T_{IR0} - T_{kp}) \frac{R - \xi}{\xi_0 - R}}. \quad (4)$$

В соотношениях (1)-(4) c_i, ρ_i, λ_i - теплоемкость, плотность и теплопроводность жидкой и твердой фазы рабочего агента, где индекс 1 соответствует жидкой фазе, а индекс 2 – твердой фазе рабочего вещества; τ - время; $q_{P\mathcal{E}A}$ - количество теплоты, выделяемое элементом РЭА в единицу времени и приходящееся на единицу площади торцевой грани емкости с тепловым аккумулятором; α_{cp} - коэффициент теплоотдачи в окружающую среду; T_{ob} - среднемассовая тем-

пература металлической оболочки устройства; T_{cp} - температура окружающей среды; r - теплота плавления рабочего вещества; T_{kp} - температура плавления рабочего вещества; R - толщина слоя рабочего вещества; ξ - граница раздела фаз; α_{ob}, α_{kp} - соответственно коэффициенты теплоотдачи от оболочки к жидкости и от поверхности раздела фаз к жидкости; τ_0, ξ_0 - время и толщина расплава, при которых начинается интенсивное движение конвективных токов и поле температур по жидкой фазе практически исчезает; T_{2R} , T_{2R0} - соответственно температуры при $x = R$ в любой момент времени τ и при $\tau = \tau_0$, ξ_0 - толщина расплава при $\tau = \tau_0$; τ_0 - время, при котором начинает наблюдаться линейное изменение температуры T_{2R} от времени; n - параметр, определяемый экспериментально.

Для расчета ТЭГ в рассматриваемой модели использована стандартная методика, аналогичная приведенным в [13,14,15].

Если к горячему спаю ТЭГ подводится некоторый поток теплоты q_r при температуре T_r , а от холодного спая отвести некоторый поток тепла q_x при температуре T_x , то под действием перепада температур на его спаях ΔT , согласно эффекту Зеебека, возникнет термо-ЭДС. E .

При условии независимости термоэлектрических свойств от температуры

$$E = (\alpha_p + \alpha_n) \Delta T, \quad (5)$$

где α_p и α_n - абсолютные величины коэффициентов термо-Э.Д.С. ветвей р- и н-типов соответственно.

Под действием термо-Э.Д.С. E по замкнутой цепи ТЭГ, включающей полезную нагрузку R_h , потечет электрический ток I .

Внутреннее сопротивление составляющих ТЭГ термоэлементов R_{tz} включает в себя сопротивления ветвей соответственно R_p и R_n , и сопротивления коммутационного компонента R_k :

$$R_{tz} = R_p + R_n + R_k. \quad (6)$$

Сопротивление коммутационного компонента может быть представлено в виде относительной величины,

$$k = \frac{R_k}{R_p + R_n}, \quad (7)$$

а величины сопротивлений ветвей могут быть выражены через их геометрические размеры и удельные сопротивления термоэлектрических материалов.

Тогда,

$$R_{tz} = \left(\rho_p \frac{\ell}{S_p} + \rho_n \frac{\ell}{S_n} \right) (1 + k), \quad (8)$$

где S_p и S_n - площади поперечных сечений ветвей соответственно р- и н-типов, ρ_p и ρ_n - удельные сопротивления ветвей термоэлемента соответственно р- и н-типов; ℓ - длина ветвей.

Полное сопротивление термоэлектрической цепи равно $R_{tz} + R_h$.

Полезную нагрузку также можно представить в виде относительной величины $K = R_h / R_{tz}$, которая называется относительной полезной нагрузкой. Тогда общее сопротивление цепи будет равно $R_{tz} (1 + K)$.

Согласно закону Ома, ток в цепи ТЭБ будет определяться выражением:

$$I = \frac{E}{(1 + K) R_{tz}},$$

а напряжение на нагрузке:

$$U = \frac{K}{1 + K} E.$$

Полезная электрическая мощность, вырабатываемая ТЭГ, будет определяться по формуле:

$$W = UI = \frac{K}{(1+K)^2} \frac{E^2}{R_{\tau_0}} = \frac{K}{(1+K)^2} \frac{(\alpha_p + \alpha_n)^2 \Delta T^2}{\left(\rho_p \frac{\ell}{S_p} + \rho_n \frac{\ell}{S_n} \right) (1+k)} ,$$

а значение КПД по выражению:

$$\varepsilon = W/q ,$$

где q - входная тепловая мощность, включающая в себя работу по отводу теплоты от холодных спаев ТЭГ.

Вышеприведенные формулы дают возможность вычислить все электрические параметры ТЭГ, а также его кпд, если известны его размеры, свойства материалов, а также количество теплоты, подводимой к его спаям.

Обсуждение результатов. Численный эксперимент по описанной модели проводился при следующих исходных данных:

$T_c=293$ К, $\alpha_c=10$ Вт/К·м² (за исключением случаев, когда значение α_c указано непосредственно в подрисуночной надписи на графиках), $\xi_0=0,001$ м; $\tau_0=20$ с; наполнители – парафин ($\rho_1=760$ кг/м³, $\rho_2=780$ кг/м³, $c_1=2680$ Дж/кг·К, $c_2=2350$ Дж/кг·К, $\lambda=0,27$ Вт/м·К, $r=156 \cdot 10^3$ Дж/кг, $T_{kp}=316$ К), азотокислый никель ($\rho_1=1980$ кг/м³, $\rho_2=2050$ кг/м³, $c_1=2140$ Дж/кг·К, $c_2=1800$ Дж/кг·К, $\lambda=0,56$ Вт/м·К, $r=155 \cdot 10^3$ Дж/кг, $T_{kp}=329,7$ К), элаидиновая кислота ($\rho_1=850$ кг/м³, $\rho_2=860$ кг/м³, $c_1=2180$ Дж/кг·К, $c_2=1550$ Дж/кг·К, $\lambda=0,16$ Вт/м·К, $r=214 \cdot 10^3$ Дж/кг, $T_{kp}=318$ К).

Параметры термоэлектрического материала: теплопроводность - 1,5 Вт/(м·К), удельное электрическое сопротивление - $10,65 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. теплоемкость - 123 Дж/(кг·К), коэффициент термо-эдс. - $0,2 \cdot 10^{-3}$ В/К, и размеры ветвей термоэлементов - 2-2-2 мм.

Расчетные зависимости показывают, что температура оболочки и продолжительность плавления рабочего вещества зависят от величины тепловой нагрузки на теплоаккумулятор (значения $q_{P\&A}$), типа рабочего агента, а также условий теплообмена с окружающей средой. При отсутствии конвективных токов в жидкой фазе процесс теплообмена является нестационарным процессом теплопроводности и температура оболочки устройства при этом все время возрастает. Скорость ее роста зависит от подводимого к ней количества теплоты (величины $q_{P\&A}$), толщины слоя и теплопроводности наполнителя.

Также на температуру компонента РЭА в процессе его работы будет оказывать влияние подбор того или иного типа рабочего наполнителя.

При этом наиболее лучшим в этом отношении будет материал с наиболее высоким значением коэффициента теплопроводности, теплоемкости и теплоты плавления.

На рис.2 приведены графики зависимости длительности полного проплавления различных наполнителей от величины мощности рассеяния РЭА, что соответствует длительности его стабильной работы.

Здесь наибольшую продолжительность плавления в диапазоне удельных мощностей от 1000 до 5000 Вт/м² имеет азотокислый никель, что объясняет его более высокая температура и теплота плавления, а также величина удельного коэффициента теплопроводности. Аналогичные процессы будут происходить в тепловом аккумуляторе при затвердевании рабочего вещества. Здесь также на скорость остывания и затвердевания рабочего агента будут оказывать влияние его теплофизические характеристики, а также интенсивность теплообмена с окружающей средой.

Указанные обстоятельства иллюстрируют зависимости, представленные на рис.3-4. Как следует из графиков, время остывания рабочего вещества и оболочки устройства выше времени их плавления. Это связано с низким значением коэффициента теплообмена при естественном воздушном теплоотводе.

Так, при величине $\alpha_c=1,5$ Вт/К·м² продолжительность полного затвердевания парафина составляет примерно 4 часа при толщине его слоя 3,5 см.

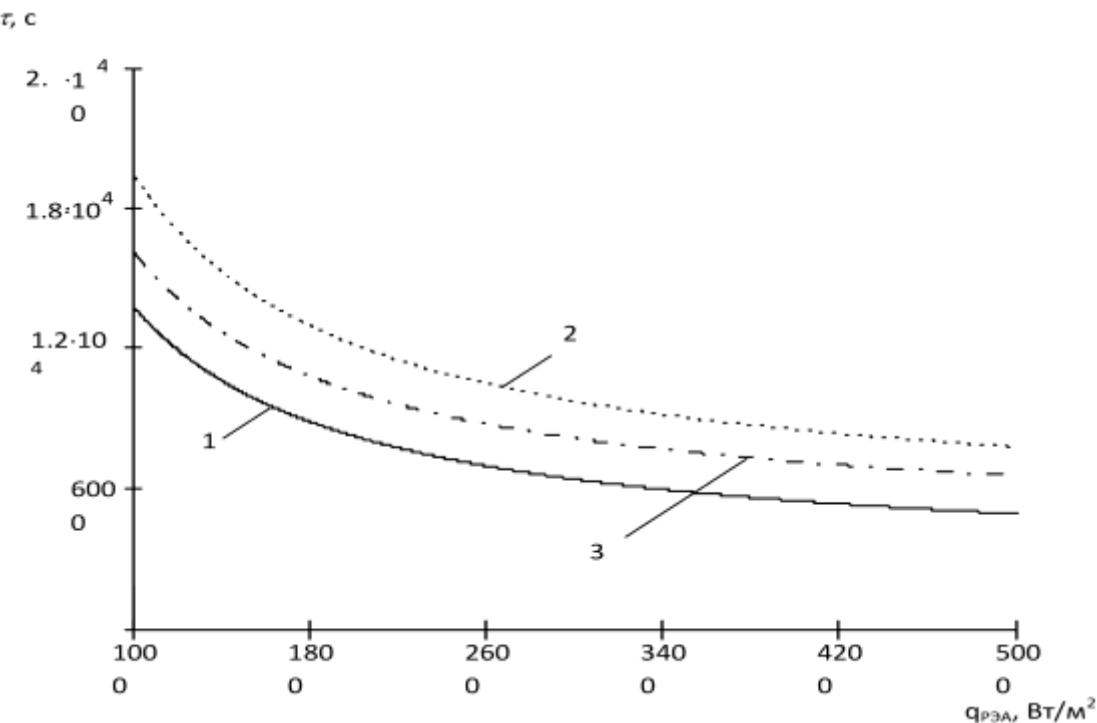


Рисунок 2- Зависимость времени полного плавления различных тепловых аккумуляторов от мощности тепловыделений элемента РЭА, приходящихся на единицу площади, $(\rho\delta)_{об}$ = $2,5 \cdot 10^3$ Дж/(м²·К); R =0,03 м.

1 – парафин, 2 – азотнокислый никель, 3 – элаидиновая кислота

Для сравнения при $q_{РЭА}=4000$ Вт/м² продолжительность полного проплавления такого же слоя парафина в 2,7 раза меньше.

Данное обстоятельство говорит о возможности достаточно продолжительного времени генерации электрической энергии после прекращения цикла работы РЭА, а продолжительность полного проплавления такого же слоя парафина в 2,7 раза меньше.

Здесь также на скорость остывания и затвердевания рабочего агента будут оказывать влияние его теплофизические характеристики, а также интенсивность теплообмена с окружающей средой.

Указанные обстоятельства иллюстрируют зависимости, представленные на рис.3-4.

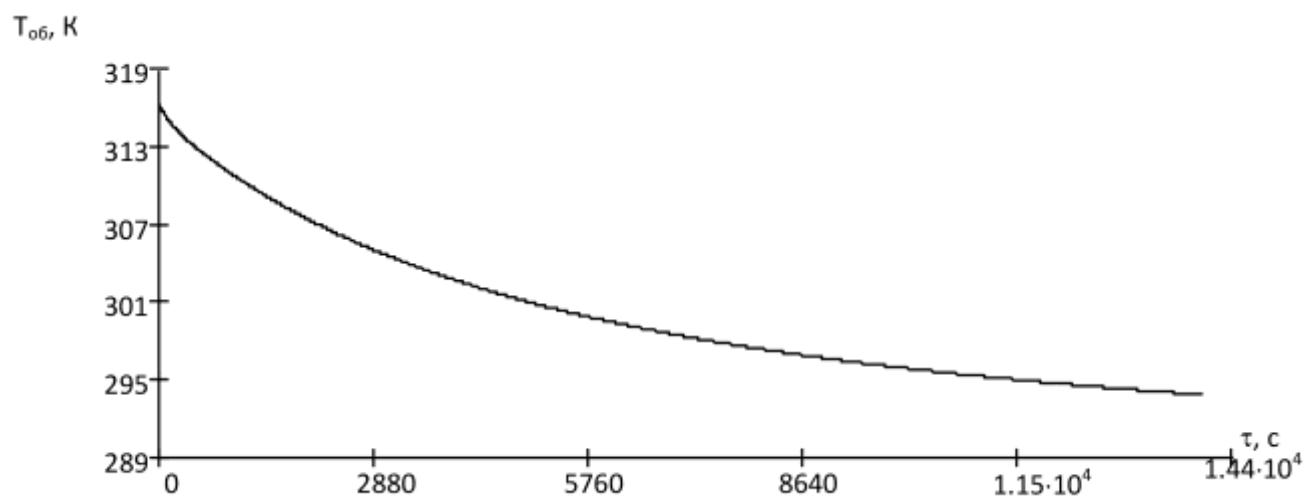


Рисунок 3 - Зависимость координаты раздела фаз от времени при затвердевании вещества (вещество – парафин) за счет естественного теплообмена с окружающей средой, $(\rho\delta)_{об}=2,5 \cdot 10^3$ Дж/(м²·К), R =0,035 м, $\alpha_c=1,5$ Вт/м²·К

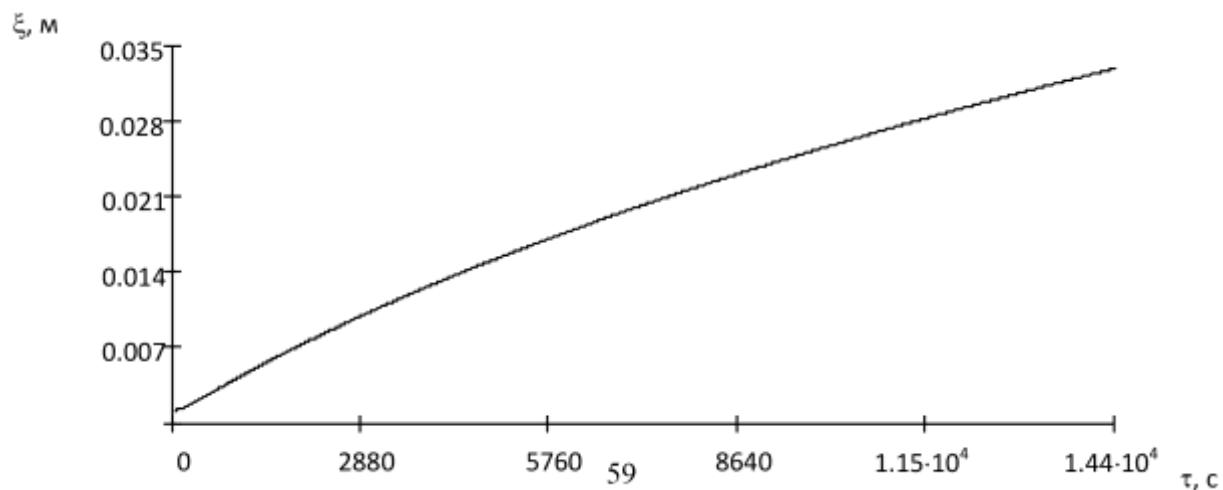


Рисунок 4 - Зависимость координаты раздела фаз от времени при затвердевании вещества (вещество – парафин) за счет естественного теплообмена с окружающей средой, $(\rho\delta)_{об} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $R = 0,035 \text{ м}$, $\alpha_c = 1,5 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$

Как следует из графиков 3-4, время остыивания рабочего вещества и оболочки устройства выше времени их плавления. Это связано с низким значением коэффициента теплообмена при естественном воздушном теплоотводе. Так при величине $\alpha_c = 1,5 \text{ Вт}/\text{К} \cdot \text{м}^2$ продолжительность полного затвердевания парафина составляет примерно 4 часа при толщине его слоя 3,5 см. Для сравнения при $q_{РЭА} = 4000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ продолжительность полного проплавления такого же слоя парафина в 2,7 раза меньше. Данное обстоятельство говорит о возможности достаточно продолжительного времени генерации электрической энергии после прекращения цикла работы РЭА.

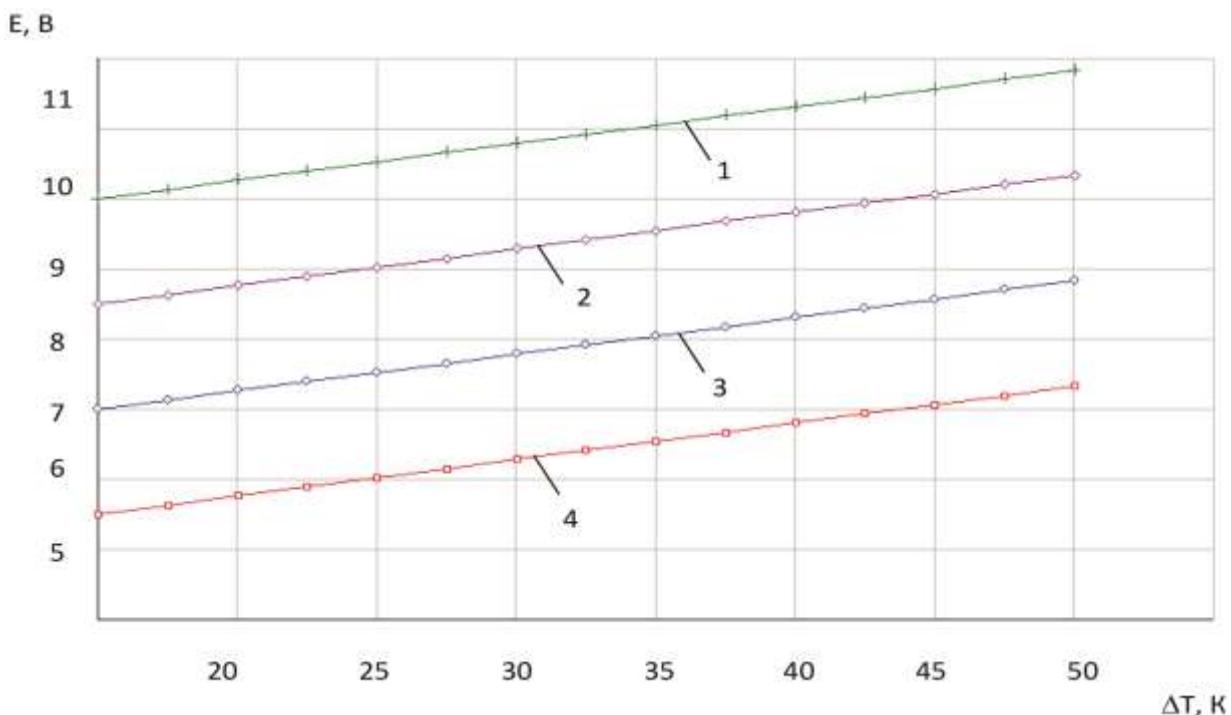


Рисунок 5- Зависимость изменения величины ЭДС от перепада температур между спаями ТЭГ при различных коэффициентах теплообмена с окружающей средой
 1 – $T_{cp}=15^\circ \text{C}$, 2 – $T_{cp}=18^\circ \text{C}$, 3 – $T_{cp}=21^\circ \text{C}$, 4 – $T_{cp}=24^\circ \text{C}$

На рис.5 представлена зависимость изменения температуры генерируемой эдс от перепада температур между спаями ТЭГ при различных величинах температуры окружающей среды. Как следует из представленных данных, значение вырабатываемой эдс напрямую связано с перепадом температур между спаями ТЭГ, причем, чем больше величина последнего, тем выше значение эдс. Данное обстоятельство очевидно и следует из выражения (5). Также очевидна обратная зависимость эдс и значения температуры окружающей среды. Естественно, чем выше температура окружающей среды, тем выше будет температура холодных спаев ТЭГ и, соответственно, перепад температур между спаями. Из представленного графика видно, что для получения большей величины генерируемой эдс необходимо подбирать теплоаккумулятор с как можно большей температурой плавления. Однако в данном случае необходимо учитывать требования к температурным характеристикам компонентов РЭА. Большое значение температуры плавления теплового аккумулятора может повлечь за собой несоблюдение требуемого температурного режима отдельных компонентов РЭА, что скажется на надежности функционирования аппаратуры в целом. Поэтому задача подбора вещества для теплоаккумулятора является задачей оптимизационной, что требует учета соблюдения и температурного режима РЭА, и возможного значения генерируемой эдс ТЭГ.

На рис.6 представлена зависимость изменения кпд ТЭГ от термо-эдс. Как следует из представленных данных КПД генератора уменьшается при увеличении генерируемой эдс. При условиях проведения численного эксперимента максимальная величина кпд составила чуть менее 10 %.

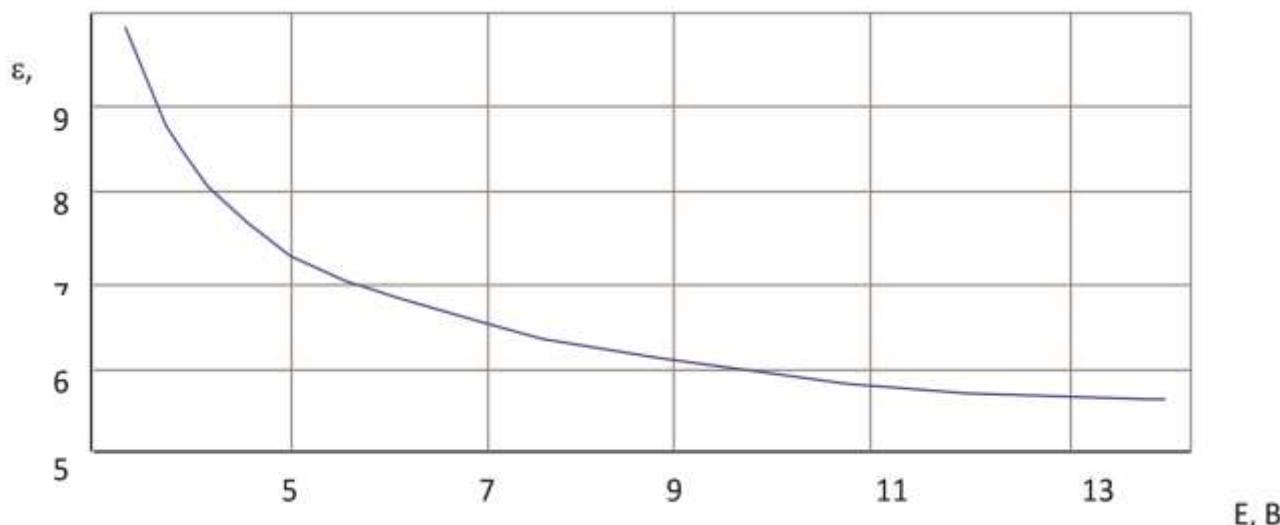


Рисунок 6 - Зависимость изменения кпд ТЭГ от термо-эдс

Вывод. Значение вырабатываемой эдс ТЭГ в основном зависит от теплофизических характеристик вещества, используемого в качестве теплового аккумулятора, характеристик воздушного радиатора, обеспечивающего отвод теплоты от холодных спаев термоэлементов, а также от температуры окружающей среды. Значение мощности рассеяния РЭА влияет на генерируемую эдс лишь опосредованно путем влияния на процесс плавления вещества в теплоаккумуляторе и определяет в основном лишь количество вещества в тепловом аккумуляторе в зависимости от требуемой продолжительности работы своих элементов.

Библиографический список:

1. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978.
2. Алексеев В.Ф. Принципы конструирования и автоматизации проектирования РЭУ. - Мин.: БГУИР. - 2003. - 197 с.
3. Кондратьев Г.М., Дульнев Г.Н., Платунов Е.С., Ярышев Н.А. Теплообмен в приборостроении. - СПб.: ГУИТМО. - 2004. - 513 с.

4. Дульнев Г.Н. Теория тепло-и массообмена. -СПб.: СПбНИУИТМО.- 2012.-194 с.
5. Рубан С.С. Нетрадиционные источники энергии. - М.: Энергия. - 2003. - 134
6. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. - Киев: Техника. - 1991. - 112 с.
7. Kajikawa T., Funahashi R. Recent activity on thermoelectric power generation technology in Japan. *Journal of thermoelectricity*. 2016, vol.1, pp.5-15.
8. Anatychuk L.I., Prybyla A.V. Comparative analysis of thermoelectric and compression heat pumps for individual air-conditioners. *Journal of thermoelectricity*. 2016, vol. 2, pp.31-39.
9. Anatychuk L.I., Prybyla A.V. Optimization of power supply system of thermoelectric liquid-liquid pump. *Journal of thermoelectricity*. 2015, vol. 6, pp.51-56.
10. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа. - 1967. - 600 с.
11. Алексеев В.А. Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ. - М.: Энергия. - 1975. - 88 с.
12. Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Yevdulov D.V. Results of theoretical research on cooling system for radio electronic equipment elements working in the intermittent heat release mode. *Journal of thermoelectricity*. 2015, vol.6, pp.66-77.
13. Охотин А.С., Ефремов А.А., Охотин В.С., Пушкарский А.С. Термоэлектрические генераторы. - М.: Атомиздат. - 1971. - 292 с.
14. Lobunets Y.M. Performance analysis of heat-exchange type thermoelectric generator. *Journal of thermoelectricity*. 2014, vol.1, pp.57-64.
15. Lobunets Y.M. Criteria for performance evaluation of thermoelectric energy converter. *Journal of thermoelectricity*. 2014, vol. 2, pp.70-84.

References:

1. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978. (In Russian)
2. Alekseev V.F. Principles for the design and design automation REU. Minsk: BSUIR. 2003, 197p (In Russian)
3. Kondratyev G.M., Dulnev G.N., Platunov E.S., Yaryshev N.A. Heat transfer in the instrument. St. Petersburg: GUITMO. 2004, 513 p. (In Russian)
4. Dulnev G.N. Theory of heat and mass transfer. St. Petersburg: SPbNIUITMO. 2012, 194 p. (In Russian)
5. Ruban S.S. Alternative energy sources. Moscow: Energiya. 2003, 134 p. (In Russian)
6. Levenberg V.D., Tkach M.R., Gulf V.A. Stream heat accumulation. Kiev: Tekhnika. 1991, 112 p.
7. Kajikawa T., Funahashi R. Recent activity on thermoelectric power generation technology in Japan. *Journal of thermoelectricity*. 2016, vol.1, pp.5-15.
8. Anatychuk L.I., Prybyla A.V. Comparative analysis of thermoelectric and compression heat pumps for individual air-conditioners. *Journal of thermoelectricity*. 2016, vol. 2, pp.31-39.
9. Anatychuk L.I., Prybyla A.V. Optimization of power supply system of thermoelectric liquid-liquid pump. *Journal of thermoelectricity*. 2015, vol. 6, pp.51-56.
10. Lykov A.V. Theory of thermal conductivity. Moscow: Vysshaya shkola. 1967, 600 p. (In Russian)
11. Alekseev V.A. Cooling of electronic equipment using a meltable substance. Moscow: Energiya. 1975, 88p. (In Russian)
12. Ismailov T.A., Yevdulov O.V., Yevdulov D.V. The results of theoretical studies on the cooling of electronic components in intermittent heat. *Journal of thermoelectricity*. 2015, vol. 6., pp. 66-77.
13. Okhotin A.S., Efremov A.A., Okhotin V.S., Pushkarsky A.S. The Thermoelectric Generators. Moscow: Atomizdat. 1971, 292 p.
14. Lobunets Y.M. Performance analysis of heat-exchange type thermoelectric generator. *Journal of thermoelectricity*. 2014, vol.1, pp.57-64.
15. Lobunets Y.M. Criteria for performance evaluation of thermoelectric energy converter. *Journal of thermoelectricity*. 2014, vol. 2, pp.70-84.

Сведения об авторах.

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

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

Набиев Наби Абдулаевич – магистр

Authors information.

Denis V. Evdulov – candidate of technical Sciences, senior lecturer of the Department of theoretical and General electrical engineering, school of computing, computing and energy.

Oleg V. Evdulov – candidate of technical Sciences, Associate Professor, Department of theoretical and General electrical engineering, school of computing, computing and energy.

Nabi A. Nabiyev – magistr.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 01.06.2016.

Conflict of interest

Received 01.06.2016.

Принята в печать 19.07.2016.

Accepted for publication 19.07.2016.

Для цитирования: Исмаилов Т.А., Муслимов Э.М., Рашидханов А.Т., Юсуфов Ш.А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПРИБОРОВ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПИТАНИЯ В СОСТАВЕ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ БЛОКОВ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):64-72. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-64-72

For citation: Ismailov T. A., Muslimov E. M., Rashidkhanov A. T., Yusufov Sh. A. ENSURING THERMAL REGIME FOR THE SUPPLY DISTRIBUTED DEVICES IN THE COMPOSITION OF THE SHIP'S SECONDARY POWER SUPPLY SYSTEMS ON THE BASE OF THE STANDARDIZED UNITS. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):64-72. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-64-72

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621.56

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-64-72

Исмаилов Т.А.¹, Муслимов Э.М.², Рашидханов А.Т.⁴, Юсуфов Ш.А.³

^{1,3,4}Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

¹e-mail: dstu@dstu.ru,

³e-mail: yshirali@yandex.ru,

⁴e-mail: karlson_boy@mail.ru,

²Каспийский завод точной механики, г. Каспийск ул. Хизроева, 24,
e-mail: emin51@mail.ru

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПРИБОРОВ
РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПИТАНИЯ В СОСТАВЕ КОРАБЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА БАЗЕ
УНИФИЦИРОВАННЫХ БЛОКОВ**

Аннотация. Цель. В статье рассматривается построение приборов электропитания в составе корабельных систем вторичного электропитания на базе унифицированных блоков и обеспечение их теплового режима. **Методы.** Определено, что с появлением современных многофункциональных компонентов силовой электроники у разработчиков систем вторичного электропитания появились возможности улучшения качества вторичного электропитания и модернизации существующих систем. **Результат.** Выявлены достоинства унифицированных блоков электропитания, обладающих функцией параллельной работы. Проведен анализ процессов теплообмена в вертикальном канале со свободной конвекцией и расчет минимальной ширины канала, при которой обеспечивается эффективный отвод теплоты. **Вывод.** Предложена модель для определения минимального расстояния между блоками без ухудшения теплообмена в канале, образованном стенками соседних блоков.

Ключевые слова: тепловой режим, унифицированный блок электропитания, свободная конвекция, герметичный блок

Tagir A.¹ Ismailov, Emin M.² Muslimov, Arip T.⁴ Rashidkhanov, Shirali A.³ Yusufov

^{1,3,4}Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

¹e-mail: dstu@dstu.ru,

³e-mail: yshirali@yandex.ru,

⁴e-mail: karlson_boy@mail.ru,

*Caspian float plant of precision mechanics, 24 Khizroeva, street, Kaspisysk,
²e-mail: emin51@mail.ru*

ENSURING THERMAL REGIME FOR THE SUPPLY DISTRIBUTED DEVICES IN THE COMPOSITION OF THE SHIP'S SECONDARY POWER SUPPLY SYSTEMS ON THE BASE OF THE STANDARDIZED UNITS

Abstract. *Aim.* The article deals with the problem of constructing the power supply devices in the composition of the ship's secondary power systems based on standardized blocks and securing their thermal regime. **Methods.** It is stated that with the advent of modern power electronics multi-functional components the secondary power supply developers got possibilities to improve the quality of secondary power supply and to upgrade the existing systems. **Results.** The advantages of unified power units, having a function of parallel operation are revealed. Heat transfer processes in a vertical channel with free convection, and the calculation of the minimum width of the channel, which provides efficient heat removal have been analyzed. **Conclusion.** A model is proposed for determining the minimum distance between the blocks without deterioration of heat transfer in the channel formed by the walls of adjacent blocks.

Key words: Thermal regime, unified power supply unit, free convection, sealed unit

Введение. К современным судовым системам автоматики и вычислительным комплексам предъявляется ряд требований, важнейшие из которых определяются статическими, динамическими и массогабаритными показателями, от которых зависит их энергопотребление. Радиоэлектронная аппаратура на большинстве судов и кораблей получает питание не от основной электростанции, а от специальных преобразователей электроэнергии [1]. Основные причины такого технического решения две:

- первая заключается в том, что параметры электроэнергии для питания радиоэлектронных систем отличаются от стандартных параметров силовой электрической сети корабля;
- вторая причина состоит в том, что РЭА является нелинейным потребителем и потому искажает форму кривой напряжения.

Постановка задачи. В современных условиях, усложнение задач, решаемых усовершенствованными средствами военно-морского радиоэлектронного вооружения с помощью электронной и вычислительной техники, ставит перед разработчиками систем вторичного электропитания ряд проблем: повышения качества электрической энергии для потребителей; обеспечения требований: надежности; контроля входных и выходных параметров; диагностики; повышения стабильности выходного напряжения источников вторичного электропитания; снижения объема и веса устройств преобразования электрической энергии; обеспечения непрерывности питающей электроэнергии при аварийной ситуации; защиты систем вторичного электропитания или приборов, входящих в нее, от импульсных коммутационных помех (ИКП), проникающих по питающим сетям, и т.д.

Существующие системы вторичного электропитания в той или иной степени решают эти задачи, однако, с появлением современных многофункциональных компонентов силовой электроники, у разработчиков систем вторичного электропитания появились новые возможности улучшения качества вторичного электропитания и модернизации существующих систем.

Как правило, корабельные системы вторичного электропитания (СВЭП) должны получать электроэнергию как минимум от двух источников (от двух бортовых сетей - основной и резервной) и отличаться более широким диапазоном входных напряжений, устойчивостью к воздействиям импульсных коммутационных перенапряжений с гораздо большей энергией и временем воздействия (амплитудой до 1 кВ и продолжительностью до 5 мсек), большой перегрузочной способностью и высокой точностью поддержания выходных параметров.

Приборы (модули, блоки), входящие в состав корабельных вторичных источников питания должны выдавать в систему управления верхнего уровня большее, в сравнении с общепромышленными вторичными источниками питания, количество сервисных сигналов [9,10,11,12,13].

В последние годы наметилась тенденция включения в функциональную схему таких приборов устройства (блоки, модули) контроля сопротивления изоляции выходных фидеров.

На российском рынке появились унифицированные блоки электропитания (УБЭП) как зарубежного, так и отечественного производства, которые позиционируются для применения в высоконадежных системах.

Методы исследования. Особый интерес в унифицированных УБЭП при построении приборов электропитания представляют функция параллельной работы. Достоинствами УБЭП, обладающих функцией параллельной работы являются:

- возможность построения отказоустойчивой системы по принципу $N+M$;
- возможность наращивания выходной мощности;
- возможность получения низкопрофильной конструкции в системах большой мощности;
- распределение мощности потерь блоков по большей поверхности радиатора, уменьшение локального перегрева;
- сокращение количества типономиналов блоков электропитания, увеличение числа однотипных изделий и, как следствие, снижение их цены.

Однако в целом к приборам в составе корабельной системы вторичного электропитания предъявляются жёсткие требования к габаритным размерам, допустимому тепловыделению, способу охлаждения, механической прочности. Так в большинстве случаев для выполнения требований объекта по уровню шумов, надежности и санитарных норм, корабельные вторичные источники питания должны иметь естественное воздушное охлаждение. Зачастую корабельные вторичные источники питания выполняются в влагозащищённом исполнении (степень защиты IP24).

Разрабатываемые в нашей стране и за рубежом источники вторичного электропитания (ИВЭП) большей частью имеют кубическую форму. Примеры подобного конструирования достаточно наглядно отражены, например, в работах [2,3,4].

При создании конструкции приборов электропитания и приборов преобразования напряжения на основе УБЭП необходимо учесть следующие факторы:

- многоканальность, модульность и резервирование блоков УБЭП для обеспечения требования высокой надежности и безотказности работы прибора;
- обслуживание прибора с лицевой стороны и легкий доступ к блокам УБЭП для замены в случае выхода одного из блоков в аварийный режим;
- расположение средств отображения информации на лицевой панели или обеспечение их обзора через переднюю панель;
- эффективная работа выбранной системы обеспечения теплового режима прибора, в данном случае, естественное воздушное охлаждение;
- обеспечение тепловой безопасности обслуживающего персонала в процессе технического обслуживания;
- пожаробезопасность прибора, обеспечиваемая защитой электрических цепей от перегрузки и коротких замыканий, выбором безопасных расстояний между токоведущими частями и применением негорючих и малогорючих материалов, веществ и покрытий в соответствии с ООП5 Р.9025-93;
- обеспечение безопасности при проведении техобслуживания, регламентных работ, чистки корпусов, замене предохранителей;
- максимальное использование стандартизованных и унифицированных элементов, узлов и устройств отечественного производства.

Конструктивные и массогабаритные характеристики приборов электропитания зависят от аналогичных параметров примененных блоков УБЭП, коммутирующих изделий, а также от примененной системы охлаждения [14,15,16,17].

Количество блоков УБКИ в каждом из приборов зависит от числа одновременно отслеживаемых шин на целостность изоляции блоком УБКИ и числа выходных шин прибора. При необходимости, в блоке коммутации прибора ПРЗ можно применить как механические переключатели, так и дистанционно управляемые пускатели.

С учетом большого числа устанавливаемых в приборы блоков УБЭП, следовательно, достаточно жестких требований по отводу тепла, наиболее оптимальным конструктивным вари-

антом исполнения приборов является реализация на базе унифицированных несущих конструкций 2-го уровня БНК2. На нижней панели размещаются силовые и информационные электрические разъемы.

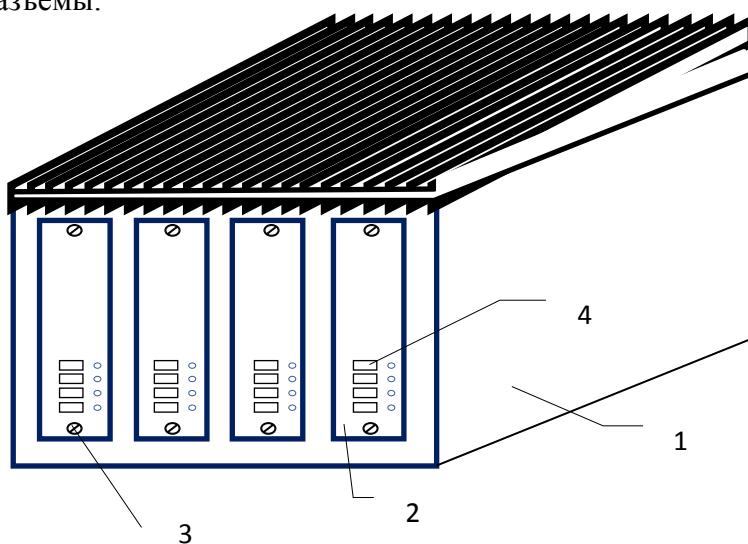


Рисунок 1- Вариант конструктивного исполнения прибора электропитания

1- корпус прибора, 2- унифицированный блок электропитания, 3- элементы крепления унифицированного блока, 4- элементы управления и индикации

Схематично прибор представлен на рисунке 1. Прибор разделен алюминиевыми перегородками на отсеки, количество которых определяется количеством каналов, и количеством блоков, устанавливаемых в прибор.

В частности, при двух каналах и резервировании по схеме «1+1» прибор будет разделен на 4 отсека, плюс отсек для блока УБКИ. Верхняя крышка прибора будет выполнять роль радиатора для сброса теплоты, выделяемой полупроводниковыми приборами в процессе работы, в окружающее пространство и выполняется из алюминия.

С лицевой стороны прибора унифицированные блоки УБЭП 2 по направляющим вставляются в отсеки прибора 1.

Корпус прибора выполнен в виде кубической формы, соотношение сторон которого будет определяться массогабаритными характеристиками УБЭП и количеством выходных каналов. В данном варианте ориентация блоков УБЭП в корпусе будет вертикальной, блоки располагаются параллельно друг другу по стороне большей площади. Предполагается, что электрические информационные и силовые разъемы УБЭП располагаются на тыльной стороне блока, следовательно, ответные части соединителей будут располагаться на задней панели прибора.

В случае наличия на передних панелях блоков УБЭП информативных индикаторов будет обеспечен их обзор через переднюю панель (крышку). С учетом того, что возможно использование только естественного воздушного охлаждения, для обеспечения теплового режима прибора необходимо создание каналов между плоскостями УБЭП для снятия избыточной теплоты и передачи ее в окружающую среду посредством рассеивающего радиатора. При этом, для корабельных систем вторичного электропитания необходимо выполнение условий брызго- и влагозащищенности, что требует применения герметичной конструкции прибора.

Таким образом, важен анализ процессов теплообмена в вертикальном канале со свободной конвекцией, так как именно эти процессы будут определять тепловой режим прибора в целом и с целью минимизации габаритных показателей необходим расчет минимальной ширины канала, при которой обеспечивается эффективный отвод теплоты [5,6,7,8].

Обсуждение результатов. Исследованию процессов теплообмена в герметичных блоках, и в частности, в вертикальных каналах, при свободной конвекции посвящено множество работ, однако актуальны и на сегодняшнем этапе развития техники, о чем свидетельствует обзор современных публикаций [4-17]. Однако в указанных работах не учитывается изменение

температуры воздуха вдоль канала, что вносит погрешность в расчет теплового режима на этапе проектирования.

Рассмотрим плоский вертикальный канал, состоящий из двух вертикально расположенных плоскостей (стенки канала). На стенках канала реализуется граничное условие второго рода ($q_w = \text{const}$). При малой ширине стенки канала оказывают друг на друга взаимное влияние, что связано с формированием термодинамических пограничных слоев (рис.2). Указанный недостаток можно устранить, заменив определяющий размер и оценивая влияние стенок канала через высоту стенок L и критерий Релея Ra [18]. В зависимости от ширины канала возможны следующие случаи: рис.2а - теплоотдача как в свободном пространстве, так как пограничные слои не смыкаются; рис.2б - конвекция в канале в случае смыкания пограничных слоев в верхней части канала; рис.2в - конвекция в узком вертикальном канале, когда пограничные слои смыкаются в средней части канала.

В [18] имеются теоретические значения толщин температурного пограничного слоя, рассчитанные по классической теории пограничных слоев [19], при движении воздуха в плоском вертикальном канале. При этом δ - толщина пограничного слоя, рассчитывались либо до смыкания пограничных слоев в канале, либо для верхнего края пластины. Отсюда видно как влияют пластины друг на друга. Так, при расстоянии между пластинами $\delta = 10$ мм - однозначное взаимное влияние, а при δ более 40 мм – его полное отсутствие. Выражение (1) позволяет рассчитать коэффициент теплообмена, в плоском канале, однако не позволяет дать рекомендации по выбору минимального значения δ , на котором теплообмен будет также эффективен, как и при неограниченной пластине.

$$Nu_\delta = \frac{1}{24} \frac{\delta}{L} Ra_\delta \left[1 - \exp \left(- \left(\frac{32,7L}{\delta Ra_\delta} \right)^{\frac{3}{4}} \right) \right], \quad (1)$$

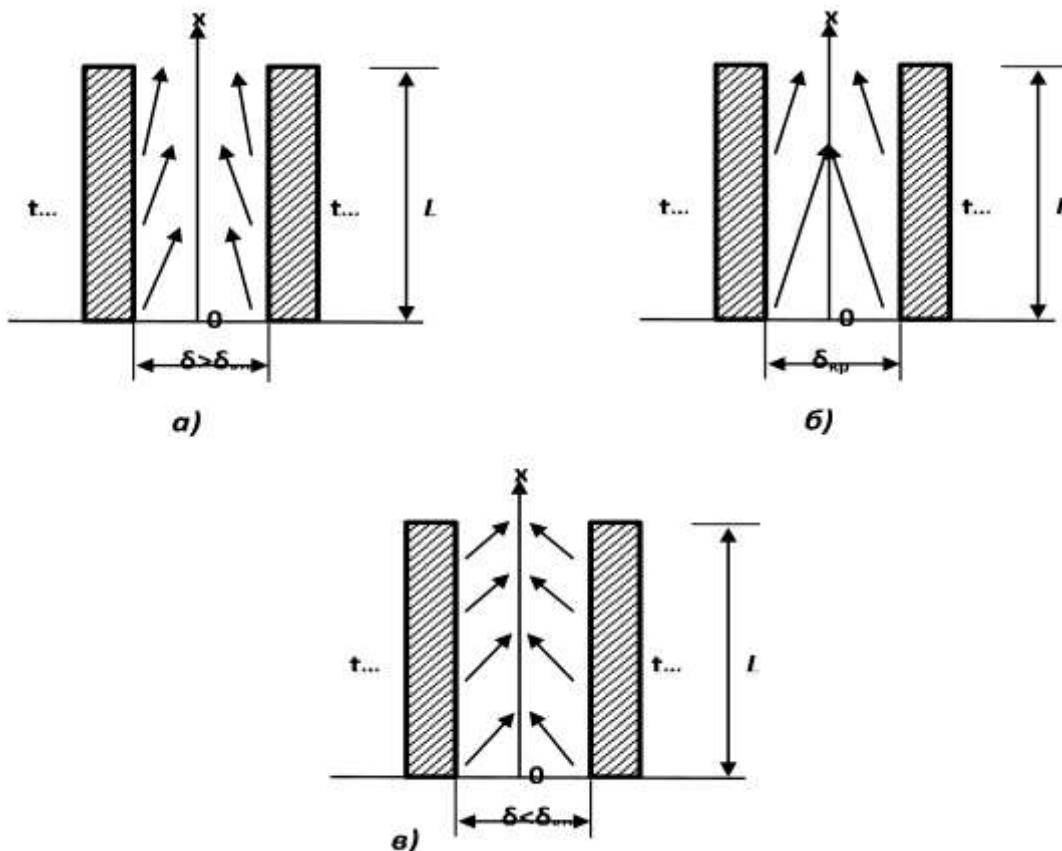


Рисунок 2 - Модели теплообмена в плоском вертикальном канале

В выражении (1) определяющий размер δ заменяется определяющим размером L , и, вследствие:

$$Nu_L = Nu_\delta \frac{L}{\delta}, \quad (2)$$

$$Ra_L = Ra_\delta \frac{L^3}{\delta^3}, \quad (3)$$

С учетом (2) и (3) выражение (1) запишется в виде:

$$Nu_\delta = \frac{1}{24} Ra_L \frac{\delta^3}{L^3} \left[1 - \exp \left(-\frac{13,67 L^3}{Ra_\delta^3 \delta^3} \right) \right] \quad (4)$$

Выполнив предельный переход $\delta \rightarrow \infty$, получим:

$$Nu_L = 0,57 Ra_L^{0,25} \quad (5)$$

Выражение (5) соответствует формуле для теплообмена пластины в свободном пространстве, приведенного в [20], что подтверждает ее применимость для пластин при различных δ , включая случай, когда взаимное влияние не играет определяющую роль.

Графическая зависимость Nu_L от Ra_L при различных отношениях δ/L приведена на рисунке 3, где кривые 1,2,3,4,5 – значения критерия Nu при различных мощностях тепловыделений на стенках канала, кривая 6 – граница зоны отсутствия взаимного влияния, выше которой теплообмен стенки со средой в канале происходит как в неограниченной пластине. Кривая 6 получена исходя из формулы:

$$\frac{\delta}{L} = 4,5 Ra_L^{-0,25} \quad (6)$$

С учетом требований к тепловому режиму УБЭП и их размерам можно сформулировать рекомендации по выбору расстояния между блоками δ :

$$\delta \geq 0,04L \quad (7)$$

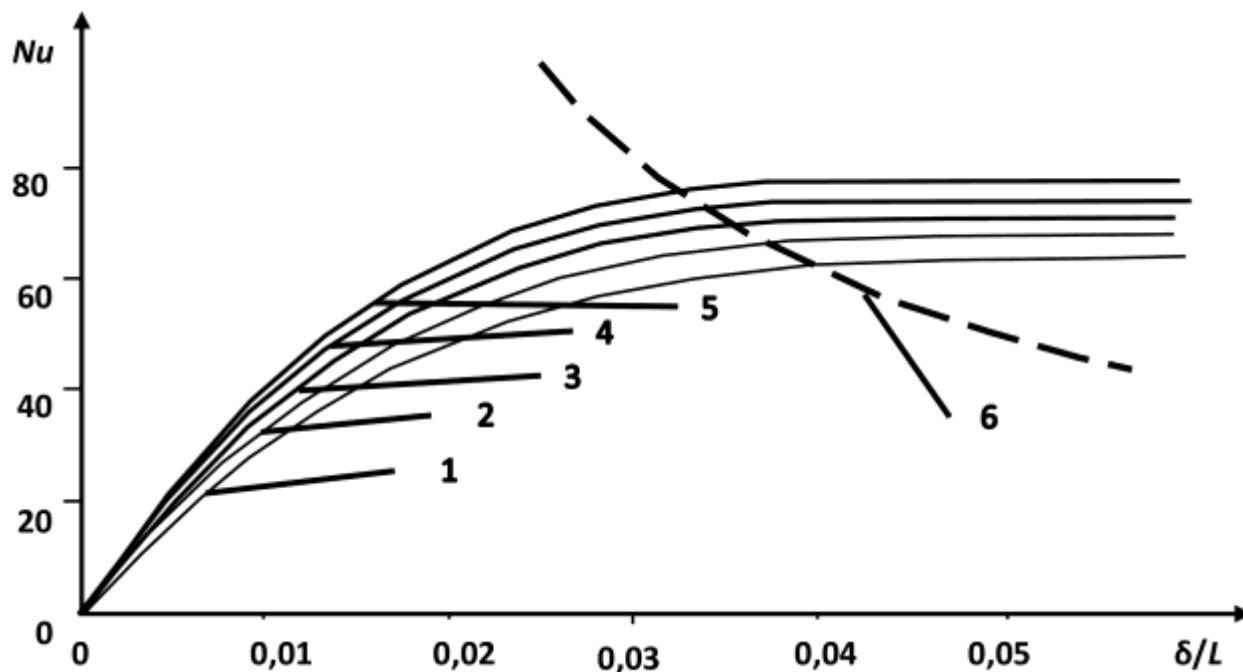


Рисунок 3 - Зависимость Nu_L от Ra_L при различных отношениях δ/L

Кривые 1-5 получены по формуле (4) при однозначных условиях среды и геометрических размеров.

Вывод. Из полученных зависимостей видно, что при малых отношениях δ/L стенки канала оказывают существенное влияние друг на друга, что может привести при различных режимах работы блоков к их взаимному влиянию на тепловые режимы соседних блоков. С уве-

личением отношения δ/L взаимное влияние уменьшается, и теплоотдача от стенок канала увеличивается.

Стабилизация критерия Нусельта показывает снижение влияния стенок канала. Исходя из данных зависимостей возможно определение минимального значения δ при заданной высоте блока.

Библиографический список:

1. 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.
2. Чанов Л. Источники питания из готовых компонентов и модулей // Электронные компоненты. 2006. - № 2- С. 39-44.
3. Цейтин А. Отечественные источники питания нового поколения // Электронные компоненты. 2008. - № 8 - С. 132-133.
4. Shalumov A.S., Kulikov O.E. Analysis and maintenance methodology efficiency of shielding of designs of electronic equipment on the basis of numerical modelling of electromagnetic processes. *European journal of natural history*. 2013, no 5, pp.23- 24.
5. Shalumov E., Pershin A., Korkin V., Accelerated Simulation of Thermal and Mechanical Reliability of Electronic Devices and Circuits. Example of an integrated circuit simulation in ASONIKA-M-3D. *Dinamika slozhnykh sistem*. 2013, no.5, pp.59-67.
6. Shalumov, E. Pershin. Accelerated Simulation of Thermal and Mechanical Reliability of Electronic Devices and Circuits. *Moscow: Printing by PrintLETO.ru*, 2013, 128 p.
7. Drofenik U. Analysis of Theoretical Limits of Forced-Air Cooling Using Advanced Composite Materials With High Thermal Conductivities U. Drofenik, A. Stupar, J.W. Kolar. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*. 2011, vol.1, no.4, pp.528–535.
8. Гапоненко Н.П., Сиротюк О.В., Огренич Е.В., Лопатка Ю.А., Арешкин Е.К. Оптимизация объема герметичных блоков радиоэлектронной аппаратуры / // Прикладная радиоэлектроника. – 2012. –Т. 11, № 3. – С. 155–158.
9. Fabbri M., Dhir V., Optimized heat transfer for high power electronic cooling using arrays of microjets. *J. of Heat Transfer*, vol. 127, pp. 760-769.
10. Pan P., Webb B. W. Heat transfer characteristics of arrays of free-surface liquid Jets. *J. of Heat Transfer*, vol. 117, pp.878-883.
11. Lin L. Ponnappan R. Heat transfer characteristics of spray cooling in a closed loop. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, vol. 46, pp.3737–3746.
12. Yonglu Liu. Experimental research on a honeycomb microchannel cooling system. Yonglu Liu, Xiaobing Luo, Wei Liu. *Transactions on components, packaging and manufacturing technology*, 2011, vol.1, no.9, pp.1378 –1986.
13. Fu Yifeng. A complete carbon-nanotube-based on-chip cooling solution with very high heat dissipation capacity. Yifeng Fu, Nabi Nabiollahi, Teng Wang, Shun Wang, Zhili Hu, Björn-Carlberg, Yan Zhang, Xiaojing Wang, Johan Liu. *Nanotechnology*. 2012, vol. 23, no.4.
14. Кораблев В.А., Павлова А.Д. Свободно-конвективное охлаждение радиоэлектронной аппаратуры, скомпонованной в стандарте базовых несущих конструкций // Сборник докладов III научно-технической конференции молодых специалистов по радиоэлектронике. — СПб.: Аграф+, 2010. - 58-61

15. Гебхарт Б., Джалурия И., Махаджан Р., Самакия Б. Свободно-конвективные течения, тепло- и массообмен. Кн.1. М.: Мир, 1991- 678 с.
16. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. - М.: Радио и связь, 1990. - 312 с.
17. Кондратьев Г.М., Дульнев Г.Н., Платунов Е.С., Ярышев Н.А. Прикладная физика: Теплообмен в приборостроении. - СПб: СПбГУИТМО, 2003. - 560 с.
18. Павлова А.Д. Особенности процессов теплообмена в радиоэлектронных аппаратах в герметичном исполнении / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики», 2011 г. – 113 с.
19. Дульнев Г.Н. Механика жидкостей и газов: Учеб. пособие. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001, 188 с.
20. Мартыненко О.Г., Соковишин Ю.А. Свободно-конвективный теплообмен: Справочник. - Мин.: Наука и техника, 1982. - 400 с.

References:

1. Sarkis E., Joseph M. Problems of development and selection of standard units and blocks of secondary power supply for electronics navy. *Power electronics*, 2012, no.3, pp.15-25, no.4, pp. 40-46.(In Russian)
2. Vats I. Sources of supply of ready-made components and modules. *Electronic components*. 2006, no. 2, pp. 39-44. (In Russian)
3. Zeitin A., Domestic sources of power-the new generation. *Electronic components*. 2008, no.8, pp.132-133. (In Russian)
4. Shalumov A.S., Kulikov O.E. Analysis and maintenance methodology efficiency of shielding of designs of electronic equipment on the basis of numerical modelling of electromagnetic processes. *European journal of natural history*. 2013, no 5, pp.23- 24.
5. Shalumov E., Pershin A., Korkin V., Accelerated Simulation of Thermal and Mechanical Reliability of Electronic Devices and Circuits. Example of an integrated circuit simulation in ASONIKA-M-3D. *Dinamika slozhnykh sistem*. 2013, no.5, pp.59-67.
6. Shalumov, E. Pershin. Accelerated Simulation of Thermal and Mechanical Reliability of Electronic Devices and Circuits. *Moscow: Printing by PrintLETO.ru*, 2013, 128 p.
7. Drofenik U. Analysis of Theoretical Limits of Forced-Air Cooling Using Advanced Composite Materials With High Thermal Conductivities U. Drofenik, A. Stupar, J.W. Kolar. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*. 2011, vol.1, no.4, pp.528–535.
8. Gaponenko N.P., Sirotyuk O.V., Ogrenich E.V., Lopatka Yu. A., Areshkin E. K. Optimization of the volume of sealed electronics units. *Prikladnaya radioelektronika*. 2012, vol.11, no.3, pp. 55-158. (In Russian)
9. Fabbri M., Dhir V., Optimized heat transfer for high power electronic cooling using arrays of microjets. *J. of Heat Transfer*, vol. 127, pp. 760-769.
10. Pan P., Webb B. W. Heat transfer characteristics of arrays of free-surface liquid Jets. *J. of Heat Transfer*, vol. 117, pp.878-883.
11. Lin L. Ponnappan R. Heat transfer characteristics of spray cooling in a closed loop. *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, vol. 46, pp.3737–3746.

12. Yonglu Liu. Experimental research on a honeycomb microchannel cooling system. Yonglu Liu, Xiaobing Luo, Wei Liu. Transactions on components, packaging and manufacturing technology, 2011, vol.1, no.9, pp.1378 –1986.
13. Yifeng Fu, Nabi Nabiollahi, Teng Wang, Shun Wang, Zhili Hu, BjörnCarlberg, Yan Zhang, Xiaojing Wang, Johan Liu. A complete carbon-nanotube-based on-chip cooling solution with very high heat dissipation capacity. *Nanotechnology*. 2012, vol. 23, no.4.
14. Korablev V.A., Pavlov D.A. Free-convective cooling of electronic equipment arranged in the standard basic load-bearing structures. Collection of papers of the III scientific-technical conference of young specialists on electronics. *Saint Petersburg: AGRAF+*, 2010, pp. 58-61 (In Russian)
15. Gebhart B., Dzhaluriya I., Mahajan R., Sammak B. Free-convective TE cheniya, heat and mass transfer. Book. Moscow: Mir, 1991, 678 p. (In Russian)
16. Dulnev G.N., Parfenov V.G, Sigalov A.V. Methods for calculating the thermal regime of devices. *Moscow: RADIO I SVYAZ'*, 1990, 312 p. (In Russian)
17. Kondratyev G.M., Dulnev G.N., Platunov E.S., Yaryshev N.A. Applied physics: Heat transfer in instrumentation. *St. Petersburg: SPbGUITMO*, 2003, 560 p. (In Russian)
18. Pavlov A.D. Heat transfer processes in the radio-electronic devices in sealed design. Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences. *Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet informatsionnykh tekhnologii, mehaniki i optiki* [Saint-Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2011, 113 p. (In Russian)
19. Dulnev G.N. Fluid Mechanics: Textbook. *St. Petersburg: SPbGUITMO (TU)*, 2001, 188 p. (In Russian)
20. Martynenko O.G., Sokovishin Yu. Free-convective heat transfer: A Handbook. Minsk: *Nauka i tekhnika*, 1982, 400 p. (In Russian)

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.
Муслимов Эмин Муталибович – главный конструктор, Каспийский завод точной механики.

Рашидханов Арип Таймасханович – аспирант.

Юсуфов Шираги Абдулкадиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники.

Authors information.

Tagir A.Ismailov – doctor of technical Sciences, Professor, head of Department of theoretical and General electrical engineering. The rector Dagestan State Technical University", Honored worker of science of the Russian Federation.

Emin M.Muslimov – chief designer of JSC, area of scientific interests – Development of ship navigation systems and power supplies,

Arip T. Rashidkhanov – graduate student.

Shirali A.Yusufov – candidate of technical Sciences, Associate Professor, Department of theoretical and General electrical engineering.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 23.05.2016.

Принята в печать 20.06.2016.

Conflict of interest

Received 23.05.2016.

Accepted for publication 20.06.2016.

Для цитирования: Исмаилов Т.А., Хазамова М.А., Рагимова Т.А. КРИОТЕРМОАППЛИКАЦИОННАЯ ТЕРАПИЯ В НЕВРОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42(3):73-82 DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-73-82

For citation: Ismailov T.A., Hazamova M.A., Ragimova T.A. CRIOTHERMOAPPLICATIONAL THERAPY IN NEUROLOGY WITH THE USE OF THERMOELECTRIC ENERGY CONVERTERS. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):73-82. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-73-82

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

TECHNICAL SCIENCE

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-73-82

Исмаилов Т.А.¹, Хазамова М.А.², Рагимова Т.А.³

¹⁻³Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

¹e-mail: dstu@dstu.ru,

²kaftoe2016@yandex.ru,

³ragimovatamila@yandex.ru

КРИОТЕРМОАППЛИКАЦИОННАЯ ТЕРАПИЯ В НЕВРОЛОГИИ

С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Цель. Проанализирована этиология возникновения неврологических заболеваний, обусловленных стрессовыми ситуациями и другими признаками технического прогресса.

Методы. Изучены методы физиотерапевтического воздействия на организм человека, применяемые в терапевтической неврологии и являющиеся наиболее приоритетными ввиду безопасности и неинвазивности. **Результат.** Обоснована необходимость использования термоэлектрических преобразователей в терапевтической неврологии. Предложена конструкция полупроводникового термоэлектрического устройства для массажа с подробным описанием принципа работы. Отмечены достоинства разработанной конструкции устройства, состоящие в высокой экологичности, бесшумности, надежности, функциональности, универсальности. Составлена математическая модель локального температурного воздействия (криотермоаппликации) и приведены результаты численного эксперимента. **Выход.** Доказаны возможности сочетания в устройстве функций механического массажа, нагрева, охлаждения и магнитного воздействия.

Ключевые слова: термоэлектричество, термоэлектрические модули, терапевтическая неврология, физиотерапия, криотермоаппликация, массаж, численный эксперимент, математическая модель

Tagir A. Ismailov, Madina A. Hazamova, Tamila A. Ragimova

¹⁻³Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala 367015,

¹e-mail: dstu@dstu.ru,

²kaftoe2016@yandex.ru,

³ragimovatamila@yandex.ru

CRIOTHERMOAPPLICATIONAL THERAPY IN NEUROLOGY WITH THE USE OF THERMOELECTRIC ENERGY CONVERTERS

Abstract. Aim. The etiology of neurological diseases caused by stress situations and other signs of technological progress is analyzed. **Methods.** The methods of physical therapy effects on the human body used in therapeutic neurology, which are of high priority because of safety and noninvasiveness are investigated. **Results.** The necessity of using thermoelectric converters in therapeutic neu-

rology is proved. The design of the semiconductor thermoelectric device for massage with the detailed description of the working principle is suggested. The advantages of the developed design of the device are pointed out, consisting in high environmental safety, noiselessness, reliability, functionality, versatility. The mathematical model of the local thermal effects (cryothermoapplication) and the results of numerical experiment are considered. Conclusion. The possibilities of combining in the device the functions of mechanical massage, heating, cooling, and magnetic effects.

Key words: *thermoelectricity, thermoelectric module, therapeutic neurology, physiotherapy, cryothermoapplication, massage, numerical experiment, mathematical model*

Введение. В современных условиях, учитывая малоподвижный образ жизни человека, сопровождающийся стрессовыми ситуациями, приходится говорить о развитии множества неврологических заболеваний, как невралгии, неврозы, депрессии, нарушение сна, тяжелые мигрени, остеохондроз и другие. Заболевания могут появляться незаметно и развиваться очень медленно. Первыми симптомами, с которыми пациенты обращаются к врачу, являются головные боли, боли шейно-воротниковой зоны и спины. На первый взгляд, незначительные симптомы являются первыми признаками надвигающихся проблем с нервной системой, механизмы развития которых, симптоматику и возможные способы диагностики, лечения или профилактики, решает неврология. Обычно лечение осуществляют с помощью лекарственных препаратов, но не менее эффективным является применение самых разнообразных традиционных физиотерапевтических процедур, которые на сегодняшний день наиболее приоритетны ввиду безопасности и неинвазивности выбранных методов.

При перечисленных неврологических заболеваниях наиболее эффективны такие методы лечения, как иглоукалывание, массаж, мануальная и физиотерапия [1,3,9]. Необходимо отметить, что неврологические проблемы преимущественно сопровождаются наличием сосудистых недугов нервной системы. Ни один орган тела не может работать при плохом кровоснабжении, что особенно касается головного мозга, малейшая нехватка кислорода в котором приводит к нарушению тонких неврологических процессов. Эти нарушения могут вызывать периодические боли в области шеи, плеч и головы. Постоянная боль в мышцах спины, шеи и плеч приводит к возникновению неприятных хронических заболеваний, связанных с поражением связочно-мышечного аппарата, окружающего плечевой сустав, самого плечевого сустава (бурсит), а также патологическими изменениями на уровне грудного и шейного отделов позвоночника (шейный остеохондроз и спондилоартроз) [2,9].

Постановка задачи. Наиболее результативными терапевтическими факторами, применяемыми в неврологии, являются массаж спины и шейно-воротниковой зоны, воздействие теплом и холодом, а также воздействие магнитного поля. Массаж спины и шейно-воротниковой зоны улучшает кровообращение, обеспечивает отток крови от головы, что способствует снятию головных болей, головокружения, боли в мышцах, поддерживающих позвоночный столб, в шее, плечах от переутомления и напряжения и т.п. Воздействие положительных температур способствует расширению кровеносных и лимфатических сосудов, снимает сосудистые спазмы, ускоряет метаболические процессы в тканях. В то же время холодовое воздействие приводит к локальному замедлению уровня обменных процессов в охлажденных тканях, снижению потребления ими кислорода (и потребности в нем) и питательных веществ клетками. Все это обуславливает противовоспалительный и обезболивающий эффекты. Кроме того, использование контрастного температурного воздействия способствует усилиению лечебных эффектов, направляет кровоток к коже, или к внутренним тканям организма, улучшает микроциркуляторные процессы [2].

Магнитное поле значительно повышает эффективность лимфодренажа, усиливает обменные процессы, стимулирует микроциркуляцию, способствует рассасыванию фиброзной ткани, улучшает проводимость. При одновременном использовании физических факторов взаимопотенцирование их физиологического и лечебного действия выражено сильнее, чем при комбинированном (последовательном) применении этих же факторов. Сочетанные методы к тому же дают возможность без ущерба для больного сократить количество применяемых ежедневно методик лечения, обеспечивают большую экономию времени, затрачиваемого на раз-

дельное проведение нескольких процедур. В терапевтической неврологии для снятия спазм мышц и мышечной усталости, оказания расслабляющего и успокаивающего действия, а также для профилактики возникновения и проведения терапевтического лечения заболеваний всех отделов позвоночника, используются массажные устройства различного конструктивного исполнения [4]. Недостатками применяемых на сегодняшний день устройств является невозможность сочетания в устройстве функций механического массажа, нагрева, охлаждения и магнитного воздействия, что реализуемо при использовании термоэлектрических систем, обладающих такими преимуществами, как бесшумность, отсутствие токсичных хладагентов, высокая надежность.

Методы исследования. Наиболее эффективным конструктивным решением использования холодового и теплового воздействия в одном устройстве является применение эффекта Пельтье при локальном температурном воздействии (криотермоаппликации), реализованном в полупроводниковых термоэлектрических модулях.

В целях сочетания функции попеременного нагрева и охлаждения массажных аппликаторов, с возможностью температурного режима и режима магнитовоздействия в НИИ «Полупроводниковые термоэлектрические приборы и устройства» при ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» разработано устройство [5], содержащее воздействующую пластину с массажными аппликаторами, выполненными из ферромагнитного сплава, и вибрационный элемент, расположенный в стержне, соединяющем ручку устройства с воздействующей пластиной; систему изменения температуры массажных аппликаторов в виде полупроводниковых термоэлектрических модулей, имеющих индивидуальное питание от блока питания, управляющее воздействие на который формируется блоком управления в соответствии с сигналами, поступающими от термопар, расположенных в теле массажных аппликаторов, и воздушного радиатора, единого для всей совокупности термоэлектрических модулей и находящегося в тепловом контакте со вторыми спаями последних. При этом магнитовоздействие в устройстве создается при помощи опоясывающих каждый из массажных аппликаторов проводов, с противоположным направлением навивки у соседних массажных аппликаторов, питающих соответствующий ему термоэлектрический модуль. Структурная схема предлагаемого устройства приведена на рис.1.

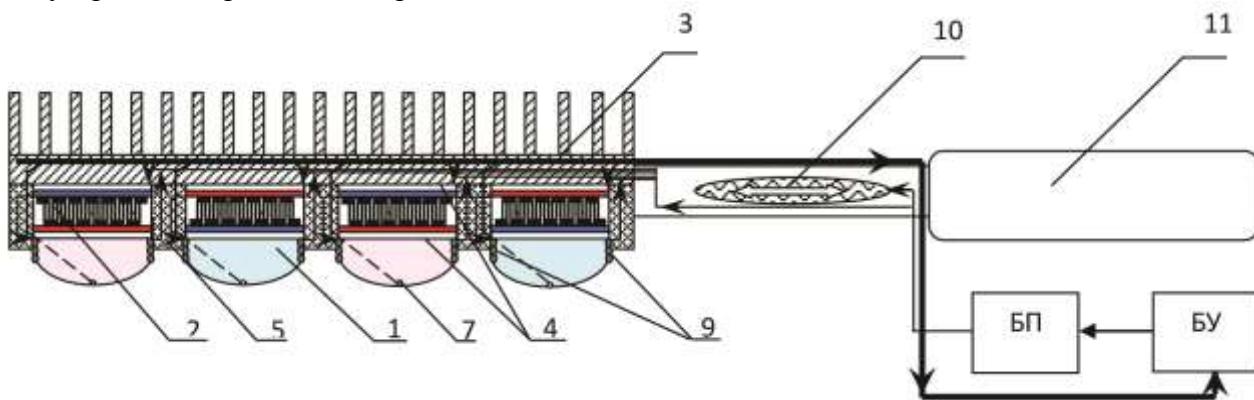


Рисунок 1- Конструкция полупроводникового термоэлектрического устройства для теплового воздействия

Устройство содержит массажные аппликаторы 1, изготовленные из ферромагнитного сплава для усиления магнитного поля, имеющие на конце полусферическое закругление, каждый из которых имеет тепловой контакт с первыми спаями полупроводниковых термоэлектрических модулей 2. Вторые спаи полупроводниковых термоэлектрических модулей 2, имеют тепловой контакт с единым для всей совокупности модулей воздушным радиатором 3.

Для предотвращения нежелательного воздействия электрических импульсов на биологическую ткань, полупроводниковые термоэлектрические модули 2 с обеих сторон снабжены изоляционными прокладками 4 с высокой теплопроводностью (в качестве материала для изо-

ляционных прокладок чаще всего применяется керамика или фарфор). Между массажными аппликаторами 1, а также между полупроводниковыми термоэлектрическими модулями 2, свободное пространство между узлами заливается эпоксидным компаундом 5 с низкой теплопроводностью, образуя, таким образом, воздействующую пластину с массажными аппликаторами.

Питание термоэлектрических модулей осуществляется через блок управления 6, на вход которого подаются сигналы от термопар 7, расположенных в теле массажных аппликаторов 1, а выход которого, связан с блоком питания 8. При этом магнитовоздействие создается при помощи опоясывающих каждый из массажных аппликаторов 1 проводов 9, с противоположным направлением их навивки у соседних массажных аппликаторов, питающих соответствующий ему термоэлектрический модуль 2. Противоположная навивка проводов необходима для изменения направления магнитного поля соседних массажных аппликаторов. Функция вибрационного массажа может быть использована при подаче с блока управления 6 сигнала на вход блока питания 8, а с него на вход вибрационного элемента 10, расположенного в стержне, соединяющем ручку устройства 11 с воздействующей пластиной.

Принцип работы предлагаемого устройства следующий. Перед началом работы оператор выставляет определенную тепловую схему на блоке управления 6, соответствующие сигналы с которого подаются на вход блока питания 8, который в свою очередь осуществляет подачу электрического тока заданной величины и полярности индивидуально на вход каждого из полупроводниковых термоэлектрических модулей 2.

В результате этого первые спаи термоэлектрических модулей 2, находящиеся через изоляционные прокладки 4 в контакте с массажными аппликаторами 1, начинают нагреваться, либо охлаждаться до заданной температуры и, таким образом, создавать определенную тепловую схему массажных аппликаторов, температура которых контролируется при помощи расположенных в их теле термопар 7. Вибрационный режим при необходимости может быть включен также с блока управления 6, выход которого связан с блоком питания 8, от которого идет подача электрического тока на вибрационный элемент 10. Электрический ток, протекая по виткам опоясывающего массажный аппликатор 1 питающего термоэлектрический модуль 2 провода 9 создает магнитное поле, действующее на биообъект. После установки необходимых режимов и тепловых схем устройство приводят в непосредственный контакт с телом пациента. Возможные тепловые схемы отражены на рис.2.

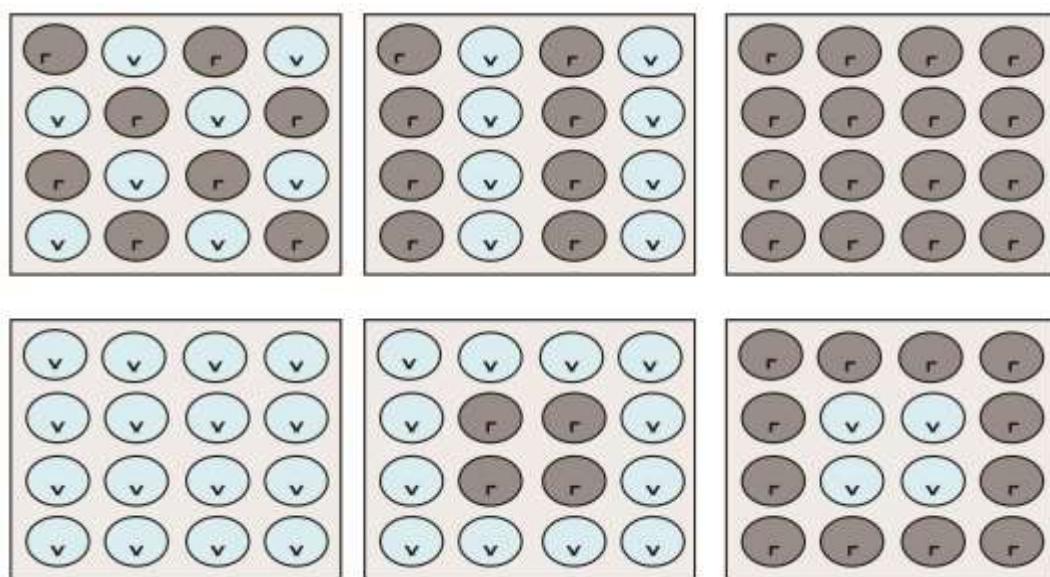


Рисунок 2 - Тепловые схемы

В зависимости от клинической картины врач может создать градиент температур масажных аппликаторов по произвольным схемам: шахматной, строчной, монотемпературной (либо тепловой, либо холодовой) и центральным градиентным воздействием [6].

Модель термоэлектрической системы для локального температурного воздействия. Криотермоаппликация наиболее соответствует природе эффекта Пельтье, как локально-го источника теплоты и холода и широко используется в различных отраслях медицины, в том числе и в неврологии.

Существенными параметрами работы термоэлектрических устройств являются продолжительность выхода на заданный режим работы, а также динамические характеристики прибора. Для определения данных показателей предложена квазистационарная модель переходного процесса, рассматривающая термоэлектрическую систему, как единую совокупность элементов – двухслойного [12,13,14,15] биологического объекта (кожный покров, мышечная ткань), теплообменных устройств (радиаторов), термоэлектрической батареи, теплоизоляции, обеспечивающих снижение температуры биологического объекта за требуемое время до необходимой величины.

В данной модели термоэлектрическая батарея через радиатор с теплоемкостью C_{p1} и тепловой проводимостью σ_{p1} первым (внутренним) спаем сопряжена с объектом воздействия, упрощенно представленном в виде двухслойной структуры, состоящей из кожного покрова и мышечной ткани, имеющих, соответственно, теплоемкость C_k , C_{tk} и тепловую проводимость σ_k , σ_{tk} . Температура внешнего спая термоэлектрической батареи посредством воздушного, либо жидкостного теплообменного аппарата (радиатора) поддерживается при определенной не изменяющейся во времени величине T_{p2} . Через термоэлектрическую батарею протекает ток постоянной плотности j . Кроме того, предполагается, что теплообмен между тканью и кровью происходит в любой точке рассматриваемого биологического объекта и характеризуется удельной мощностью объемных источников теплоты, соответственно для кожного покрова P_k и мышечной ткани P_{tk} .

Математическая реализация модели определяется системой следующих дифференциальных уравнений [7]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_{p1}}{d\tau} &= \frac{1}{C_{p1}} \left[\sigma_{p1} (T_k - T_{p1}) + \left[qejT_{p1} + \frac{1}{2} j^2 \rho h + \frac{\lambda}{h} (T_{p2} - T_{p1}) \right] + \sigma_{p1} (T_{cp} - T_{p1}) \right] \\ \frac{dT_k}{d\tau} &= \frac{1}{C_k} [\sigma_{p1} (T_{p1} - T_k) + \sigma_k (T_{mk} - T_k) + P_k] \\ \frac{dT_{mk}}{d\tau} &= \frac{1}{C_{mk}} [\sigma_k (T_k - T_{mk}) + P_{mk}] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где T_{p1} – температура радиатора, имеющего тепловой контакт с биологическим объектом; T_k – температура кожного покрова; объемная плотность теплового потока $q = -1$ при функционировании термоэлектрической батареи в режиме охлаждения объекта воздействия, $q = 1$ при функционировании термоэлектрической батареи в режиме нагрева объекта воздействия; ε – коэффициент термо-э.д.с. термоэлементов в термоэлектрической батарее; ρ – удельное электрическое сопротивление термоэлектрической батареи; h – высота термоэлементов; λ – коэффициент теплопроводности материала; T_{cp} – температура окружающей среды; T_{tk} – температура мышечной ткани.

Начальные условия задаются, исходя из предположения, что в начальный момент времени ТЭС находится в термодинамическом равновесии с окружающей средой и температура всех точек системы равна температуре среды, а объект воздействия имеет температуру, равную 309 К.

Решение системы (1) осуществлено численным образом в пакете прикладных программ MATHCAD с использованием алгоритма Рунге-Кутта четвертого порядка. Расчет производился при следующих исходных данных: $\varepsilon=350 \cdot 10^{-6}$ В/К; $h=0,002$ м; $\lambda=3$ Вт/м·К; $\rho=0,0001$ Ом·м;

$C_p=380$ Дж/кг·К; $C_k=3600$ Дж/кг·К; $C_{tk}=3458$ Дж/кг·К. При этом тепловые проводимости определялись по формулам:

$$\sigma_{p1} = \frac{\lambda_{p1} \cdot S}{\delta_{p1}}, \quad \sigma_k = \frac{\lambda_k \cdot S}{\delta_k}, \quad \sigma_{mk} = \frac{\lambda_{mk} \cdot S}{\delta_{mk}}, \quad (2)$$

где λ_{p1} , λ_k , λ_{tk} – коэффициент теплопроводности соответственно радиатора, кожного покрова и мышечной ткани; S – площадь поверхности соприкосновения термоэлектрического устройства для локального температурного воздействия и биологического объекта воздействия; δ_{p1} , δ_k , δ_{tk} – толщина соответственно радиатора, кожного покрова и слоя мышечной ткани. Численные значения исходных величин в выражениях (2) принимались следующими: $\lambda_{p1}=200$ Вт/м·К; $\lambda_k=0,389$ Вт/м·К; $\lambda_{tk}=0,2$ Вт/м·К; $S=0,015$ м²; $\delta_{p1}=0,02$ м; $\delta_k=0,002$ м; $\delta_{tk}=0,03$ м.

Обсуждение результатов. При анализе временного хода температуры радиатора на внутреннем спае термоэлектрической батареи, кожного покрова и мышечной ткани, зависимости носят монотонный характер – убывающий при работе термоэлектрической батареи в режиме охлаждения и возрастающий – в режиме нагрева биологического объекта. Согласно расчету, температура радиатора и кожного покрова достаточно быстро стабилизируется, что связано с малой теплоемкостью и высокой тепловой проводимостью радиатора, а также малой толщиной кожного покрова.

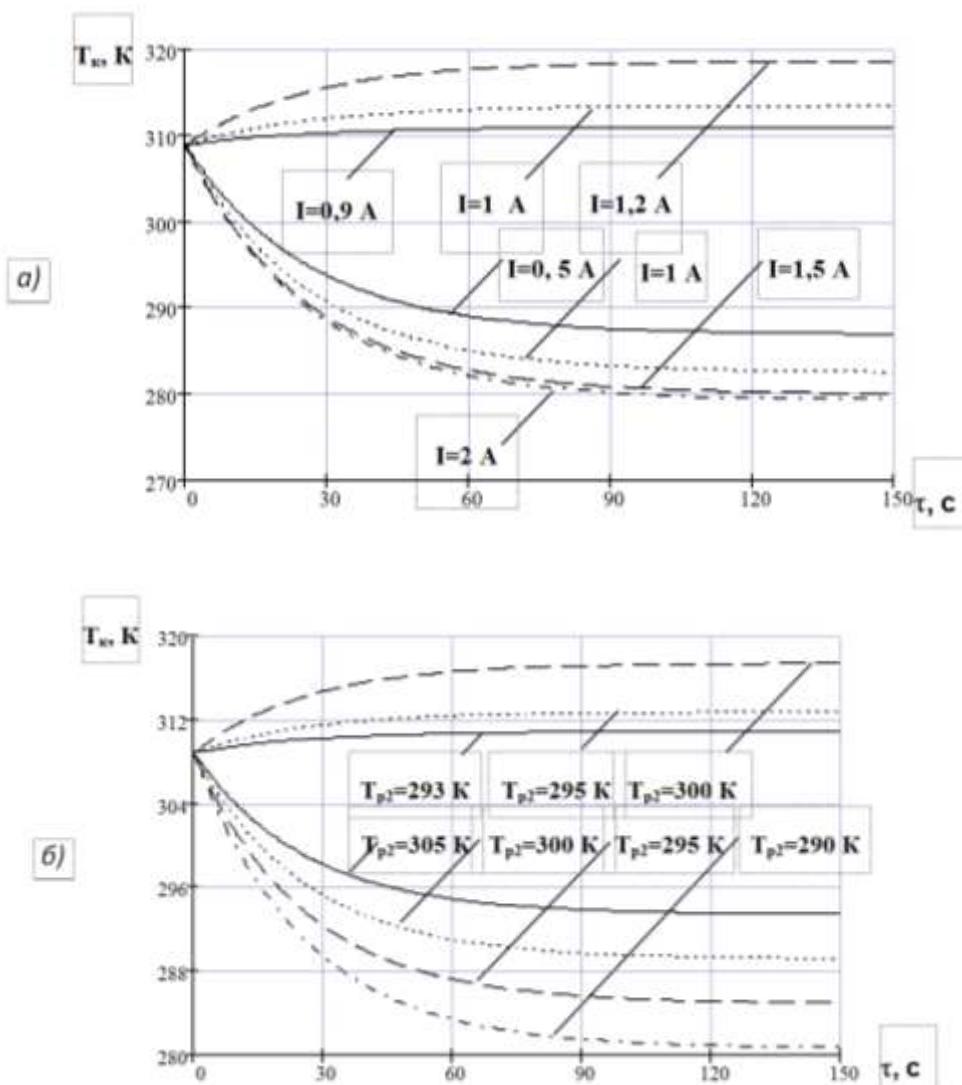


Рисунок 3 – Зависимость изменения во времени температуры кожного покрова при различных величинах тока питания I термоэлектрической батареи в режиме локального охлаждения и нагрева объекта воздействия

Особый интерес представляют графические зависимости изменения во времени температуры кожного покрова при различных [17,18,19,20] величинах тока питания I термоэлектрической батареи в режиме локального охлаждения и нагрева объекта воздействия (рис. 3а).

Как следует из рассмотренных зависимостей продолжительность стабилизации температуры кожного покрова в рассмотренном диапазоне токов постоянна и составляет около 120 с. Из графиков, описывающих временной ход температуры кожного покрова, следует, что при изменении силы тока от 0 до оптимального значения, при котором имеет место максимальное понижение температуры на холодном спае термоэлектрической батареи (в настоящем случае 2 А), отношение изменения температуры к изменению силы тока уменьшается.

Так, для указанного случая (по достижению стационарного режима) при увеличении тока питания с 0,5 А до 1 А температура кожного покрова понижается с 286,5 К до 282,5 К, увеличение силы тока с 1 А до 1,5 А понижает температуру с 282,5 К до 280 К, а увеличение тока питания с 1,5 А до 2 А уменьшает температуру до 279,5 К.

Дальнейшее увеличение силы тока вызывает превалирование теплоты Джоуля над теплотой Пельтье, увеличивающее температуру объекта воздействия.

Таким образом, при фиксированной температуре T_{p2} термоэлектрической батареи предельное снижение температуры биологического объекта ограничено величиной оптимального тока питания. Получить более глубокое понижение температуры объекта воздействия можно, уменьшив значение T_{p2} . Данное обстоятельство проиллюстрировано на рис.3б., где показано изменение температуры кожного покрова во времени для различных значений T_{p2} при работе ТЭС в режиме охлаждения и нагрева (ток питания – 0,9 А). При рассмотрении данных, представленных на рис.3а и рис.3б, следует, что для понижения температуры кожного покрова, например, до 280 К при температуре $T_{p2}=290$ К требуется на 0,6 А меньше, чем в случае стабилизации T_{p2} на уровне 293 К.

Вместе с тем, уменьшение температуры внешнего спая (T_{p2}) требует увеличение тока питания термоэлектрической батареи при работе последней в режиме нагрева биологического объекта для получения такой же температуры кожного покрова, причем требуемое увеличение тока питания термоэлектрической батареи незначительно [8].

Вывод. Приведенное устройство может работать в различных температурных режимах, обеспечивая возможность попеременного воздействия отрицательных и положительных температур, а также магнитное воздействие. Использование эффекта Пельтье, как локального источника тепла и холода, с целью проведения оздоровительных процедур является перспективным, поскольку термоэлектрические модули обладают высокой экологичностью, бесшумностью, надежностью и значительным ресурсом работы, обеспечивая применение данного устройства в реабилитационных отделениях и лечебно-профилактических учреждениях широкого профиля [10, 11, 16].

Анализ результатов численного эксперимента показал целесообразность применения термоэлектрических модулей в качестве источников тепла и холода с достижением необходимого температурного диапазона кожного покрова. При этом необходимо отметить наличие определенного выигрыша в потреблении электрической энергии при работе термоэлектрического устройства в режиме охлаждения биологического объекта. При использовании различных тепловых схем данный фактор окажет положительное влияние на энергопотребление устройства.

Библиографический список:

1. Попова С.М. Физическая реабилитация. Ростов н/Д: Феникс, 2004. – 608 с.
2. Александров В.В., Алгазин А. И. Основы восстановительной медицины и физиотерапии [Текст] : учеб. пособие /. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 144 с.

3. Епифанов В.А. Восстановительная медицина [Текст] : учебник - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. - 304 с.
4. Ибатов А.Д., Пушкина С.В. Основы реабилитологии [Текст] : учеб. пособие - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2007. - 160 с.
5. Патент № 2326645 РФ. Полупроводниковое термоэлектрическое устройство для термо-магнитомассажа / Исмаилов Т. А., Аминов Г. И., Юсуфов Ш. А., Рагимова Т. А., Хазамова М. А. - № 2005136268/14; Опубл. 20.06.2008, Бюл. № 17 – 6 с.
6. Рагимова Т.А., Абдулаева Н.Н. Использование термоэлектрических модулей в разработке устройств для физиотерапевтических массажных процедур // Состояние и перспективы развития термоэлектрического приборостроения: материалы IV Всероссийской науч.-технич. конф.- Махачкала: ДГТУ, 2013. - С. 145-149.
7. Тахистов Ф.Ю. Квазистационарная модель переходного процесса термоэлектрической системы охлаждения. Сборник докладов VII Межгосударственного семинара «Термоэлектрики и их применения», СПб., ФТИ РАН им. А.Ф. Иоффе, 2000. – С.279-282.
8. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А. Модель термоэлектрической системы для криотермоаппликации//Вестник Международной академии холода. 2003. – № 3. – С. 16-18.
9. Фокин В.Н. Полный курс массажа: Учебное пособие. М.: ФАИР-ПРЕСС, 2004. — 512 с: ил.
10. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. - СПб.: Политехника, 2005. – 533 с.
11. Термоэлектрики и их применения//Доклады VII Межгосударственного семинара ФТИ РАН им. А.Ф.Иоффе. Санкт-Петербург, 2002. – 515 с.
12. Tiffany Field. Miguel Diego, Gladys Gonzalez, C.G. Funk Neck arthritis pain is reduced and range of motion is increased by massage therapy. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 2014, vol.20, no. 4, pp. 219-223.
13. Tiffany Field. Massage therapy research review. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 2016, vol.24, pp. 19-31.
14. Diederik C. Bervoets, Pim A.J. Luijsterburg, Jeroen J.N. Alessie, Martijn J. Buijs, Arianne P. Verhagen. Massage therapy has short-term benefits for people with common musculoskeletal disorders compared to no treatment: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 2015, vol. 61, no. 3, pp. 106-116.
15. JoEllen M. Sefton, Ceren Yarar, David M. Carpenter, Jack W. Berry. Physiological and clinical changes after therapeutic massage of the neck and shoulders. *Manual Therapy*, 2011, vol.16, no. 5, pp.487-494.
16. Ssennoga Twaha, Jie Zhu, Yuying an, Bo Li. A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 65, pp. 698-726.
17. Jolanta Krukowska, Adam Lukasiak, Jan Czernicki. Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone. *Polish Annals of Medicine*, 2012, vol.19, no.1, pp. 15-20.
18. R. Fortescue Fox, J. Campbell McClure. A new combined physical treatment for wounded and disabled soldiers (heat, massage, electricity, movements.) *The Lancet*, 1916, vol.187, no. 4823, pp. 311-312.
19. Hua Zhang, Hong Chen, Hao Wang, Duoduo Li, Baolin Jia, Zhongjian Tan, Bin Zheng, Zhiwen Weng. Effect of Chinese tuina massage therapy on resting state brain functional network of patients with chronic neck pain. *Journal of Traditional Chinese Medical Sciences*, 2015, vol.2, no.1, pp. 60-68.
20. <http://www.tiensmed.ru/news/nevropatolog-wkti>.

References:

1. Popova S.M. Physical rehabilitation. *Rostov n/D: Feniks*, 2004, 608 p. (In Russian)
2. Aleksandrov V.V., Algazin A.I., Alexandrov V.V. Fundamentals of rehabilitation medicine and physical therapy. Textbook. *Moscow: GEOTAR-Media*, 2010, 144 p. (In Russian)
3. Epifanov V.A. Regenerative medicine. Textbook - *Moscow: GEOTAR-Media*, 2012, 304 p. (In Russian)
4. Ibatov A.D., Pushkin S.V., Fundamentals of rehabilitation. Textbook. M.: GEOTAR-Media, 2007, 160 p. (In Russian)
5. Patent No. 2326645 of the Russian Federation. Semiconductor thermoelectric device for thermomanometer. Ismailov T. A., Aminov, I. Yusufov S. A., Ragimova T. A., Hasanova M.A. No. 2005136268/14; Publ. 20.06.2008, bull. no. 17, 6p. (In Russian)
6. Ragimova T.A., Abdulaeva N.N. The use of thermoelectric modules in the development of devices for physiotherapy massages. [Ispol'zovanie termojelektricheskikh modulej v razrabotke ustrojstv dlja fizioterapevticheskikh massazhnyh procedur]. State and prospects of development of thermoelectric instrument engineering: materials of the IV all-Russian scient.-tech. Conf. [Sostojanie i perspektivy razvitiya termojelektricheskogo priborostroenija: materialy IV Vse-rossijskoj nauch.-tehnich. Konf.]- *Makhachkala: DSTU*, 2013, pp.145-149. (In Russian)
7. Takhistov F.Y. Quasi-stationary model of the transition process of thermoelectric cooling system. *Sbornik dokladov VII Mezhgosudarstvennogo seminara «Termojelektriki i ih primeneniya»* [The collection of reports of VII Intergovernmental workshop "Thermoelectric and their applications"], *St. Petersburg, PTI RAS them. A. F. Ioffe*, 2000, pp. 279-282. (In Russian)
8. Ismailov T.A., Avdulov O.V., Hasanova M.A. Model of the thermoelectric system to Krauter-vital. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2003, no.3, pp.16-18. (In Russian)
9. Fokin V.N. The complete massage course. Textbook. *Moscow: FAIR-PRESS*, 2004, 512 p. (In Russian)
10. Ismailov T.A. Semiconductor thermoelectric devices and intensifiers of heat transfer. *St. Petersburg: Politehnika*, 2005, 533p. (In Russian)
11. Thermoelectric and their applications. Doklady VII Mezhgosudarstvennogo seminara FTI RAN im. A.F.Ioffe. [Proceedings of the VII inter-state seminar, Ioffe Institute them. A. F. Ioffe]. *St. Petersburg*, 2002, 515 p. (In Russian)
12. Tiffany Field, Miguel Diego, Gladys Gonzalez, C.G. Funk Neck arthritis pain is reduced and range of motion is increased by massage therapy. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 2014, vol.20, no. 4, pp. 219-223.
13. Tiffany Field. Massage therapy research review. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 2016, vol.24, pp. 19-31.
14. Diederik C. Bervoets, Pim A.J. Luijsterburg, Jeroen J.N. Alessie, Martijn J. Buijs, Arianne P. Verhagen. Massage therapy has short-term benefits for people with common musculoskeletal disorders compared to no treatment: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 2015, vol. 61, no. 3, pp. 106-116.
15. JoEllen M. Sefton, Ceren Yarar, David M. Carpenter, Jack W. Berry. Physiological and clinical changes after therapeutic massage of the neck and shoulders. *Manual Therapy*, 2011, vol.16, no. 5, pp.487-494.
16. Ssennoga Twaha, Jie Zhu, Yuying an, Bo Li. A comprehensive review of thermoelectric technology: Materials, applications, modelling and performance improvement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 65, pp. 698-726.

17. Jolanta Krukowska, Adam Lukasiak, Jan Czernicki. Impact of magneto stimulation on nerve and muscle electrical excitability in patients with increased muscle tone. *Polish Annals of Medicine*, 2012, vol.19, no.1, pp. 15-20.
18. R. Fortescue Fox, J. Campbell McClure. A new combined physical treatment for wounded and disabled soldiers (heat, massage, electricity, movements.) *The Lancet*, 1916, vol.187, no. 4823, pp. 311-312.
19. Hua Zhang, Hong Chen, Hao Wang, Duoduo Li, Baolin Jia, Zhongjian Tan, Bin Zheng, Zhiwen Weng. Effect of Chinese tuina massage therapy on resting state brain functional network of patients with chronic neck pain. *Journal of Traditional Chinese Medical Sciences*, 2015, vol.2, no.1, pp. 60-68.
20. <http://www.tiensmed.ru/news/nevropatolog-wkti>.

Сведения об авторах.

Исмаилов Тагир Абдурашидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники. Ректор ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Заслуженный деятель науки РФ.

Рагимова Тамила Арслановна – кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедры теоретической и общей электротехники.

Хазамова Мадина Абдуллаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники, факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики.

Authors information.

Tagir A. Ismailov – doctor of technical Sciences, Professor, head of Department of heoretical and General electrical engineering. The rector Dagestan State Technical University, Honored worker of science of the Russian Federation.

Tamila A. Ragimova– candidate of technical Sciences, old-senior lecturer, Department of theoretical and General electrical engineering.

Madina A. Hazamova – candidate of technical Sciences, Associate Professor of Department of theoretical and General electrical engineering, school of computing, computing and energy.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 25.06.2016.

Conflict of interest

Received 25.06.2016.

Принята в печать 20.08.2016.

Accepted for publication 20.08.2016.

Для цитирования: Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Шангереева Б.А. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ БИПОЛЯРНЫХ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ (БСИТ). Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016; 42(3):83-91. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-83-91

For citation: Ismailov T. A., Shakhmaeva A.R., Shangereeva Bike A. STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AFFECTING THE BIPOLAR STATIC INDUCTION TRANSISTOR (BSIT) RESISTANCE
Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 42(3):83-91. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-83-91

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

TECHNICAL SCIENCE

POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621. 382.002

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-83-91

Исмаилов Т.А.¹, Шахмаева А.Р.², Шангереева Б.А.³

¹⁻³Дагестанский государственный технический университет,

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

¹e-mail: dstu@dstu.ru; ²fpk12@mail.ru; ³e-mail: bijke@mail.ru

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ БИПОЛЯРНЫХ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ (БСИТ)

Аннотация. Цель. Целью исследования является определение влияния конструктивных и технологических параметров на сопротивление биполярных со статической индукцией транзисторов. Методы. В работе приведен сравнительный анализ преимущества биполярных со статической индукцией транзистора по сравнению с биполярными мощными транзисторами, МОП-транзисторами и биполярными транзисторами с изолированным затвором (БТИЗ). Рассмотрены конструктивно-технологические параметры, влияющие на сопротивление БСИТ-транзистора. Результат. В результате экспериментальных исследований на кремниевых подложках были сформированы опытные образцы структуры БСИТ-транзистора, проведены расчетные и экспериментальные работы. Получены графики зависимости сопротивления ячейки транзистора от толщины эпитаксиальной пленки; зависимости сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от эффективной длины затвора при различных значениях концентрации примеси в эпитаксиальной пленке; зависимости сопротивления ячейки транзистора от длины затвора при различных значениях толщины эпитаксиальной пленки; зависимости сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от расстояния между маской для р-области и затвором; зависимости произведения сопротивления ячейки на ее площадь от длины затвора. Вывод. При увеличении длины затвора (l_z) и длины маски для р-области (l_{p+}) в структуре транзистора, сопротивление уменьшается и зависимость параметра произведения сопротивления ячейки на ее площадь Q от длины затвора имеет при этом минимум.

Ключевые слова: сопротивление, транзистор, прибор, ячейка, электрические характеристики, параметры

Tagir A. Ismailov ¹, Aishat R. Shakhmaeva ², Bike A. Shangereeva ³

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

¹e-mail: dstu@dstu.ru; ²fpk12@mail.ru; ³e-mail: bijke@mail.ru

STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AFFECTING

THE BIPOLAR STATIC INDUCTION TRANSISTOR (BSIT) RESISTANCE

Abstract.Aim. The aim of the study is to determine the impact of structural and technological parameters on the resistance of the bipolar static induction transistor. **Methods.** The paper provides a

comparative analysis of the advantages of bipolar static induction transistor compared to the bipolar power transistors, MOSFETs and insulated-gate bipolar transistor (IGBT). Considered are structural and technological parameters that influence the resistance of BSIT-transistor. Result. As a result of experimental study on silicon substrates were formed test prototypes of BSIT transistor structure, are presented calculation and experimental works. Obtained are the resistance dependencies of the transistor cell on the thickness of the epitaxial film; the resistance dependencies of BSIT transistor cell on the effective gate length for different values of the impurity concentration in the epitaxial film; dependencies resistance of the transistor cell on the gate length at different values of the epitaxial film thickness; the resistance dependencies of BSIT transistor cell on the distance between the mask for the p-region and the gate; dependencies on the multiplication the cell resistance by its area on the gate length. Conclusion. When increasing the gate length (L_k) and the mask length for the p-region (l_p) in the transistor structure, the resistance decreases and the dependence of multiplication of the cell resistance by its area Q on the gate length has this case the minimum.

Key words: resistance, transistor, device, the cell, electrical performance, parameters

Введение. К перспективным приборам силовой электроники относятся биполярные со статической индукцией транзисторы (БСИТ). Они являются переключательными элементами для изделий и устройств силовой электроники и в сравнении с их более известными транзисторными прототипами (БМТ, МОП МТ и БТИЗ) превосходят их по основным характеристикам [1-3].

Если рассматривать четыре типа транзисторных ключей: БСИТ, БМТ, МОП МТ и БТИЗ каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. МОП МТ имеют заметное преимущество по техническим показателям перед другими конкурирующими типами мощных полупроводниковых приборов в области низковольтных применений (до 200 В), хотя и уступают им по стоимости. БМТ и БТИЗ сильнее проявляют свои достоинства в высоковольтных применениях (свыше 1000 В), хотя и в ряде устройств средней высоковольтности они также весьма эффективны. БСИТ наиболее предпочтительны в устройствах, требующих применения ключей средней высоковольтности (от 400 до 800 В) [4,5,6,7].

Характеристики БСИТ схожи с характеристиками биполярного транзистора. По сравнению с полевым транзистором БСИТ эффективно работает при параллельном включении и имеет высокое быстродействие, не уступающее полевым транзисторам. БСИТ сочетает все лучшие достоинства биполярных транзисторов и полевых транзисторов при низкой стоимости, что позволяет предположить, что в ближайшие годы эти транзисторы смогут заменить биполярные, практически во всех областях применения с одновременным улучшением технико-экономических показателей РЭА [8].

БСИТ - транзисторы изготавливаются с применением эффективных методов биполярной технологии, хорошо отработанных при производстве мощных транзисторов. Они имеют заметно более низкую стоимость по сравнению как с МОП МТ, так и с БТИЗ. Тем не менее, широкое внедрение БСИТ - транзисторов сдерживается как по субъективным причинам (разработчики доверяют проверенным временем мощным полупроводниковым приборам), так и по объективным - небольшой процент выхода годных БСИТ в процессе их производства и достаточно большой разброс получаемых значений нормируемых параметров у этого типа мощных полупроводниковых приборов [9,10,11,12,13,14].

Разработанные различные типы БСИТ - транзисторов требуют конструктивных доработок, совершенствования технологии для улучшения выходных характеристик прибора для улучшения таких параметров как пробивное напряжение, сопротивление, быстродействие [2-3]. Основными параметрами, влияющими на характеристики исследуемого транзистора, являются пробивное напряжение и сопротивление, которые, в свою очередь, зависят от конструкции прибора и технологии их изготовления [15-16].

Постановка задачи. С этой целью были проведены исследования влияния конструктивных и технологических параметров на сопротивление транзистора.

Структура БСИТ -транзистора приведена на рисунке 1.

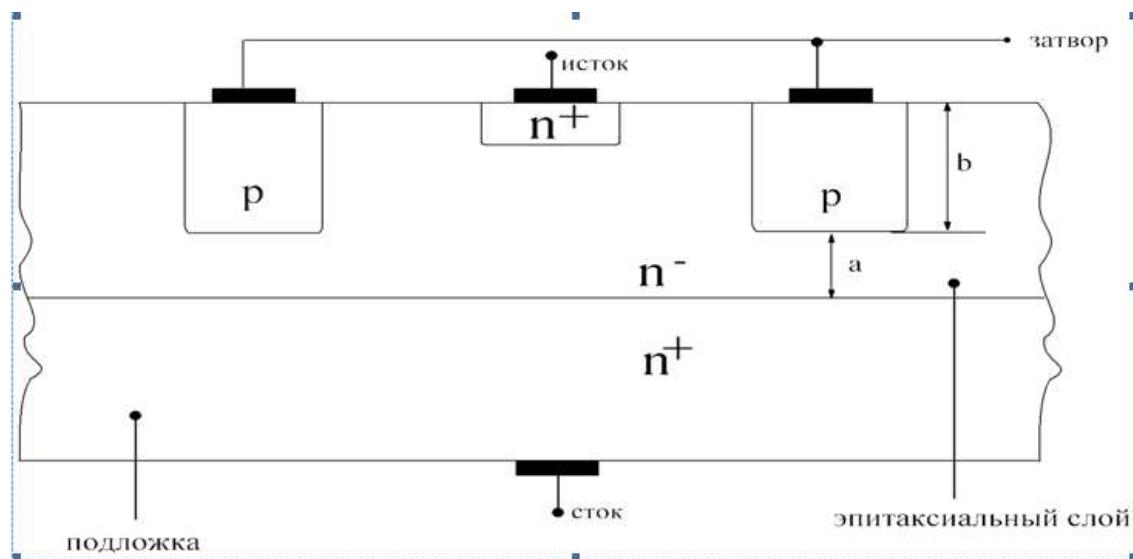


Рисунок 1- Структура БСИТ-транзистора

Методы исследования. Если рассмотреть структуру сечения ячейки БСИТ-транзистора вокруг оси, как показано на рисунке 2, то можно выделить основные параметры, которые могут влиять на сопротивление транзистора: l_3 – эффективная длина затвора; l_{p+} - длина маски для p-области; l_p - расстояние между маской для p-области и затвором; $l_{кан}$ - длина канала; X_{jp} - глубина залегания p области; $h_{эп}$ - толщина эпитаксиальной пленки; $h_{под}$ – толщина подложки.

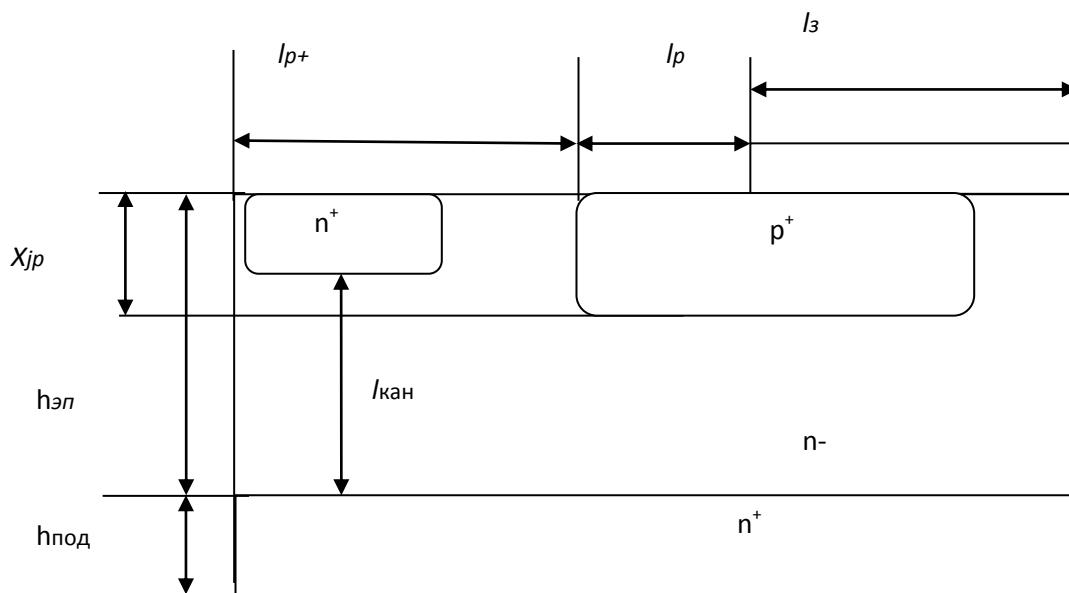


Рисунок 2- Параметры, влияющие на сопротивление транзистора

На кремниевых подложках с различной толщиной эпитаксии и концентрацией примесей, с различными конструктивными параметрами были сформированы опытные образцы структуры БСИТ-транзистора; проведены расчетные и экспериментальные работы, в результате которых были получены графики, характеризующие:

1. Зависимость сопротивления ячейки транзистора от толщины эпитаксиальной пленки;
2. Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от эффективной длины затвора при различных значениях концентрации примеси (N) в эпитаксиальной пленке;

3. Зависимость сопротивления ячейки транзистора от длины затвора при различных значениях толщины эпитаксиальной пленки ($h_{\text{эн}}$);
4. Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от расстояния между маской для p -области (l_{p+}) и затвором;
5. Зависимость произведения сопротивления ячейки на ее площадь от длины затвора.

Зависимость сопротивления ячейки транзистора от толщины эпитаксиальной пленки показана на рисунке 3 (концентрация примеси в пленке $2,63 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $l_{p+} + l_p + l_3 = 20 \text{ мкм}$).

Как видно из рисунка 3, сопротивление прямо пропорционально толщине эпитаксиальной пленки.

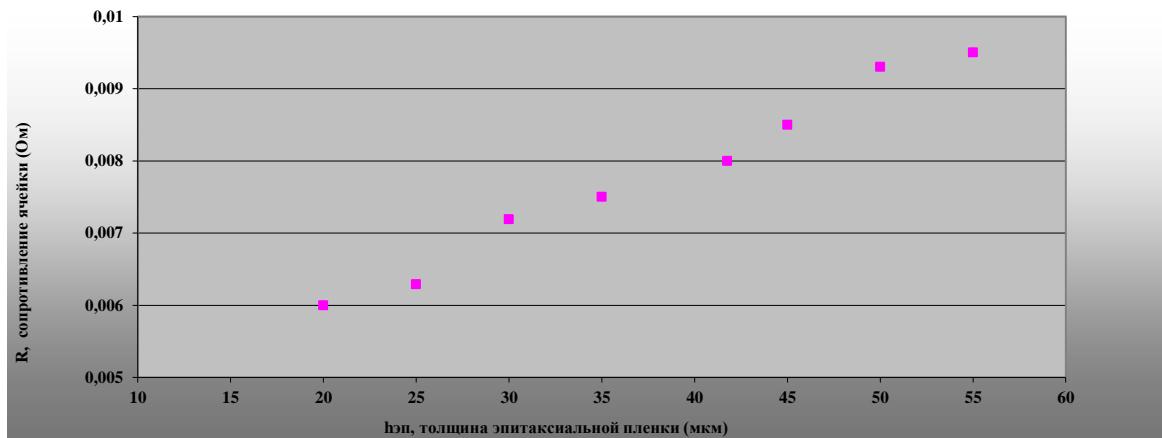


Рисунок 3- Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от толщины эпитаксиальной пленки ($h_{\text{эн}}$)

Влияние длины затвора (l_3), на сопротивление показано на рисунке 4 ($l_3=6 \text{ мкм}$, $l_{p+}=6,5 \text{ мкм}$, $h_{\text{эн}}=50 \text{ мкм}$).

Как видно из рисунка 4, сопротивление ячейки уменьшается с ростом l_3 , так как уменьшается площадь ячейки.

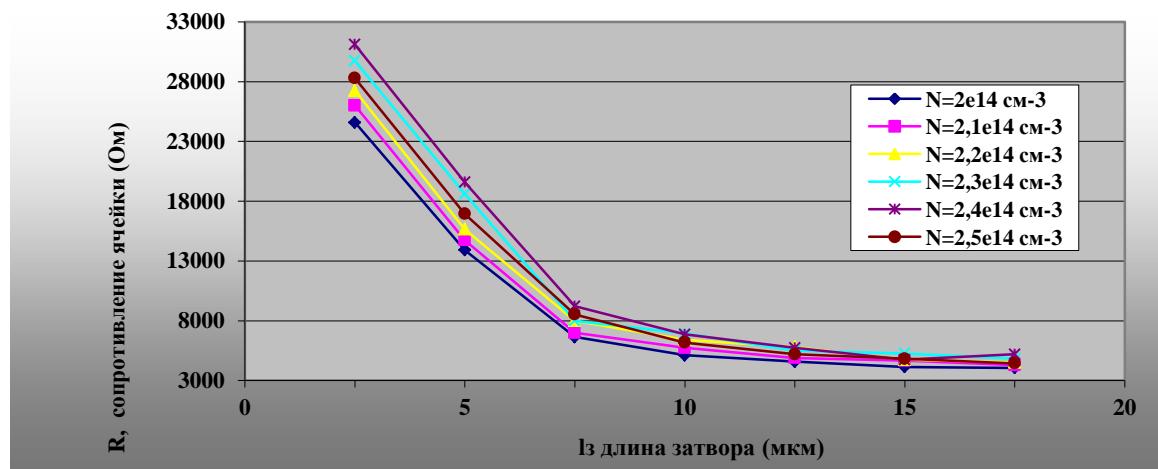


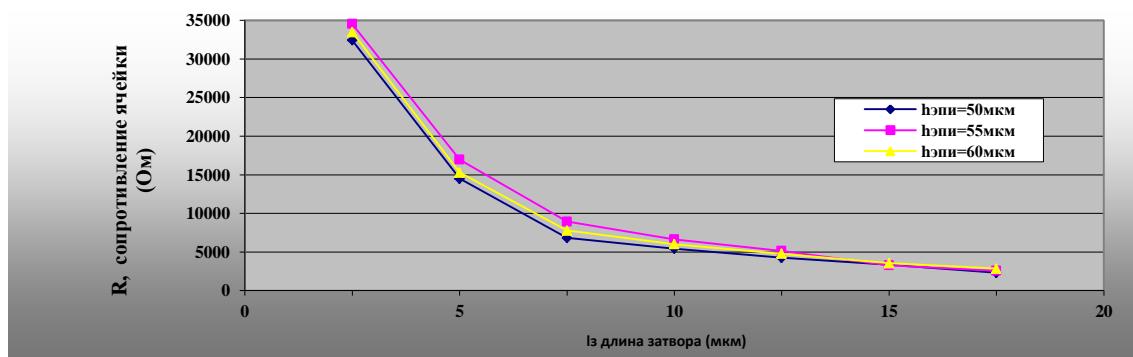
Рисунок 4- Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от длины затвора (l_3) при различных значениях концентрации примеси (N).

На рисунке 5 показаны следующие виды зависимостей:

а) зависимость сопротивления ячейки транзистора от длины затвора (l_3) при различных значениях толщины эпитаксиальной пленки ($h_{\text{эн}}$) и при различных значениях расстояния между маской для p -области и затвором ($l_{p+}=6,0 \text{ мкм}$, $l_p=6,5 \text{ мкм}$, при концентрации примеси $N=2 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$).

б) зависимость параметра Q от длины затвора (l_3) при различных значениях длины маски для p -области (l_{p+}).

а)



б)

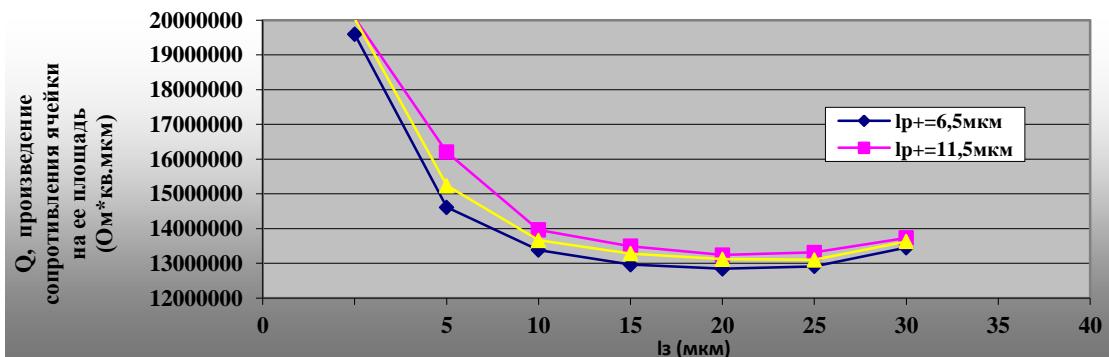
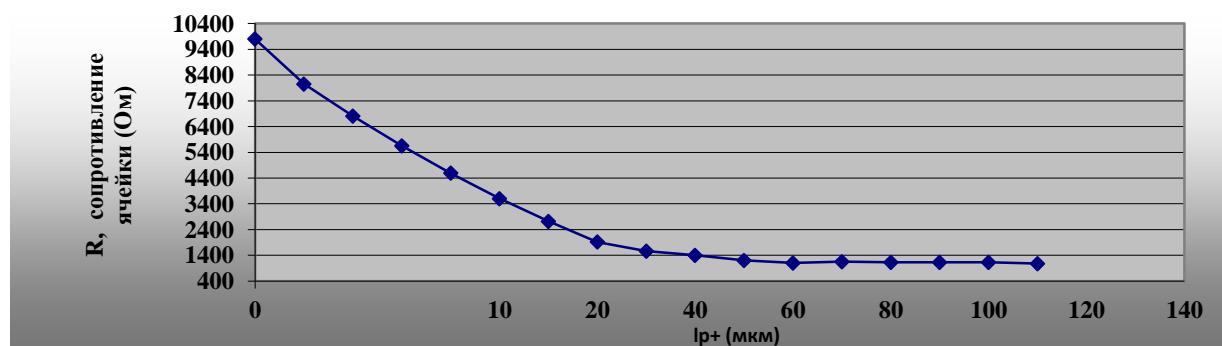


Рисунок 5 - Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от: а) длины затвора при различных значениях толщина эпитаксиальной пленки (h_{epi}). б) зависимость параметра Q от длины затвора (l_z) при различных значениях длины маски для p -области (l_{p+}).

а)



б)

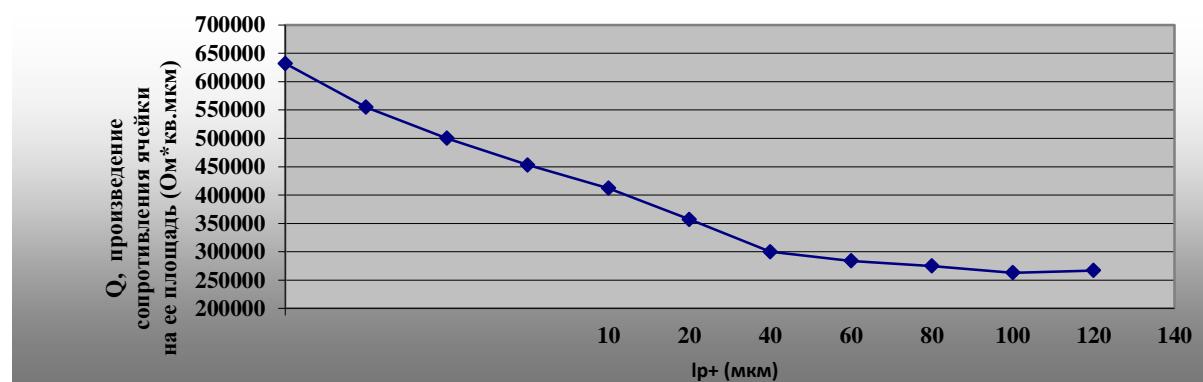


Рисунок 6 - Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от l_{p+} , а) зависимость параметра Q ячейки БСИТ-транзистора от l_{p+} ; б) зависимость l_{p+} от Q при $N=2 \cdot 10^{14}$ см⁻³, $l_p=6$ мкм, $l_z=12,0$ мкм, $h_{epi}=50$ мкм

Одним из параметров, характеризующих мощные транзисторы, является произведение сопротивления на площадь ячейки транзистора: $Q=R*S$.

Зависимость параметра Q от длины затвора (l_3) для различных значений длины маски для p -области (l_{p+}) показана на рисунке 6, при концентрации примеси $N=2*10^{14}$ см⁻³, расстоянии между маской для p -области и затвором $l_p=6$ мкм, длиной затвора $l_3=12,0$ мкм, и толщине эпитаксиальной пленки $h_{ep}=50$ мкм.

Объяснить данную зависимость можно следующим образом: при малых значениях длины затвора (l_3) сопротивление активных областей велико, площадь ячейки мала и поэтому в параметре Q основной вклад имеет сопротивление. С увеличением длины затвора (l_3) увеличивается площадь и уменьшаются сопротивления активных областей, наступает момент, когда Q имеет минимум. Дальнейшее увеличение длины затвора (l_3) приводит к незначительному изменению сопротивления, а площадь ячейки существенно увеличивается и, параметр Q как произведение сопротивления ячейки на ее площадь растет.

Из рисунка 7 видно, что минимальное значение параметра Q во всем диапазоне длины затвора наблюдается при значении длины маски для p -области $l_{p+}=6,5$ мкм.

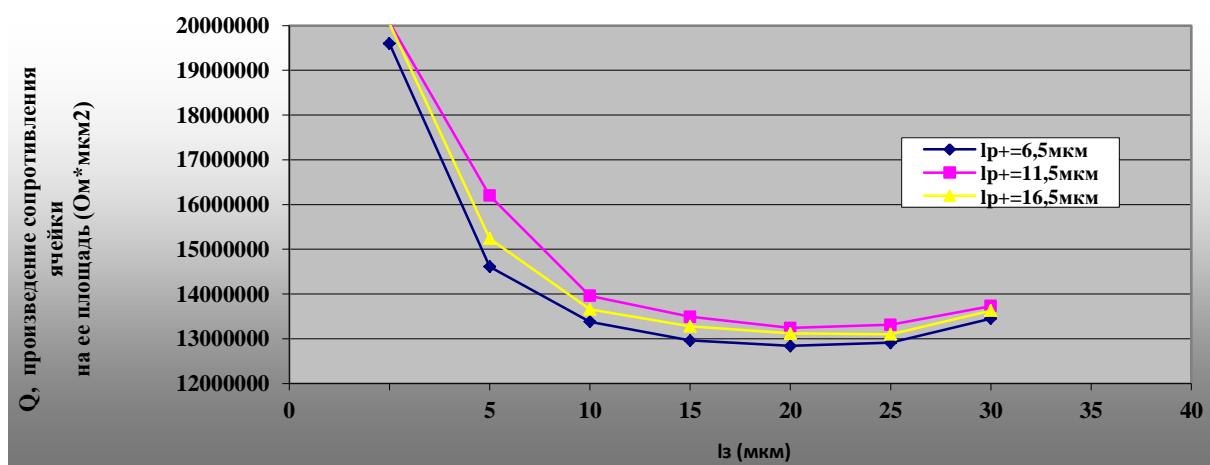


Рисунок 7- Зависимость параметра произведение сопротивления ячейки на ее площадь (Q) от длины затвора (l_3)

Вывод. В результате исследования получены зависимости сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от ее конструктивно-технологических параметров, исходя из которых можно сделать следующий вывод: при увеличении длины затвора (l_3) и длины маски для p -области (l_{p+}) в структуре транзистора, сопротивление уменьшается, а зависимость параметра произведения сопротивления ячейки на ее площадь Q от длины затвора при этом минимально.

Библиографический список:

1. Исмаилов Т.А., Шахмаева А. Транзисторные структуры силовой электроники/ СПб.:Политехника, 2011.-125 с.
2. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Букашев Ф.И., Захарова П.Р.Технология, конструкции, методы моделирования и применение БСИТ-транзисторов/ М.: Академия, 2012.-252 с.
3. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Способ изготовления БСИТ-транзистора с охранными кольцами. Пат. 2013100528/28 Рос. Федерация:МПК H01L 29/70, № 2524145; заявл. 09.01.2013;опубл. 27.07.2014 Бюл. №21.-6с.
4. Лагунович Н.Л., Турцевич А.С., Борзов В.М. Новый технологический маршрут изготовления биполярного транзистора со статической индукцией// МНПК «Современные информационные и электронные технологии». Одесса.-, 2016., С. 150-151.

5. Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Разработка типовой структуры нормально-закрытого БСИТ-транзистора// Фундаментальная наука и технологии - перспективные разработки: материалы международной научно-практической конференции, 22-23 мая 2013 г.- М., 2013.-С. 158-160.
6. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Технология напыления наноразмерных слоев четырех металлов (Cr-Ni-Sn-Ag) для формирования стоковой области биполярного со статической индукцией транзистора (БСИТ). Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы материаловедения и наноматериалов: труды VIII Международной конференции.- 9-10 июня 2011.- М: Изд-во МИСиС, 2011.-С.815-823.
7. Патент №2524145 Российская Федерация, МПК H01L 29/70. Способ изготовления БСИТ-транзистора с охранными кольцами. /Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Дагестанский государственный технический университет.- №2013100528/28; заявл. 09.01.2013; опубл. 27.07.2014 Бюл. №21.- 6с.
8. Патент №2534439 Российская Федерация, МПК H01L 21/58. Способ формирования контакта к стоковой области полупроводникового прибора. /Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Дагестанский государственный технический университет.- №2013100562/28; заявл. 09.01.2013; опубл. 27.11.2014. Бюл. №33.-4с.
9. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Технологическое решение по улучшению параметров кристалла биполярного со статической индукцией транзистора. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.- 2011.- Т. 20 - №1- С. 6-10.
10. Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Конструктивно-технологические методы улучшения параметров полупроводниковых приборов. Вестник Саратовского государственного технического университета. -2012.-Т.63 - №1- С. 36-40.
11. Wang Y., Feng J., Liu C. et al. Improvements on voltage-resistant performance of bipolar static induction transistor (BSIT) with buried gate structure. *Science in China Series F: Information Sciences*, 2012, 55(4): 962.
12. Napoli E. and Strollo A.G. Static Induction Transistors. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 2014, pp.1–6.
13. Meenakshi Mataray et al. Modern Power Semiconductor Devices. (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2012, vol.3, no.4, pp. 4571 – 4574.
14. Belkacem1a G., Lefebvre1 S., Joubert P. et al. Distributed and coupled 2D electro-thermal model of power semiconductor devices. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2014, 66, pp. 20-102
15. Jiang Y., Zeng C., Du H. et al. Holding-voltage drift of a silicon-controlled rectifier with different film thicknesses in silicon-on-insulator technology. *Journal of Semiconductors*, 2012, 33 (3): 962.
16. Shaohua Lu and Farid Boussaid. An Inductorless Self-Controlled Rectifier for Piezoelectric Energy Harvesting. *Sensors*, 2015, p.15.

References:

1. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R. Transistor structures of power electronics. *St. Petersburg: Politehnika*, 2011, 125p. (In Russian)
2. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Balashev F.I., Zakharova, P. R. Technology, design, simulation methods and application of BSIT-transistor. *Moscow: Akademija*, 2012, 252 p. (In Russian)

3. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharova, P.R. Method for the fabrication of the BSIT-transistor with guard rings. Pat. 2013100528/28 ROS. Federation:IPC H01L 29/70, No. 2524145; Appl. 09.01.2013; publ. 27.07.2014 Bull., no. 21, 6p. (In Russian)
4. Lahunovich N.L., Turtsevich A.S., Borzdov V.M. New technological route of manufacturing bipolar transistor with a static induction. *MNPK «Sovremennye informacionnye i elektronnye tehnologii* [International scientific-practical conference "Modern information and electronic technologies"]. Odessa, 2016, pp. 150-151. (In Russian)
5. Shakhmaeva A.R., Zakharova P.R. A model structure is normally closed Development BSIT-transistor. *Fundamental'naja nauka i tehnologii - perspektivnye razrabotki: materialy mezhunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 22-23 maja 2013 g. Moscow*: [Fundamental science and technologies - promising developments: proceedings of the international scientific-practical conference], 2013, pp.158-160. (In Russian)
6. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharov P.R. The Technology of deposition of nanoscale layers of four metals (chrome, Nickel SN-AG) for forming a drain region of a bipolar transistor with a static induction (BSIT). *Perspektivnye tehnologii, oborudovanie i analiticheskie sistemy materialovedenija i nanomaterialov: trudy VIII Mezhdunarodnoj konferencii* [Advanced technologies, equipment and the analysis of political systems of materials and nanomaterials: proceedings of the VIII international conference. June 9-10, 2011] Moscow: publishing house of MISIS, 2011, pp.815-823. (In Russian)
7. Patent No. 2524145 Russian Federation, IPC H01L 29/70. A method of manufacturing BSIT-transistor with guard rings. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharov, P.R.; applicant patentable-giver and of the Dagestan State Technical University. No. 2013100528/28; Appl. 09.01.2013; publ. 27.07.2014 Bull. No. 21, 6p. (In Russian)
8. 2534439 Patent No. Russian Federation, IPC H01L 21/58. A method of forming contact to drain region of semiconductor device. Ismailov T. A., Shamaeva A. R., Zakharov, P. R.; applicant PA-entablature and of the Dagestan State Technical University. No. 2013100562/28; Appl. 09.01.2013; publ. 27.11.2014 Bull. No. 33, 4p. (In Russian)
9. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharova, P.R. Technological-mechanical solution for improving the parameters of the crystal is bipolar with the way cal induction transistor. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science], 2011, vol.20, no.1, pp.6-10. (In Russian)
10. Shakhmaeva A.R., Zakharova P. R. Constructive-technological methods of improvement of parameters of semiconductor devices. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. [Bulletin of Saratov State Technical University]. 2012, vol.63, no.1, pp.36-40. (In Russian)
11. Wang Y., Feng J., Liu C. et al. Improvements on voltage-resistant performance of bipolar static induction transistor (BSIT) with buried gate structure. *Science in China Series F: Information Sciences*, 2012, 55(4): 962.
12. Napoli E. and Strollo A. G. Static Induction Transistors. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 2014, pp.1–6.
13. Meenakshi Mataray et al. Modern Power Semiconductor Devices. (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2012, vol.3, no.4, pp. 4571 – 4574.
14. Belkacem1a G., Lefebvre1 S., Joubert P. et al. Distributed and coupled 2D electro-thermal model of power semiconductor devices. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2014, 66, pp. 20-102
15. Jiang Y., Zeng C., Du H. et al. Holding-voltage drift of a silicon-controlled rectifier with different film thicknesses in silicon-on-insulator technology. *Journal of Semiconductors*, 2012, 33 (3): 962.
16. Shaohua Lu and Farid Boussaid. An Inductorless Self-Controlled Rectifier for Piezoelectric Energy Harvesting. *Sensors*, 2015, p.15.

Сведения об авторах.

Исмаилов Тагир Абдурашидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники. Ректор ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Заслуженный деятель науки РФ.

Шахмаева Айшат Расуловна – кандидат технических наук, декан факультета повышения квалификации и переподготовки, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Шангереева Бийке Алиевна – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники.

Authors information.

Tagir A. Ismailov – doctor of technical Sciences, Professor, head of Department of theoretical and General electrical engineering. The rector Dagestan State Technical University, Honored worker of science of the Russian Federation.

Aishat R. Shakhmaeva – candidate of technical Sciences, Dean of Faculty training and retraining, Associate Professor of Department of Software computer technology and automated systems.

Bike A. Shangereeva – candidate of technical Sciences, associate Professor of Department of theoretical and General electrical engineering.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 10.06.2016.

Принята в печать 10.08.2016.

Conflict of interest

Received 10.06.2016.

Accepted for publication 10.08.2016.

Для цитирования: Григорьян О.П., Магомедова М.Р. ИМИТАЦИОННОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ МУТНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ УЩЕРБА ВОДНЫМ БИОЛОГИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ РЕКИ ЧЕРЕК. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016; 42 (3):92-100. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-92-100.

For citation: Grigoryan O.P., Magomedova M.R. IMITATION MATHEMATICAL MODELING OF SUSPENDED PARTICLES EXPANSION TO DETERMINE THE AREAS OF INCREASED TURBIDITY IN THE ASSESSMENT OF DAMAGE TO WATER BIOLOGICAL RESOURCES OF THE CHEREK RIVER. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):92-100. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-92-100

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

УДК 556.536:631.4

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-92-100

Григорьян О.П.¹, Магомедова М.Р.²

¹Дагестанский филиал Каспийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства, 367022, г. Махачкала, ул. Абубакарова, д.104

e-mail: dokaspri@mail.ru ,

²Дагестанский государственный технический университет, 367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, п-
гусеинова@mail.ru

**ИМИТАЦИОННОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЗОН ПОВЫШЕННОЙ МУТНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ УЩЕРБА
ВОДНЫМ БИОЛОГИЧЕСКИМ РЕСУРСАМ РЕКИ ЧЕРЕК**

Аннотация. Цель. Оценить ущерб водным биоресурсам от эксплуатации Нижне-Черекских ГЭС(Каихатай, Аушигерской). Методы. Приведены результаты апробации имитационной математической модели распространения взвешенных частиц для определения зон повышенной мутности при оценке ущерба водным биологическим ресурсам реки Черек от эксплуатации каскада Нижне-Черекских ГЭС. Для установления основных характеристик годового и сезонного стока в створах гидротехнических сооружений на реке Черек использованы сведения о стоке в опорных гидрологических створах Гидрометеослужбы, обобщённые в справочниках «Ресурсы поверхностных вод». Результат. Математическая модель, разработанная на основе теории вероятностей и теории выбросов случайных процессов, с учетом нормального закона распределения горизонтальной и вертикальной составляющих мгновенных скоростей течения и закона Релея для распределения их максимумов использована для расчета «шлейфа мутности» при промыве отстойника головного узла и при глубинном промыве головного узла Каихатай ГЭС. Вывод. В результате проведенных исследований получено, что негативное влияние «шлейфа мутности» в реке Черек, будет прослеживаться на протяжении приблизительно 3 км.

Ключевые слова: транспорт наносов, взвешенные наносы, гранулометрический состав, скорость течения, расход наносов, турбулентный поток, средняя глубина

Olga P. Grigoryan¹, Milada R. Magomedova²

¹Federal State Budgetary Scientific Institution,
Caspian Fisheries Research Institute, Daghestan branch,
104, Abubakarov Ave, Makhachkala, 367022,

²Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015

**IMITATION MATHEMATICAL MODELING OF SUSPENDED PARTICLES
EXPANSION TO DETERMINE THE AREAS OF INCREASED TURBIDITY
IN THE ASSESSMENT OF DAMAGE TO
WATER BIOLOGICAL RESOURCES OF THE CHEREK RIVER**

Abstract. Aim. Assessment of damage to aquatic bioresources. **Methods.** This article presents the results of testing of the simulation mathematical model of propagation of suspended particles to determine the areas of increased turbidity in the assessment of damage to Cherek River water biological resources because of Nizhne-Cherek HPS Cascade exploitation. In order to establish the basic characteristics of annual and seasonal runoff in the hydraulic structures dam locations on the river Cherek are used data on runoff in support hydrological dam locations of the Hydrometeorological Service, generalized in the reference book "Surface water resources." **Results.** A mathematical model developed on the basis of probability theory and stochastic processes emissions theory, based on the normal law of distribution of horizontal and vertical components of the instantaneous flow velocity and Rayleigh law for the distribution of their peaks is used to calculate the "turbidity plume" in the washing of the head unit settler and deep washing of Kashkhatau HPS head unit. **Conclusion.** The studies found that the negative impact of "turbidity plume" in the Cherek river will be traced for approximately 3 km.

Key words: drift transport, suspended drift, granulometric composition, current speed, drift discharge, turbulent flow, average depth

Введение. Горные и предгорные реки Кавказа, особенно в их верховьях, отличаются сравнительно быстрым течением, паводковым режимом, относительно низкими температурами в течение всего года, значительными сезонными колебаниями содержания взвешенного и влекомого материала.

Река Черек – правобережный приток р. Баксан образуется от слияния рек Черек Безенгийский и Балкарский. Истоки притоков находятся в ледниках центральной части Большого Кавказа. Соединившись в один поток, Черек Балкарский и Безенгийский текут одним руслом, лишь в отдельных местах разбиваясь на ряд рукавов. Длина реки составляет 79 км, водосборная площадь равна 3070 км². Бассейн расположен в пределах высот от 4000 м в верховьях до 350 м - в устьевой части. Площадь водосбора в створе плотины Советской (Кашхатау) ГЭС составляет 1350 км².

Материалом для проведения расчета ущерба водным биологическим ресурсам от эксплуатации Кашхатау (Советской) и Аушигерской ГЭС послужили комплексные гидробиологические исследования за ряд лет, проводившиеся ДФ ФГБНУ «КаспНИРХ», в том числе результаты гидробиологических съемок, осуществленных в районе влияния гидроэлектростанций в летне-осенний период 2015г.

При возведении каскада Нижне-Черекских ГЭС в основном русле реки Черек построены плотины Кашхатау ГЭС (головная) и Аушигерской ГЭС (резервная).

Примерное расстояние от плотины Кашхатау ГЭС до плотины Аушигерской ГЭС (по руслу реки) составляет 8 км. Расстояние от плотины Аушигерской ГЭС до точки сброса отработанной Аушигерской ГЭС воды составляет также 8 км.

Из-за забора большей части расхода реки Черек в деривацию на участке реки от водозаборной плотины Кашхатау ГЭС до точки сброса отработанной Аушигерской ГЭС воды происходит снижение площади русла реки на 68%.

Протяжённость находящегося в зоне воздействия каскада Нижне-Черекских ГЭС участка реки Черек составляет 16 км. При средней ширине русла реки 30 м, площадь русла реки Черек, подвергающегося воздействию каскада ГЭС составляет порядка 480 000 м² (или 48 га).

Потеря площади русла реки от забора большей части расхода воды в деривацию каскада Нижне-Черекских ГЭС (68%) составит 32,64 га или 326 400 м².

Для определения параметров и расчётных величин годового стока р. Черек был использован 62-х летний ряд наблюдений за стоком в опорном гидрологическом створе -Кашхатау. Параметры кривой обеспеченности и средние годовые расходы воды различной расчетной обеспеченности реки Черек в створе плотины Кашхатау ГЭС приведены в таблице 1.

Таблица 1-Параметры кривой обеспеченности и средние годовые расходы воды

| Створ | A, км ² | M ₀ , л/с·км ² | Параметры кривой обеспеченности | | | Расходы воды, м ³ /с различной обеспеченности, P, % | | | |
|---------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|--|------|------|------|
| | | | Q, м ³ /с | C _v | C _s | | | | |
| | | | 10 | 50 | 75 | 95 | | | |
| Советская ГЭС | 1350 | 30,2 | 40,8 | 0,13 | 2C _v | 47,7 | 40,6 | 37,1 | 32,6 |

Внутригодовое распределение стока р.Черек в створе плотины головного узла Советской (Кашхатау) ГЭС за характерные по водности годы приведено в таблице 2.

Таблица 2-Внутригодовое распределение стока р.Черек

| IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | Год |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Средние месячные расходы воды, м ³ /с | | | | | | | | | | | | |
| Средний по водности год | | | | | | | | | | | | |
| 15,0 | 29,9 | 72,5 | 114 | 114 | 58,6 | 23,9 | 15,9 | 12,5 | 10,8 | 10,3 | 9,85 | 40,8 |
| Маловодный год Р~75% | | | | | | | | | | | | |
| 18,8 | 34,2 | 76,6 | 96,5 | 92,9 | 48,6 | 21,8 | 14,0 | 10,9 | 10,8 | 9,18 | 8,29 | 37,1 |
| Маловодный год Р~95% | | | | | | | | | | | | |
| 16,7 | 30,3 | 65,9 | 84,2 | 85,3 | 43,7 | 19,2 | 11,9 | 9,22 | 8,83 | 7,68 | 6,53 | 32,6 |

Параметры кривой распределения вероятностей превышения максимальных расходов и расчётные расходы воды приведены в таблице 3.

Таблица 3-Параметры кривой распределения вероятности превышения

| Створ | Параметры кривой распределения вероятности превышения | | | Расходы воды (м ³ /с) различной вероятности превышения, Р% | | | | | |
|--------------------------|---|----------------|-----------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Q _{ср.макс.} , м ³ /с | C _v | C _s | 0,1 | 0,5 | 1 | 3 | 5 | 10 |
| Кашхатау (Советская) ГЭС | 202 | 0,26 | 4C _v | 459 | 392 | 364 | 319 | 309 | 271 |

При сбросе в русло реки Черек отработанной гидроэлектростанциями каскада Нижне-Черекских ГЭС воды не образуется «шлейф мутности», так как в гидроагрегаты поступает отстоянная вода, которая сбрасывается в реку с малой скоростью (кинетическую энергию воды забирают гидроагрегаты).

Постановка задачи. «Шлейф мутности» образуется при промыве отстойника головного узла Кашхатау ГЭС и при глубинном промыве головного узла Кашхатау ГЭС. Мутность смыываемой с отстойника воды составляет 41 кг/м³.

Основная часть промывов отстойника проводится в летние 3 месяца. В этот период в средний по водности год средний сток реки Черек составляет 104 м³/с. Из них в деривацию забирается 65 м³/с, на промыв отстойника расходуется 15 м³/с воды, расход оставшейся в реке воды составляет 24 м³/с.

Использованная для промывы отстойника вода с повышенной мутностью перемешивается с оставшейся в реке водой и образуется общий сток 39 м³/с. При этом мутность воды снижается и составит в месте смешивания 15,8 кг/м³.

С учётом мутности самой воды в реке (примерно 0,2 кг/м³) мутность воды в нижнем бьефе при промывке отстойника составляет 16 кг/м³.

Среднегодовая продолжительность промывы отстойника составляет 210 часов (35 промывов по 6 часов каждая). Треть (33%) создающих мутность воды наносов имеют линейные размеры не более 0,2 мм, а фракции с размерами не более 2 мм составляют 95% от общей массы смыываемых наносов.

Один раз в год в паводковый период проводится глубокий промыв наносов головного узла Кашхатау ГЭС средней продолжительностью 5 суток. Половина (50%) создающих мут-

нность воды наносов имеют линейные размеры не более 0,2 мм, а фракции с размерами не более 7 мм составляют 90% от общей массы смываемых наносов.

Во время проведения глубинного промывания наносов головного узла Кашхатау ГЭС гидростанции каскада не работают. Одновременно с глубинным промыванием наносов головного узла Кашхатау ГЭС открываются затворы на плотине Аушигерской ГЭС и мутная вода «транзитом» проходит через резервный головной узел.

В связи с тем, что резервный головной узел заполнен наносами полностью, с него практически наносы не удаляются при глубоком промывании глубинным промыванием наносов головного узла Кашхатау ГЭС.

Структура взвешенных наносов реки Черек представлен следующим гранулометрическим составом (табл.4):

Таблица 4 - Состав взвешенных наносов р. Черек

| d, мм | >2 | 2-1 | 1-0,5 | 0,5-0,2 | 0,2-0,1 | 0,1-0,05 | 0,05-0,01 | <0,01 |
|-------|-----|-----|-------|---------|---------|----------|-----------|-------|
| % | 4,4 | 6,0 | 3,8 | 18,9 | 17,1 | 8,3 | 21,6 | 19,9 |

Исходя из стохастической природы турбулентности водных потоков и случайного характера процессов распространения взвешенных наносов, при разработке математической модели транспорта взвешенных наносов турбулентным потоком при промывании отстойника головного узла и при глубинном промывании головного узла Кашхатау ГЭС, был принят стохастический подход с использованием теории вероятностей и теории выбросов случайных процессов с учетом нормального закона распределения горизонтальной и вертикальной составляющих мгновенных скоростей течения и закона Релея для распределения их максимумов [5, 8, 9, 12].

Методы исследования. Математическая модель распространения взвешенных наносов в реке Черек и алгоритм расчета расхода наносов в естественном деформируемом речном русле основаны на представлении о едином механизме движения придонных и взвешенных наносов как стохастическом процессе взаимодействия турбулентных возмущений водного потока с частицами грунта [1, 2, 3, 4, 11, 15].

О среднененная в пределах взвешивающих возмущений эффективная скорость, определяющая вертикальный перенос взвешиваемых частиц грунта, определяется по формуле:

$$\overline{(v - \omega)}_B = \frac{\sigma_v f(x_3)}{1 - \Phi(x_3)} - \omega, \quad (1)$$

Средние значения вертикальных скоростей жидкости при положительном и отрицательном выбросах, определяем по формулам:

$$\overline{v}_B^+ = \frac{\sigma_v f(x_3)}{1 - \Phi(x_3)}, \quad (2)$$

$$\overline{v}_B^- = \frac{-\sigma_v f(x_3)}{\Phi(x_3)}, \quad (3)$$

Средняя частота и средняя длительность взвешивающих выбросов вертикальной скорости жидкости, определяем по следующим зависимостям:

$$v_B^{\pi} = \sqrt{2\pi} \overline{v}_B^{\pi} f(x_3), \quad (4)$$

$$\tau_B^{\pi} = \frac{1 - \Phi(x_3)}{\sqrt{2\pi} \overline{v}_B^{\pi} f(x_3)}, \quad (5)$$

Средняя частота пульсаций лагранжевой вертикальной скорости жидкости равна:

$$\overline{v}_B^{\pi} = \frac{V}{23h}; \quad (6)$$

Среднее расстояние вдоль потока между смежными взвешивающими возмущениями в придонной области:

$$L_B = \frac{\bar{V}_\Delta}{\bar{V}_B}; \quad (7)$$

Средняя концентрация указанных возмущений над поверхностью русла:

$$\frac{1}{L_B} = \frac{\bar{V}_B^2}{\bar{V}_\Delta}; \quad (8)$$

Гидравлическую крупность частицы определяем по формуле В.Н. Гончарова[3]:

$$\omega = \frac{1}{\varphi} \sqrt{\frac{2g(\rho_g - \rho)d}{1.75\rho}}; \quad (9)$$

где d – диаметр частиц грунта, м, ρ – плотность воды, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, ρ_g – плотность материала частиц грунта, $\rho_g = 1800 \text{ кг/м}^3$, g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, φ – параметр турбулентности, зависит от крупности частиц грунта.

Дальность переноса донных и взвешенных наносов определяем по зависимостям:

$$\ell_{\text{вз}} = V_{\text{вз}} t_{\text{вз}} - \frac{(\rho_g + \rho/2)\omega^2}{g(\rho_g - \rho)} \ln \left[1 + \frac{g(\rho_g - \rho)}{(\rho_g + \rho/2)\omega^2} V_{\text{вз}} t_{\text{вз}} \right] \quad (10)$$

$$\ell_{\text{доn}} = \bar{V}_{\text{доn}} t_{\text{доn}} - \frac{(\rho_g + \rho/2)\omega^2}{g(\rho_g - \rho)} \ln \left[1 + \frac{g(\rho_g - \rho)}{(\rho_g + \rho/2)\omega^2} \bar{V}_{\text{доn}} t_{\text{доn}} \right], \quad (11)$$

Для практических расчетов взвешенных частиц формулу (10) можно использовать в виде:

$$\ell_{\text{вз}} = V_{\text{вз}} t_{\text{вз}} \quad (12)$$

В естественных речных руслах, вследствие изменения по ширине потока геометрии русла и, следовательно, гидравлических характеристик потока, а также гранулометрического состава русловых отложений, общий расход наносов определяют суммированием расходов отдельных струй по ширине потока:

$$G_T = \sum_{k=1}^{N_k} q_{T,k} b_k \quad (13)$$

$$\text{где } q_{T,k} = q_{\text{доn},k} + q_{\text{вз},k} \quad (14)$$

$q_{T,k}$, $q_{\text{доn},k}$, $q_{\text{вз},k}$ – соответственно удельные расходы руслоформирующих, донных и взвешенных наносов, b_k – ширина k -й струи.

Длину участка, на котором выпадут наносы, т.е. путь на протяжении которого выпадут наносы рассматриваемой крупности, определяем по формуле:

$$L = \frac{H}{\bar{V}_B} V_{\text{cp}}, \quad (15)$$

где H – средняя глубина на участке длиной L , \bar{V}_B – гидравлическая крупность наносов, V_{cp} – средняя скорость течения воды.

Определяя предельную концентрацию взвешенных наносов над единицей площади дна в наносонесущем слое потока, как $\rho_{NB} = N_B / L_B$, а скорость переноса их, как $V_{\text{cp}} = \ell_{\text{вз}} / t_{\text{вз}}$ с учетом параметров $P_{\text{вз}}$ и $d_{\text{вз}}$, формулу для предельного расхода взвешенных наносов используем в виде:

$$q_{\text{вз}} = q_{\text{дон}} \eta_{\text{в}} \tau_{\text{в}} V_{\text{в}} \frac{P_{\text{вз}} d_{\text{вз}} \ell_{\text{вз}}}{P_{\text{в}} d_{\text{в}} \ell_{\text{дон}}}; \quad (16)$$

Обсуждение результатов. Разработка и выполнение программ на ЭВМ осуществляется в студии разработчика Microsoft Developer Studio (MDS) на алгоритмическом языке FortranPowerStation (стандарт языка Фортран-90) [7, 8, 10].

Разработанная математическая модель распространения взвешенных наносов в русле реки Черек реализована в программном комплексе Sediment Transport Cherek.

Массив охватывает следующий диапазон изменения гидравлических характеристик потока и русла (табл.5-8): [13-14]

- Характеристики «шлейфа мутности» при промыве отстойника головного узла Кашхатай ГЭС: расход воды $Q = 39 \text{ м}^3/\text{с}$, объем наносов $V = 7400 \text{ м}^3$, глубина потока $h = 0,7 \text{ м}$, ширина потока $b = 30 \text{ м}$, средняя скорость потока $V = 1,9 \text{ м/с}$, диаметр частиц наносов $d = 0,002 \text{ м}$, мутность воды $\mu = 16 \text{ кг/м}^3$.

В результате объемы загрязняемой воды, протекающей в шлейфах взвеси с концентрацией частиц наносов выше заданной, — «проточные объемы» (ПО), м^3 получаем в виде:

Таблица 5 - Объемы загрязняемой воды

| Концентрация взвеси в воде, $\text{кг}/\text{м}^3$ | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $\geq 0,100$ | $\geq 0,050$ | $\geq 0,020$ | $\geq 0,010$ | $\geq 0,005$ | $\geq 0,001$ |
| 518400 | 259200 | 103680 | 51840 | 25920 | 5184 |

Расстояние от створа гидроузла до места выпадения осадков с концентрацией частиц наносов выше заданной, представлено в таблице 6:

Таблица 6 - Расстояние от створа гидроузла до места выпадения осадков

| Концентрация взвеси в воде, $\text{кг}/\text{м}^3$ | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Операция | $\geq 0,100$ | $\geq 0,050$ | $\geq 0,020$ | $\geq 0,010$ | $\geq 0,005$ | $\geq 0,001$ |
| L, м | 52,1 | 104,2 | 260 | 521 | 1041,7 | 5208,3 |

Таблица 7 - Время существования шлейфов взвеси с концентрацией выше заданной, час.

| Концентрация взвеси в воде, $\text{кг}/\text{м}^3$ | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $\geq 0,100$ | $\geq 0,050$ | $\geq 0,020$ | $\geq 0,010$ | $\geq 0,005$ | $\geq 0,001$ |
| 0,076 | 0,15 | 0,38 | 0,76 | 1,15 | 1,76 |

Таблица 8 - Площади дна (м^2), покрываемые слоем отложений взвешенных веществ

| Толщина слоя осадков, м | | | | | |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $\geq 0,100$ | $\geq 0,050$ | $\geq 0,020$ | $\geq 0,010$ | $\geq 0,005$ | $\geq 0,001$ |
| 1563 | 3126 | 7800 | 15630 | 31251 | 156249 |

- Характеристики «шлейфа мутности» при глубинном промыве представлены в таблицах 9-12: расход воды $Q = 100 \text{ м}^3/\text{с}$, объем наносов $V = 7400 \text{ м}^3$, глубина потока $h = 0,9 \text{ м}$, ширина потока $b = 50 \text{ м}$, средняя скорость потока $V = 2,2 \text{ м/с}$, диаметр частиц наносов $d = 0,007 \text{ м}$, мутность воды $\mu = 10,6 \text{ кг/м}^3$.

В результате объемы загрязняемой воды, протекающей в шлейфах взвеси с концентрацией частиц наносов выше заданной, — «проточные объемы» (ПО), м^3 получаем в виде показателей, представленных в таблицах 9-12.

Таблица 9 - Объемы загрязняемой воды, протекающей в шлейфах взвеси с концентрацией частиц наносов выше заданной

| Концентрация взвеси в воде, кг/м ³ | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $\geq 0,100$ | $\geq 0,050$ | $\geq 0,020$ | $\geq 0,010$ | $\geq 0,005$ | $\geq 0,001$ |
| 381600 | 190800 | 76320 | 38160 | 19080 | 3816 |

Таблица 10 - Расстояние от створа гидроузла до места выпадения осадков с концентрацией частиц наносов выше заданной

| Концентрация взвеси в воде, кг/м ³ | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Операция | $\geq 0,100$ | $\geq 0,050$ | $\geq 0,020$ | $\geq 0,010$ | $\geq 0,005$ | $\geq 0,001$ |
| L, м | 28 | 56 | 139 | 279 | 557 | 2786 |

Таблица 11 - Время существования шлейфов взвеси с концентрацией выше заданной

| Концентрация взвеси в воде, кг/м ³ | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $\geq 0,100$ | $\geq 0,050$ | $\geq 0,020$ | $\geq 0,010$ | $\geq 0,005$ | $\geq 0,001$ |
| 0,03 | 0,07 | 0,2 | 0,35 | 0,7 | 1,35 |

Таблица 12 - Площади дна (м²), покрываемые слоем отложений взвешенных веществ

| Толщина слоя осадков, м | | | | | |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $\geq 0,100$ | $\geq 0,050$ | $\geq 0,020$ | $\geq 0,010$ | $\geq 0,005$ | $\geq 0,001$ |
| 1400 | 2800 | 6950 | 13950 | 27850 | 139300 |

Вывод. Посредством проведенного имитационного моделирования были получены сведения об объемах и площадях зон влияния повышенной мутности на водные биоресурсы реки Черек.

Произведена оценка ущерба водным биоресурсам от эксплуатации Нижне-Черекских ГЭС (Кашхатау, Аушигерской). Результаты проведенных исследований показали, что негативное влияние «шлейфа мутности» при однократном смыве селевых наносов [16-17] на одной электростанции, с учетом критических показателей концентрации взвешенных веществ воде, будет прослеживаться на протяжении почти 3 км в проточном объеме около 710 тыс. м³.

Размер вреда водным биоресурсам в натуральном выражении при этом составит около 1 т за счет гибели кормовой базы рыб и ухудшения условий обитания в зоне повышенной мутности.

Библиографический список:

1. Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во МГУ. 1998. – С.95-114.
2. Барышников Н.Б., Пагин А.О. Гидравлическое сопротивление речных русел// Журнал университета водных коммуникаций. – СПб, т.2 , 2010. – С.90-93.
3. Гришин Н.Н. Механика придонных наносов. М.: Наука, 1982. – С.102-119.
4. Копалиани З.Д., Костюченко А.А. Расчеты расхода донных наносов в реках: сборник работ по гидрологии. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. – № 27. – С. 25–40.
5. Клавен А.Б., Копалиани З.Д. Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса. – СПб.: Нестор-История, 2011. – С. 103–107.
6. Магомедова М.Р. Математическое моделирование движения придонных наносов в открытых руслах: Махачкала: Алеф, Овчинников М.А., 2014. – С.53-68.

7. Магомедова А.В., Гусейнова М.Р., Насибова Н.В. Разработка программного комплекса для расчета транспорта руслоформирующих наносов в речных руслах с использованием ГИС-технологий //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки – 2009. – Т.15 – №4– С.147-157.
8. Магомедова А.В., Магомедова М.Р. О факторах, обуславливающих процесс транспорта руслоформирующих наносов //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки – 2013. – Т.29. – №2– С.58-64.
9. Магомедова М.Р. Практическое применение авторской модели транспорта минеральных частиц//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки – 2015. –Т.37, - №2 - С.84-91.
10. Магомедова А.В. Эрозионные процессы в руслах рек и каналов. – М.: ВЗПИ, 1990. – С.98-108.
11. Магомедова М.Р. Разработка программного комплекса для обработки многомерных данных движения руслоформирующих наносов // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 15. – С. 1951–1955. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/96309.htm>.
12. Магомедова М.Р. Программный комплекс для расчета расхода придонных наносов в речных руслах. А.с. 2013610555 Рос. Федерация, № 2013616724; заявл. 10.01.13; опубл. 17.06.13.
13. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – С.127-130.
14. Brian W.D., Peter F.F. Grain Size, Sediment Transport Regime, and Channel Slope in Alluvial Rivers. *The Journal of Geology*, 2011, vol. 106, no. 6, pp.662-673.
15. Benoit C., Magnus L.A General formula for non-cohesive bed load sediment transport. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2005, pp.251-258.
16. Kopaliani Z.D. Problem of bed load discharge assessment in rivers. Proc. 10-th Inter Symp. on River Sedimentation. Moscow, 2007, vol. 3, pp. 175–181.
17. Wilcock P.R., Crowe J.C. Surface-based transport model for mixed-size sediment. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2003, vol.129, no.2, pp.120-128.

References:

1. Alekseevskiy N.I. The formation and movement of river sediments. *Moscow: Moscow State University*. 1998, pp.95-114. (In Russian)
2. Baryshnikov N.B., Pagin A.O. Hydraulic resistance of river channels. *Zhurnal universiteta vodnyh kommunikacij. St. Petersburg* [Journal of University of water communications] 2010, vol. 2, pp. 90-93. (In Russian)
3. Grishin N.N. The mechanics of the bottom sediment. *Moscow: Nauka*, 1982, pp.102-119. (In Russian)
4. Kopaliani Z.D., Kostyuchenko A.A. Calculations of the flow bed load in rivers: a collection of papers on hydrology. *St. Petersburg: Gidrometeoizdat*, 2004, no. 27, pp.25-40. (In Russian)
5. Klaven A.B., Kopaliani Z.D. Experimental studies and hydraulic modeling of river flows and channel process. *St. Petersburg: Nestor-Istoriya*, 2011, pp.103-107.
6. Magomedova M.R. Matematicheskoe modelirovanie dvizhenija pridonnnyh nanosov v otkrytyh ruslakh. [Mathematical modeling of the bottom sediment motion in open channels]. *Makhachkala: Aleph, M.A Ovchinnikov*, 2014, pp.53-68. (In Russian)
7. Magomedova A.V., Huseynova M.R, Nasibova N.V. Development of software for transport calculation river bed forming sediments in river beds using GIS technologies. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of

Daghestan State Technical University. Technical science.] 2009, vol.15, no.4, pp.147-157. (In Russian)

8. Magomedova A.V., Magomedova M.R. Factors that determine the process of river bed forming sediment transport. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science], 2013, vol.29, no.2, pp.58-64. (In Russian)

9. Magomedova M.R. The practical application of the author's model of mineral particles transport. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science], 2015, vol.37, no.2, pp.84-91. (In Russian)

10. Magomedova A.V. Jerozionnye processy v ruslakh rek i kanalov. [Erosion processes in rivers and canals]. Moscow: VZPI, 1990, pp.98-108. (In Russian)

11. Magomedova M.R. Development of software for processing of multidimensional data of river bed forming sediments movement. *Scientific and methodical electronic journal "Concept"*, 2016, vol.15, pp.1951-1955. URL:<http://ekoncept.ru/2016/96309.htm>. (In Russian)

12. Magomedova M.R. Software for calculating the flow rate of bottom sediment in the river beds. AS 2013610555 R.Federation, number 2013616724; appl. 01/10/13; publ. 06.17.13. (In Russian)

13. Rzhanitsyn N.A. Rusloformirujushchie processy rek. [River bed forming processes]. *Leningrad: Gidrometeoizdat*, 1985, pp.127-130 (In Russian)

14. Brian W.D., Peter F.F. Grain Size, Sediment Transport Regime, and Channel Slope in Alluvial Rivers. *The Journal of Geology*, 2011, vol. 106, no. 6, pp.662-673.

15. Benoit C., Magnus L. A general formula for non-cohesive bed load sediment transport. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2005, pp.251-258.

16. Kopaliani Z.D. Problem of bed load discharge assessment in rivers. *Proc. 10-th Inter Symp. on River Sedimentation. Moscow*, 2007, vol. 3, pp. 175–181.

17. Wilcock P.R., Crowe J.C. Surface-based transport model for mixed-size sediment. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2003, vol.129, no.2, pp.120-128.

Сведения об авторах.

Григорьян Ольга Петровна – заместитель директора по научной работе.

Магомедова Милада Руслановна – кандидат технических наук, декан факультета нефти, газа и природообустройства, докторант кафедры строительных конструкций и гидротехнических сооружений архитектурно-строительного факультета.

Authors information.

Olga P. Grigoryan – the Deputy Director on scientific work.

Milada R. Magomedova – candidate of technical Sciences, Dean of the faculty of oil, gas and environmental engineering, doctoral student in building structures and hydraulic structures of the Faculty of Architecture and Construction.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 01.06.2016.

Conflict of interest

Received 01.06.2016.

Принята в печать 10.08.2016.

Accepted for publication 10.08.2016.

Для цитирования: Кадиев И.П., Кадиев П.А. СПОСОБ ЗАДАНИЯ ПРАВИЛ ИНДЕКСАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):101-109. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-101-109

For citation: Kadiev I. P., Kadiev P.A. METHOD OF SETTING THE RULES OF MATRIX CONFIGURATIONS ELEMENTS INDEXING. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):101-109. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-101-109

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.6

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-101-109

Кадиев И.П.¹, Кадиев П.А.²

¹Национальный банк Республики Дагестан ЦБ РФ,
367000, г. Махачкала, ул. Даниялова, 29,

²Дагестанский государственный технический университет,
367015, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70

^{1,2}e-mail:islam-kadi@mail.ru

СПОСОБ ЗАДАНИЯ ПРАВИЛ ИНДЕКСАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ

Аннотация. Цель. Разработать способ задания правил индексации элементов матричных комбинаторных конфигураций. Методы. Приведены примеры использования предлагаемых правил при перестановках элементов матричных комбинаторных конфигураций, определены семейства полученных конфигураций, сформированных по отдельным элементам, при условии расположения элемента на каждой из возможных позиций в конфигурации, определено число возможных вариантов создания конфигураций с заданным индексным окружением, образующих отдельные семейства.

Результат. Предложен способ задания правил индексации элементов матричных комбинаторных конфигураций в виде функциональных зависимостей индексов элементов окружения элемента в конфигурации от индексов элемента, рассматриваемого как «центральный». Предложен общий вид функциональных зависимостей индексов элементов окружения от индексов любого элемента конфигурации, рассматриваемого как «центральный». Введено понятие «индексной удаленности» элементов и коэффициент индексной удаленности, определены границы его значений. **Вывод.** Перестановки с заданной индексацией окружения элементов могут рассматриваться как базовые комбинаторные конфигурации, с которых может быть организовано считывание данных по различным алгоритмам: по строкам, по столбцам, по детерминированным или случайным маршрутам, что обеспечивает дополнительное повышение стойкости раскрытию информации.

Ключевые слова: индексация элементов комбинаторных конфигураций, индексное окружение элементов, коэффициент индексной удаленности элементов окружения, перестановки элементов матричных комбинаторных конфигураций с заданной индексацией окружения, свойства и семейства конфигураций

Islamuddin P. Kadiev¹, Pashay A.Kadiev²

¹National Bank of the Republic of Dagestan of
the Russian Federation Central Bank,
29. Daniyalov Str., Makhachkala, 36700,
Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
^{1,2}e-mail:islam-kadi@mail.ru

METHOD OF SETTING THE RULES OF MATRIX CONFIGURATIONS ELEMENTS INDEXING

Abstract. Aim. Develop a way to define the rules of indexing elements of combinatorial matrix configurations. **Methods.** Introduced are the proposed rules use examples during elements permutation of matrix combinatorial configurations defined are families of derived configurations, formed by the individual elements, provided the element location in each possible positions of the configuration, determined is the number of possible configurations forming variants with the specified index environment, forming separate families. **Results.** This article provides a method of setting the rules combinatorial matrix configurations elements indexing in the form of functional indices dependencies of environment elements of an element in the configuration from element indices, considered as a «central». A general view of the functional dependence of the index of elements surrounding the indices of any configuration item, regarded as a «central» is presented. The concept of elements «index remoteness» and the index remoteness coefficient, defined are the limits of its values. **Conclusion.** Permutations a predetermined environment indexing element may be considered as basic combinatorial configuration with which the reading of data by various algorithms can be arranged: in rows, in columns, in a deterministic or random routes that provides an additional increase in resistance disclosure.

Key words: indexing elements of combinatorial configurations, index the environment of the elements, the coefficient of the index of remoteness of the elements of the environment, permutation of the elements of the matrix of combinatorial configurations with a given indexing environment, properties and family configurations

Введение. Одной из базовых задач комбинаторной математики является создание и исследование свойств новых комбинаторных комбинаций, которые часто рассматриваются как модели таких объектов и как массивы данных.

В прикладных задачах ставятся и решаются вопросы формирования из исходных конфигураций новых, путем перестановок в таких образованиях местами как элементов, так и строк или столбцов. Исследования вопросов, связанных с перестановками элементов матричных конфигураций размерности $n \times n$, известны с давних пор и отражены в соответствующих источниках литературы [1,2,3,4,5,14].

Результаты проведенных исследований в основном раскрывали категории, такие как магические матрицы, латинские квадраты Л.Эйлера и его же задачи о построении квадрата из 35 офицеров разных рангов, шеренги которого включают офицеров всех рангов [7], методы сортировки элементов числовых конфигураций, такие как метод «пузырьков», метод хода шахматного коня и другие [1,6,9]. При этом перестановки элементов предлагалось выполнять по определенным правилам, с определенной закономерностью, обеспечивающей решение поставленной задачи - получение конфигураций, обладающих определенными свойствами.

Обзор существующих методов сортировки или перестановок элементов комбинаторных конфигураций матричного типа показал, что нет метода, основой которого является закономерность индексации элементов окружения: зависимость индексов окружения элемента комбинаторной конфигурации от индексов этого элемента.

Постановка задачи. Разработать способ задания правил индексации элементов матричных комбинаторных конфигураций, в основе которых функциональная зависимость индексаций элементов окружения от индексов элемента.

Для формирования абстрактных объектов типа матричных комбинаторных конфигураций должны быть заданы правила перестановки элементов. Правило перестановки может сформулировано в виде закономерности индексации элементов в формируемых конфигурациях. В данной работе рассматриваются вопросы формирования конфигураций, в основе которых находится зависимость индексации элементов окружения любого элемента от индексов этого элементов.

Методы исследования. Для любой вновь формируемой конфигурации в комбинаторике требуется задание правил ее построения. В основу построения конфигурации могут быть положены правила индексации элементов. Они могут быть представлены в виде функциональной

зависимости индексов элементов, окружающих каждый элемент конфигурации, от индексов этого элемента. Требованиями к процессу перестановок элементов в таких конфигурациях являются сохранение правил индексации при любых перестановках элементов.

Для определения правил индексации элементов окружения элемента в функции от индексов этого элемента нами рассмотрены существующие конфигурации, в которых эти правила отражены [14,15].

Поставленная задача относится к числу класса задач математической комбинаторики, известных как задачи создания системы представительств [6], разработки новых комбинаторных конфигураций, обладающих определенными свойствами, заключающимися в особенностях индексного расположения их элементов.

Индексация – присвоение каждому объекту в группе конечных множеств указателя, определяющего принадлежность к определенной группе объектов, групповой указатель – групповой индекс, образующих множество, являющееся строкой или столбцом матричной конфигурации и индивидуальный указатель – индивидуальный индекс, отличающий данный элемент в этой группе от других.

Назначение индексации чаще всего ассоциируется с поиском элемента в массивах. Однако она позволяет выполнять и такие важные функции как, определение изменений в структуре массивов после их преобразований, сравнение структур различных массивов. При известных правилах индексации, индекс элемента характеризует и индексы элементов его окружение в строках и столбцах конфигурации. При системном рассмотрении абстрактных объектов, к которым относятся матричные комбинаторные конфигурации, индексация характеризует связи между элементами, порядок их расположения – структуру конфигурации, как объекта системного исследования.

Правила индексации, если они заданы, должны определять связи индексов элементов, расположенных непосредственно вокруг данного элемента в строках и столбцах, т.е. связи индексов элементов «окружения» с индексами рассматриваемого элемента. Эти связи должны быть отражены в виде функциональных зависимостей между индексами отдельных элементов и индексами элементов их «окружения».

В качестве примера можно привести вид этих зависимостей для матричных конфигураций с классической индексацией для элемента A_{ij} . Эти зависимости отражены на рис.1.



Рисунок 1 - Зависимости для матричных конфигураций с классической индексацией для элемента A_{ij}

Из рис.1 следует, что первые индексы элементов «окружения» в строках остаются неизменными, а вторые меньше и больше индекса элемента на единицу.

Для элементов окружения по столбцам - вторые совпадают с индексом элемента, первые больше и меньше на единицу. Эти правила индексации являются общепринятыми для комбинаторных конфигураций и являются правилами «классической» индексации.

В процессе перестановок элементов меняются местоположение элементов, нарушается «классическая» индексация. Нарушение «классической» индексации может быть с изменением

структуры комбинаторной конфигурации, в виде изменения индексного «окружения» элементов, либо с ее сохранением. Преобразования с изменением «классической» индексации имеет место при изменении местоположения хотя бы одного элемента, так как в полученной конфигурации индексы некоторых элементов не определяют их местоположение.

При преобразованиях без изменения структуры состав и индексные связи элементов с их «окружением» сохраняются, но при этом все элементы конфигурации меняют свое местоположение, что обеспечивает сохранение целостности индексного окружения элементов.

Такие изменения можно рассматривать как «жесткие» преобразования комбинаторных конфигураций, так как при этом с изменением местоположения одного элемента меняется местоположение всех элементов.

Представляет интерес возможность задания некоторых общих функциональных зависимостей индексации элементов «окружения» от индексов любого элемента конфигурации, рассматриваемого в качестве «центрального», расположенного на любой из позиций в комбинаторной конфигурации и, связанные с постоянством индексации, окружения свойствами комбинаторных конфигураций.

Одной из причин постановки задачи о правилах индексации окружения элементов комбинаторных конфигураций матричного типа, послужили результаты, полученные авторами в работах [14,15].

Так в [15] были отмечены закономерности зависимости индексов окружения от индексов любого из элементов этих комбинаторных конфигураций. Виды этих зависимостей, соответствующие двум транспонированным конфигурациям, приведены на рис.2. Как следует из рис.2, индексы элементов окружения элемента $A_{i,j}$ в строках, меняются симметрично, возрастаю и уменьшаясь на единицу.

В столбцах эта же закономерность сохраняется только для первого индекса, второй индекс меняется, уменьшаясь и увеличиваясь, соответственно на число 2.

Во втором варианте изменения индексации окружения, характерные для строк и столбцов взаимно меняются.

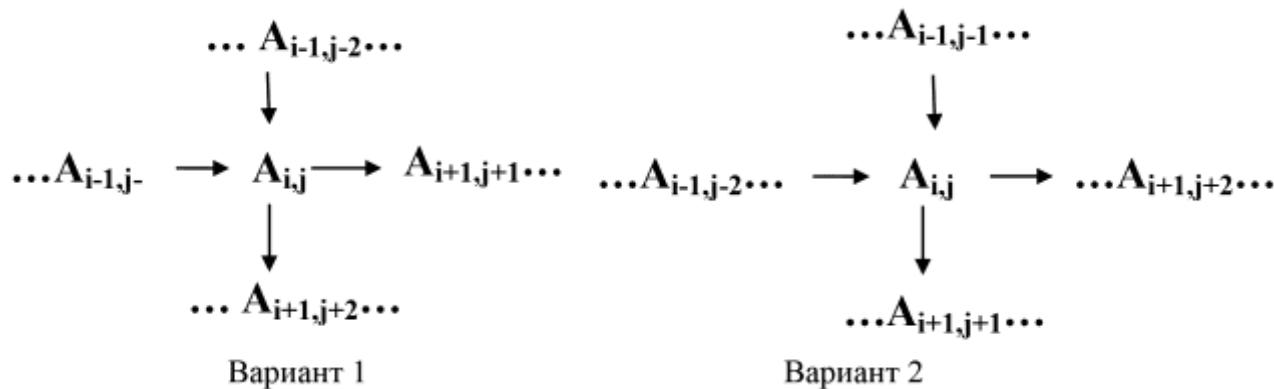


Рисунок 2 - Транспонированные конфигурации

В качестве особенностей в этой закономерности следует отметить, что суммирование по строкам и столбцам при определении индексов элементов окружения выполняется по модулю размерности комбинаторной конфигурации. Для квадратных конфигураций размерности $n \times n$, при $i+k, j+k > n$ суммирование выполняется по модулю $\text{mod } n$.

Приведенные на рис.2 правила индексации окружения элемента комбинаторной конфигурации позволяют сделать вывод о существовании общей закономерности в виде функциональных зависимостей индексов окружении от индексов «центрального» элемента независимо от местоположения этого элемента в структуре конфигурации.

Анализ закономерностей в индексации окружения, приведенный на рис.2, позволил предложить общую закономерность связи индексов «центральных» элементов и индексов элемента их «окружения».

Вид этой закономерности представлен на рис.3.

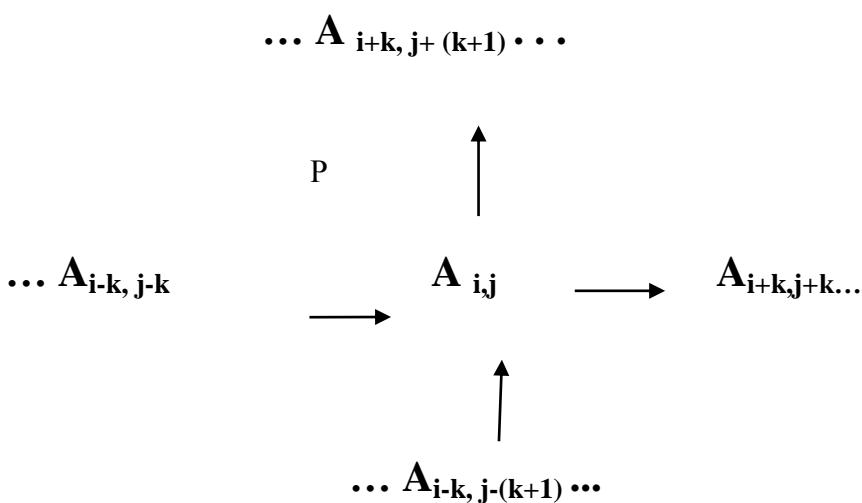


Рисунок 3 - Закономерность связи индексов «центральных» элементов и индексов элемента их «окружения»

Для выявления общей закономерности зависимости индексов «окружения» от индексов «центрального» элемента A_{ij} , в качестве которого может рассматриваться любой элемент матричной конфигурации, введен коэффициент индексного удаления k , который характеризует расстояние индексного «расхождения» или индексного «удалении» элементов «окружения» от индексов «центрального» элемента. Значение этого коэффициента, как показал анализ, выбирается из условия, что $k \leq (n-2)$, т.е. из ряда натуральных чисел $1, 2, \dots, (n-2)$. Так же как и на рис.2, суммирование значений индексов выполняется по модулю размерности комбинаторной конфигурации n , при значениях сумм больших размерности.

Из рис.3 следует, что индексы элементов окружения элемента A_{ij} «удалены» от индексов этого элемента на расстояние равное значению коэффициента индексного расхождения k . Обобщая выше приведенное можно отметить, что задание правил перестановок элементов конфигураций типа $n \times n$ -массивов, сохраняющих правило индексации «окружения», сводится к заданию функциональных зависимостей значений индексов элементов «окружения» от индексов базового или центрального элемента в приведенном выше на рис.3 виде. Определяющим это «расхождение» является коэффициент k .

Алгоритмы формирования конфигураций с заданными правилами определения индексов элементов окружения, сводится к последовательному её «развертыванию» относительно любого из выбранных в качестве «центрального» или «базового» элемента, используя выбранную функциональную закономерность индексации окружения. При этом исходная индексация и новое местоположение «базового» элемента должно быть предварительно задано.

Таким образом, предлагаемый способ задания организации перестановок элементов комбинаторной конфигурации матричного типа, заданием правил индексации элементов окружения некоторого «базового» элемента, в отличие от используемого часто табличной формы, указывающей местоположение элементов после перестановок, которое изменяет структуру конфигурации, сохраняет исходное правило индексации окружения элементов.

Это правило обеспечивает изменение местоположения всех элементов комбинаторной конфигурации, при изменении местоположения хотя бы одного из них. Кроме того, результаты,

приведенные в [1], могут рассматриваться как частный случай предлагаемого способа задания правил индексации элементов, соответствующий значению коэффициента индексной удаленности $k=1$. Это позволяет выполнить сравнение затрат на выполнение преобразования методами циклических сдвигов и с заданными правилами индексации окружения.

Предлагаемое правило может быть рекомендовано к применению при необходимости сохранения структуры исходной конфигурации при изменениях местоположения ее элементов в конфигурациях матричного типа $n \times n$. Задачи этого класса часто необходимо решать при перестановках элементов информационных массивов при скремблировании.

Задание правил перестановок без изменения структуры исходной конфигурации, т.е. с сохранением правил индексации окружения, заключается в:

- указании индексов «базового» элемента, вокруг которого «развертывается» конфигурация;
- задании правил индексации в виде функциональной зависимости индексов окружения от индексов «базового» элемента;
- указании местоположения «базового» элемента в формируемой конфигурации.

«Базовый» элемент исходной конфигурации, относительного которого формируется новая преобразованная конфигурация по заданному правилу индексации, определяет общую структуру матричной конфигурации, как модели массива, после перестановок. Он может располагаться на любой из числа $n \times n$ выбранной позиций в формируемой конфигурации. Перемещаясь в формируемых конфигурациях «базовый» элемент из одной позиции в другую, можно создать для каждой позиции характерный для нее конфигурацию, с заданной индексацией окружения.

Комбинаторные конфигурации и соответствующие им массивы объектов различной природы, сформированные перемещениями одного и того же «базового» элемента по всем $n \times n$ -позициям исходной конфигурации, образуют семейство с общим «базовым» элементом. «Базовый» элемент в таких семействах является «мобильным». Он менять свое местоположение при задании структуры формируемой конфигурации, занимая в каждой конфигурации одно из $n \times n$ позиций. Общее число конфигураций, формируемых каждым «базовым» элементом, будет равно числу позиций в исходной конфигурации или массиве – $n \times n = n^2$.

Так как в качестве мобильного «базового» элемента может быть выбран любой из $n \times n$ элементов, образующих исходную матричную конфигурацию, каждый из них позволяет сформировать n^2 конфигураций, которые можно рассматривать как семейства массивов, с соответствующим мобильным «базовым» элементом. Общее число семейств конфигураций равно n^2 , общее число всех возможных вариантов формирования конфигураций с заданной функциональной зависимостью индексного окружения, с различными структурами расположения элементов определяется числом n^4 .

На общее количество различных по структуре, местоположению элементов исходной матричной конфигурации после перестановок, конфигураций влияет и коэффициент индексного удаления элементов окружения – k , увеличивая их до числа $(n-2) \times n^4$.

Обсуждение результатов. Области применения предлагаемых результатов могут быть самыми различными. Общность областей состоит в том, что в них рассматриваются различные варианты расположения объектов, образующих исходный массив, рассматриваемый как комбинаторная конфигурация. Это может быть расположение оборудования на определенной территории, расписания, варианты формирования групп независимых экспертов - составление систем представительств; расположение элементов информационных массивов при скремблировании; планирование экспериментов и т.д. [8].

В последние годы вопросы формирования комбинаторных конфигураций из элементов массивов являются особенно актуальными в теории информации. Перестановки элементов в

информационных массивах стали базовыми операциями при скремблировании потоков данных; при ограничении несанкционированного доступа к данным; при передаче по открытым каналам связи с использованием турбо-кодирования (коммерческое телевидение, сотовая связь). Так, при решении вопросов выбора методов перестановки, особенно при защите информации от несанкционированного доступа, важнейшим фактором является фактор стойкости защиты, способность противостоять попыткам несанкционированного доступа и использования.

Одним из самых распространенных способов противостоять этим попыткам является частная смена ключей-правил перестановки, каждый из которых обеспечивает реализацию того или иного варианта перестановок: чем больше этих ключей - вариантов перестановки, чем чаще их меняют, тем более стойкой является защита [10,11,12,13]. Исходя из этого, в работе особое внимание уделено вопросам определения возможного числа вариантов перестановок элементов массива, числа вариантов построения предлагаемых конфигураций.

Вывод. Сравнительный анализ существующих методов перестановок и предложенные в работе решения показывают, что они отличаются новизной, причем число вариантов структурного многообразия построения превышает используемые на практике. Можно отметить еще одну особенность предлагаемых решений – перестановки с заданной индексацией окружения элементов. Они могут рассматриваться как базовые комбинаторные конфигурации, с которых может быть организовано считывание данных по различным алгоритмам: по строкам, по столбцам, по детерминированным или случайным маршрутам, что обеспечивает дополнительное повышение стойкости раскрытию передаваемых по каналам данных или данных, пред назначенных для хранения. Представляют интерес также результаты исследования комбинаторных конфигураций, полученных при различных значениях коэффициента индексного удаления элементов окружения, их структурные особенности и дополнительные свойства.

Библиографический список:

1. Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика. - М.: Мир, 1980. - 476 с.
2. Чебраков Ю.В. Теория магических квадратов – СПб.: СПб. Гос. тех. университет, 2008, 367с.
3. Электронный ресурс <http://pmpu.ru/vf4/algebra2:cyclic>
4. Андерсон Джеймс. Дискретная математика и комбинаторика = Discrete Mathematics with Combinatorics. - М.: «Вильямс», 2006. - С. 960.
5. Ерош И.Л. Дискретная математика. Комбинаторика. СПб.: СПбГУАП, 2001. - 374 с.
6. Стенли Р. Перечислительная комбинаторика. Деревья, производящие функции и симметрические функции = Enumerative Combinatorics. Vol. 2. — М.: «Мир», 2009. - С. 767.
7. Кадиев И.П., Кадиев П.А. Циклические методы индексной сортировки элементов массивов данных//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. -Т.36 - №1- с.79-83.
8. Кадиев И.П., Кадиев П.А. Об одном классе комбинаторных конфигураций// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013.- Т.31, - №4- С.45-49
9. Кадиев И.П., Кадиев П.А., Мирзабеков Т. М. Пакет программ для скремблирования информационного потока//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016. - Т.41- №2 - с.83-93.
10. Crapo H., Senato D. Algebraic Combinatorics and Computer Science, Springer, 2006, pp. 320-379.

11. Mark Jerrum, Alistair Sinclair and Eric Vigoda. A polynomial-time approximation algorithm for the permanent of a matrix with nonnegative entries, *J. ACM*, 2004, vol.51, no. 4, pp.671-697.
12. Roswitha Blind, Peter Mani-Levitska. Puzzles and polytope isomorphisms. *Aequationes Mathematicae*. 19876, vol.34, no.2-3, pp.287–297. DOI:10.1007/BF01830678
13. Cook William, Paul D. Seymour. Polyhedral Combinatorics. *American Mathematical Society*. 1989, (DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science), pp.120-146.
14. Francisco Santos Leal. A counterexample to the Hirsch conjecture. *Annals of Mathematics. Princeton University and Institute for Advanced Study*, 2011, vol.176, no.1, pp. 383–412. DOI:10.4007/annals.2012.176.1.7.
15. Gil Kalai. A simple way to tell a simple polytope from its graph. *Journal of Combinatorial Theory*. 1988, vol.49, no.2, pp.381–383. DOI:10.1016/0097-3165(88)90064-7.

References:

1. Reinhold E., Nivergelt Yu, Deo N. Combinatorial algorithms. Theory and practice. – Moscow: Mir. 1980, 476 p. (In Russian)
2. Chebrakov Y. The theory of magic squares. St. Petersburg: St. Petersburg. Gosudarstvennyj tehnicheskij universitet, 2008, 367p. (In Russian)
3. Electronic resource <http://pmpu.ru/vf4/algebra2:cyclic> (In Russian)
4. Anderson James. Discrete mathematics and combinatorics = Discrete Mathematics with Combinatorics. Moscow: Vil'jams, 2006, p.960.
5. Erosh IL Discrete Mathematics. Combinatorics. St. Petersburg: SPbGUAP, 2001, 374 p. (In Russian)
6. Stanley R. Combinatorial Enumeration. The trees, generating functions and symmetric functions = Enumerative Combinatorics. vol. 2. Moscow: Mir, 2009, pp.767.15.
7. Kadiev I.P., Kadiev P.A. About one class of combinatorial configurations. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. 2013, vol.31, no.4, pp.45-49. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2013-31-4-45-49
8. Kadiev I.P., Kadiev P.A. Cyclical methods of sorting the index elements datasets. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. 2015, vol. 36, no.1, pp.79-83. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2015-36-1-79-83
9. Kadiev P.A., Kadiev P.I., Mirzabekov T.M. The software package for data stream scrambling. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. 2016, vol.41, no.2, pp.83-93. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2016-41-2-83-93
10. Crapo H., Senato D. Algebraic Combinatorics and Computer Science, *Springer*, 2006, pp. 320-379.
11. Mark Jerrum, Alistair Sinclair and Eric Vigoda. A polynomial-time approximation algorithm for the permanent of a matrix with nonnegative entries, *J. ACM*, 2004, vol.51, no.4, pp.671-697.
12. Roswitha Blind, Peter Mani-Levitska. Puzzles and polytope isomorphisms. *Aequationes Mathematicae*. 19876, vol.34, no.2-3, pp.287–297. DOI:10.1007/BF01830678
13. Cook William, Paul D. Seymour. Polyhedral Combinatorics. *American Mathematical Society*. 1989, (DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science), pp.120-146.

14. Francisco Santos Leal. A counterexample to the Hirsch conjecture. *Annals of Mathematics. Princeton University and Institute for Advanced Study*, 2011, vol.176, no.1, pp. 383–412. DOI:10.4007/annals.2012.176.1.7.
15. Gil Kalai. A simple way to tell a simple polytope from its graph. *Journal of Combinatorial Theory*. 1988, vol.49, no.2, pp.381–383. DOI:10.1016/0097-3165(88)90064-7.

Сведения об авторах.

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

Кадиев Пашай Абдулгамидович – кандидат технических наук, профессор кафедры управления информатикой в технических системах.

Authors information.

Islamuddin P.Kadiev – leading specialist in the field of information protection of information-analytical Department of management of inspection of commercial organizations.

Pashay A. Kadiev – candidate of technical Science, Professor of the Department of Informatics in technical systems.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 17.06.2016.

Принята в печать 30.07.2016.

Conflict of interest

Received 17.06.2016.

Accepted for publication 30.07.2016.

Для цитирования: Мамедбеков С.Н., Омаров А.О., Раджабов Р.Г. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕВОДА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ТОЧЕК С ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЛИПСОИДА НА ПЛОСКОСТЬ В КОНФОРМНОЙ ПРОЕКЦИИ ГАУССА-КРЮГЕРА. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):110 -118. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-110-118

For citation: Mamedbekov S.N., Omarov A.O., Radjabov R.G. GEODETIC POINTS COORDINATES TRANSITION SIMULATION FROM THE ELLIPSOID SURFACE INTO THE SPACE CONFORMAL GAUSS-KRUGER PROJECTION. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):110-118. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-110-118

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК: 528.2/3

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-110-118

Мамедбеков С.Н.¹, Омаров А.О.², Раджабов Р.Г.³
¹⁻³Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
¹e-mail:mamedbekov-salman@mail.ru ²e-mail:o.arif@mail.ru
³e-mail:radzhabov@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕВОДА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ТОЧЕК С ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЛИПСОИДА НА ПЛОСКОСТЬ В КОНФОРМНОЙ ПРОЕКЦИИ ГАУССА-КРЮГЕРА

Аннотация. Цель. Произвести расчет динамики изменения разностей абсцисс и ординат по широте и анализ результатов перевода геодезических координат точек в плоские координаты в конформной проекции Гаусса-Крюгера. Рассмотрены классические формулы конформной проекции. Методы. С применением систем спутникового позиционирования, измеряемые величины (псевдодальности) переводятся в координаты точек позиционирования в пространственную прямоугольную геоцентрическую систему координат X, Y, Z. Далее координаты точек из этой системы переводятся в геодезическую систему координат на определенной модели эллипсоида B, Li H, затем их переводят в плоские прямоугольные системы координат x, y. В статье приведены классические формулы и методика перевода из геодезической системы координат в плоскую прямоугольную зональную систему в конформной проекции Гаусса-Крюгера. Результат. С целью визуализации, результаты вычислений перевода координат приведены графически с дискретностью по широте в один градус. Из приведенного расчета следует, что разности абсцисс точек имеют линейную положительную динамику на средних широтах и нелинейную положительную и отрицательную динамику от экватора к полюсу соответственно. Определена линейность отрицательной динамики разностей ординат от экватора до средних широт, а на северных широтах эти разности имеют нелинейный отрицательный характер. Вывод. Доказано, что только прямоугольные координаты на плоскости, будучи также изометрическими, создают сеть из равных квадратов.

Ключевые слова: проекции Гаусса-Крюгера, конформные проекции, изометрические координаты, степенные ряды

Salman N.Mamedbekov¹, Arif O.Omarov², Rustam G.Radjabov³
Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
¹e-mail:mamedbekov-salman@mail.ru, ²e-mail:o.arif@mail.ru,
³e-mail:radzhabov@mail.ru

GEODETIC POINTS COORDINATES TRANSITION SIMULATION FROM THE ELLIPSOID SURFACE INTO THE SPACE CONFORMAL GAUSS-KRUGER PROJECTION

Abstract. Aim. In this paper we calculated the abscissa dynamics and ordinate of differences in latitude and analysis geodetic points coordinates in the ellipsoid coordinates into the conformal Gauss-Kruger projection. It is described the classical formula of conformal projection. **Methods.** Coordinate transition from one system to another in geodesy is the most urgent task that we faces to every day. Currently, especially the use of satellite positioning systems, the measured values (pseudo) are converted into coordinates of positioning points of rectangular geocentric coordinate system X, Y, Z. Next, the points coordinates from this system are converted to geodetic coordinate system to a particular model of the ellipsoid B, L and H, then they are transferred to a flat, rectangular coordinate system x, y. Below are the classic formula and transition method from geodetic coordinate system to a space rectangular zonal system in conformal Gauss-Kruger projection are given. **Results.** In order visualization of the translation coordinate computation results are given graphically according to latitude one degree. From given calculation that the difference between the x-points have a linear positive trend on the mid-latitudes and the positive and negative non-linear dynamics of the equator to the pole, respectively. The linearity of the negative dynamics of the ordinate differences from the equator to middle latitudes and on the northern latitudes, these differences have a nonlinear negative. **Conclusion.** It is found that only a rectangular coordinate on the plane, being well isometric create a network of equal squares.

Key words: Gauss-Kruger projection, conformal projection, isometric coordinates power series

Введение. Наиболее актуальной задачей геодезии является преобразование координат точек из одной системы в другую с известной точностью.

Результаты спутниковых измерений обрабатываются при помощи специальных компьютерных программ, которые рассчитывают перевод пространственных координат X, Y, Z точек полученных при обработке результатов первичных измерений в геодезические B,L,H, на определенной математической модели эллипсоида со своими характеристиками, с последующим переводом на плоские системы координат связанные с этой моделью. Модель эллипсоида выбирают в соответствии с поставленными задачами.

Постановка задачи. В данной работе поставлена задача моделирования графической визуализации, оценки динамики изменения абсцисс и ординат с интервалом в один градус широты в конформной проекции Гаусса-Крюгера на крайнем меридиане шестиградусной зоны.

Выбор геодезических проекций связан с определением величин искажений и простоты их учета [1]. Основным требованием при выборе геодезической проекции является легкость и удобство учета искажений. Однако этим требованием еще не определяется характер и вид проекции. Более значимым условием конформных проекций является сохранение подобия в бесконечно малых частях [1-4].

Проекция Гаусса - Крюгера определяется следующими условиями:

1. Проекция Гаусса - Крюгера конформна, т. е. масштаб изображения постоянен в данной точке и, следовательно, зависит только от координат пункта.
2. Осевой меридиан каждой зоны изображается на плоскости прямой линией, принимаемой за ось абсцисс.
3. Начало координат в каждой зоне выбирается в точке пересечения изображения осевого меридиана с изображением экватора. Ось ординат совпадает с изображением экватора.
4. Масштаб изображения осевого меридиана равен 1, т. е. осевой меридиан изображается на плоскости без искажения.
5. Для точек осевого меридиана абсциссы равны дугам меридиана, отсчитанным от экватора.

Методы исследования. Ниже описаны формулы и методика перевода геодезических координат точек с поверхности выбранной математической модели Земли на плоскость шестиградусной зоны в проекции Гаусса-Крюгера. В качестве математической модели Земли во всем мире принят эллипсоид вращения. Подобных математических моделей эллипсоидов в мире используется большое количество, в частности, в системах спутникового позиционирования применяют модели WGS 84(GPS) и модель ПЗ 90 (ГЛОНАСС). Координаты пунктов опорных геодезических сетей I-кл переносят с эллипсоида на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера в следующем порядке [1-3]:

- от геодезических координат начального пункта сети переходят к прямоугольным координатам Гаусса - Крюгера, одновременно вычисляют Гауссово сближение меридианов γ ;
- от длины геодезической линии и ее азимута в начальном пункте переходят к длине и дирекционному углу хорды;
- от углов между геодезическими линиями переходят к углам между хордами их изображений на плоскости.

Выполняя эти действия, получают геодезическую сеть прямолинейных треугольников на плоскости, а затем ее уравнивают по способу наименьших квадратов и вычисляют прямоугольные координаты всех вершин [4].

Отображение поверхности земного сфера в конформной проекции на плоскости – значит установить закономерное соответствие между точками поверхности и плоскости так, чтобы соответствующие углы малых геометрических фигур сфера и плоскости были равны, а стороны пропорциональны. В теории геодезических проекций главное заключается в установлении указанного точечного соответствия, т. е. в определении координат на плоскости по заданным геодезическим и, наоборот. Общие уравнения соответствия между геодезическими и плоскими координатами могут быть выражены следующими общими математическими зависимостями:

$$\begin{aligned} x &= f_1(B, L) \\ y &= f_2(B, L) \end{aligned} \tag{1}$$

где, B и L геодезические координаты точки.

В проекции Гаусса - Крюгера, поверхность эллипсоида разбивается на зоны. Математические выкладки упрощаются, если заменить в выражении (1) долготы данного и осевого меридиана через их разности $l=L-L_0$, и геодезическую широту B - через изометрическую широту, обозначив ее q . Допустим, что указанные преобразования уже выполнены, тогда уравнения (1) примут вид:

$$\begin{aligned} x &= x(q, l) \\ y &= y(q, l) \end{aligned} \tag{2}$$

Новообразовавшаяся система координат (q, l) на эллипсоиде обладает тем свойством, что при $d_q = d_l$ поверхность разбивается на сеть бесконечно малых квадратов, площади, которых между собой не равны, так как они зависят от местоположения квадратов на поверхности, кривизна которой меняется от точки к точке.

Такая координатная сеть называется изометрической, а система (q, l) - изометрической системой координат на сфере. Только прямоугольные координаты на плоскости, будучи также изометрическими, создают сеть из равных квадратов.

Изометрические координаты обладают симметричностью [2], т. е. при перестановке координат изометрическая сеть не меняется. Путем обращения уравнений (2) в отношении q и l можно записать:

$$\begin{aligned} q &= q(x, y) \\ l &= l(x, y) \end{aligned} \tag{3}$$

Уравнения (2) и (3) выражают в общем виде точечное соответствие между поверхностью сфероида и плоскостью и, определяют прямоугольные координаты (x,y) по заданным (q,l). Вид функций (2) и (3) определяется заданными условиями, которым должно удовлетворять изображение сфероида на плоскости.

Из уравнений (2) и (3) путем дифференцирования получаем

$$dx = \frac{\partial x}{\partial q} dq + \frac{\partial x}{\partial l} dl \quad (4)$$

$$dy = \frac{\partial y}{\partial q} dq + \frac{\partial y}{\partial l} dl$$

$$dq = \frac{\partial q}{\partial x} dx + \frac{\partial q}{\partial y} dy \quad (5)$$

$$dl = \frac{\partial l}{\partial x} dx + \frac{\partial l}{\partial y} dy$$

Основные уравнения конформного преобразования изометрических координат имеют вид [2].

$$\frac{\partial x}{\partial q} = \frac{\partial y}{\partial l}$$

$$\frac{\partial x}{\partial l} = -\frac{\partial y}{\partial q} \quad (6)$$

Пусть теперь системы координат (x,y) и (q,l) соответственно совпадают с (i,v) и (i', v'), тогда из (6) получим совершенно симметричные с (6) уравнения вида:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = \frac{\partial l}{\partial y}$$

$$\frac{\partial q}{\partial y} = -\frac{\partial l}{\partial x} \quad (7)$$

Интегрирование их выполняется при начальных условиях, которые задаются при изображении модели эллипсоида на плоскости или наоборот. Эти уравнения в теории аналитических функций называются условиями Коши - Римана, являются фундаментальными соотношениями, как в теории аналитических функций, так и в конформном отображении поверхностей [2,9].

В проекции Гаусса - Крюгера осевой меридиан изображается прямой линией в натуральную величину, т. е. для точек осевого меридиана абсциссы равны дугам меридиана, а ординаты - нулю. Если обозначим дуги меридиана через X, то для точек осевого меридиана при l=0 получим

$$x = X$$

$$y = 0 \quad (8)$$

Кроме этого, положительным l должны соответствовать положительные y и отрицательным l - отрицательные y, положительным и отрицательным l соответствуют только положительные x. Эти условия вполне определяют проекцию Гаусса - Крюгера.

Нижеприведенные степенные ряды удовлетворяют поставленным условиям для проекции Гаусса - Крюгера

$$\begin{aligned} x &= X + a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 + \dots \\ y &= b_1 l + b_3 l^3 + b_5 l^5 + b_7 l^7 + \dots \end{aligned} \quad (9)$$

где, $a_2, a_4, a_6 \dots b_1, b_3, b_5, b_7 \dots$ суть функции геодезической широты данной точки. Из (9) при $l = 0$ имеем $y=0$ и $x=X$; при отрицательной величине l ордината y - отрицательная, а абсцисса x - положительная.

Эти условия вполне достаточны для интегрирования уравнений (9) с помощью рядов (9). После некоторых преобразований получим:

$$\begin{aligned} x &= X + \frac{l''^2}{2\rho''^2} N \cos B \sin B + N \frac{l''^4}{24\rho''^4} \sin B \cos^3 B (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \\ &+ \frac{l''^6}{720\rho''^6} N \sin B \cos^5 B (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2 t^2) \\ y &= \frac{l''}{\rho''} N \cos B + N \frac{l''^3}{6\rho''^3} \cos^3 B (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{l''^5}{120\rho''^5} N \cos^5 B (5 - 18t^2 + \\ &+ t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2 + 13\eta^4 - 64\eta^4 t^2) + \frac{l''^7}{5040\rho''^7} N \cos^7 B (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) \end{aligned} \quad (10)$$

Формулы (10) являются классическими и обладают высокой точностью и могут быть применены для разности долгот $l \approx 3-4^\circ$, т. е. для системы шестиградусных зон. Естественно, что для трехградусных зон эти формулы могут быть упрощены, а именно в формуле для x могут быть отброшены члены $14\eta^4$ и 16 , а для y — члены с $15\eta^2$ и 17 , тогда для этого случая будем иметь:

$$\begin{aligned} x &= X + \frac{l''^2}{2\rho''^2} N \cos B \sin B + N \frac{l''^4}{24\rho''^4} \sin B \cos^3 B (5 - t^2 + 9\eta^2) \\ y &= \frac{l''}{\rho''} N \cos B + N \frac{l''^3}{6\rho''^3} \cos^3 B (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{l''^5}{120\rho''^5} N \cos^5 B (5 - 18t^2 + t^4) \end{aligned} \quad (11)$$

Материалы геодезических измерений, за исключением триангуляции 1 класса, обрабатываются в проекции Гаусса-Крюгера с вычислением прямоугольных координат пунктов опорных геодезических сетей. В некоторых случаях уравнивание триангуляции 1 класса также выполняется на плоскости [3,9,10].

Обсуждение результатов. Основное достоинство проекции Гаусса - Крюгера для построения системы плоских прямоугольных координат на больших территориях - деление поверхности математической модели эллипсоида на зоны, простирающиеся полосами от северного полюса до южного, отвечает требованиям перехода с эллипсоида на плоскость и осуществляется с точностью, удовлетворяющей самым строгим практическим требованиям [5].

Зональные плоские прямоугольные координаты Гаусса-Крюгера характеризуются следующими важными свойствами для больших территорий [6]:

1. Масштаб изображения и сближение меридианов возрастают к востоку и западу от осевого меридиана сравнительно медленно и являются функциями ординаты точки при заданной широте. Системы координат во всех зонах подобны. При этом число координатных зон для больших территорий и даже для всей поверхности Земли сравнительно невелико.

2. Формулы для решения прямой и обратной задач проекции - простые степенные ряды однообразного вида - являются функциями двух аргументов. С математической точки зрения преимущества координат Гаусса-Крюгера легко обнаруживаются, сравнением основных харак-

теристических функций геодезических проекций. Из геодезических проекций только проекция Гаусса-Крюгера может применяться для всей поверхности земного шара [11,12,13].

3. На краю шестиградусной зоны при $y_t = 250$ км, $x_2 - x_1 = 1$ км значение редукции будет меньше 1, т. е. пренебрегаемо мало по сравнению с ошибками измерения углов.

4. При проложении теодолитных ходов между пунктами триангуляции, координаты которых даны в системе Гаусса - Крюгера, в измеренные длины сторон ходов необходимо вводить поправки за переход на плоскость [7]. На краю шестиградусной зоны при $y = 250$ км эти поправки достигают величины порядка 1:1200 поэтому не могут считаться пренебрегаемыми, поэтому для проектирования различных инженерных сооружений такое масштабное искажение на плане или в геодезических данных не может считаться допустимым.

5. В трехградусных зонах, где $l = 1^{\circ}30'$, относительные линейные искажения приблизительно равны 1:5000. Для решения множества топографических задач данной величиной можно пренебречь. Поэтому в районах крупномасштабных съемок, результаты которых будут использоваться для проектирования и инженерных расчетов, координаты пунктов следует вычислять в трехградусной зоне [8].

На рис.1 и 2 приведены динамика изменения разностей абсцисс $\Delta x_i = x_i - x_{i-1}$ и ординат $\Delta y_i = y_i - y_{i-1}$ на крайнем меридиане шести-градусной зоны №7 и их разности

$\Delta \Delta x_i = \Delta x_i - \Delta x_{i-1}$ и $\Delta \Delta y_i = \Delta y_i - \Delta y_{i-1}$ от геодезической широты в диапазоне от экватора до полюса.

Ниже изображены на рисунках результаты вычислений произведенных по формулам (11) с дискретностью по широте в один градус.

Из рис. 1а следует, что разности абсцисс имеет линейную положительную динамику на средних широтах и нелинейную положительную и отрицательную динамику от экватора и к полюсу соответственно. Из рис. 1.б видна линейность отрицательной динамики разностей ординат от экватора до средних широт, а на северных широтах эти разности имеют нелинейный отрицательный характер [14,15,16].

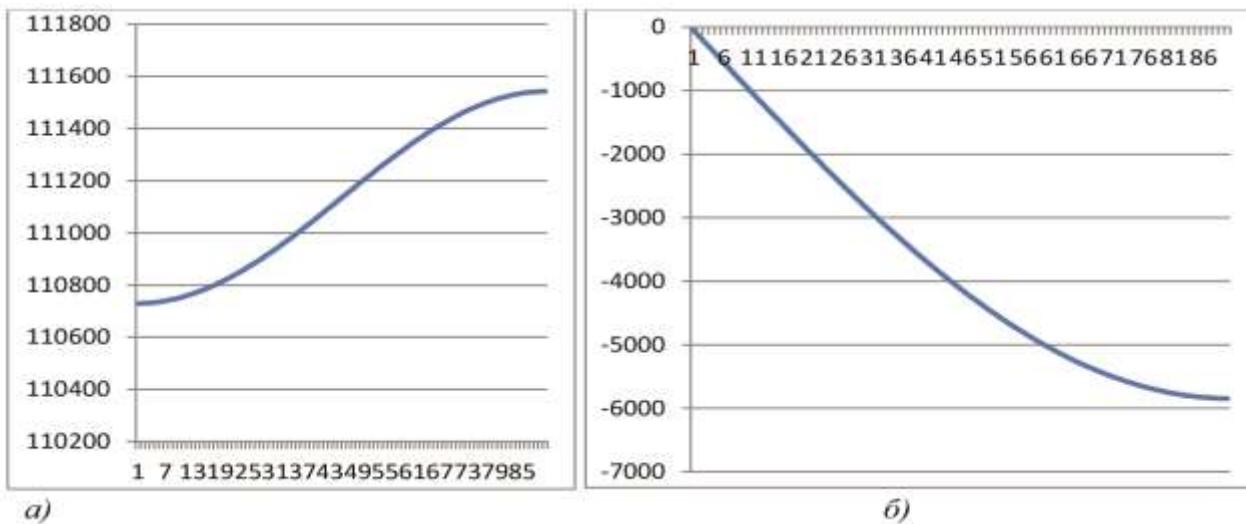


Рисунок 1- Зависимость значений разностей абсцисс (а) и ординат (б) от широты ($B = 0^{\circ} - 90^{\circ}$)

На рисунке 2 изображены графики изменения разностей самих разностей абсцисс (рис. 2.а), что визуально позволяет оценить данную динамику, и изменения разностей ординат (рис. 2.б) в зависимости от широты пункта.

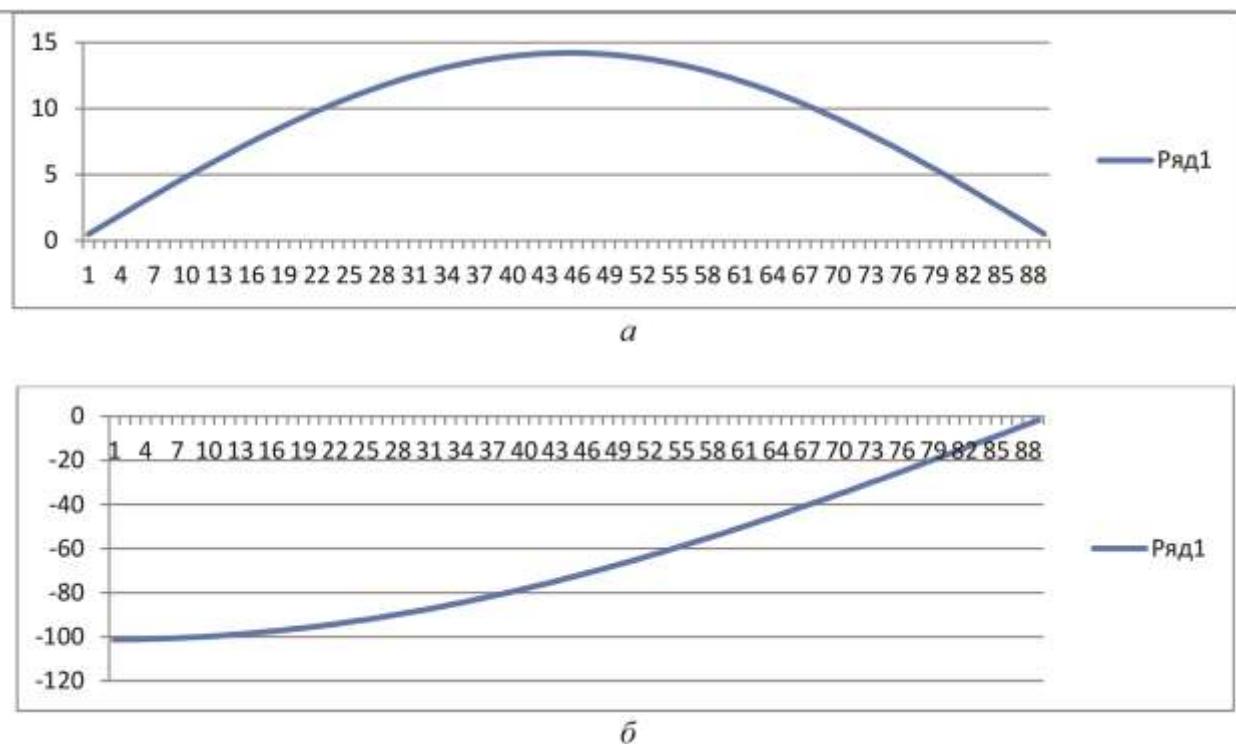


Рисунок 2 - Зависимость значений разностей $\Delta\Delta x_i$ (а) и $\Delta\Delta y_i$ (б) от широты ($B = 0^0 - 90^0$)
 $\Delta\Delta x_i = \Delta x_i - \Delta x_{i-1}$ $\Delta\Delta y_i = \Delta y_i - \Delta y_{i-1}$

Вывод:

1. Абсциссы точек на плоскости шестиградусной зоны при переводе с поверхности модели эллипсоида медленно меняются в приэкваториальной и приполярной зонах в отличие от средней полосы.
2. В средней полосе широты разности абсцисс имеют линейную положительную динамику.
3. Разности ординат от экватора модели до средних широт имеют линейную отрицательную динамику, что замедляет темп изменения с возрастанием широты к полюсу.
4. Наибольшие значения динамики разностей ординат $\Delta y_i - \Delta y_{i-1}$ имеют на экваторе, а минимум на полюсе.
5. Динамика разностей $\Delta\Delta x_i = \Delta x_i - \Delta x_{i-1}$ имеет положительное значение от экватора до средней широты 45^0 и отрицательное от средней широты до полюса. Она имеет наивысшее значение около 14м на средней широте и минимальные значения на экваторе и полюсе близкой к нулю.
6. Динамика разностей ординат $\Delta\Delta y_i = \Delta y_i - \Delta y_{i-1}$ носит более умеренный и положительный характер, с минимальными значениями в приэкваториальной зоне (-110м) и максимальными значениями у полюса равным нулю.

Библиографический список:

1. Gauss K.F. Selected geodetic works. T. II, Higher Geodesy. Edited and with an introduction by G. V. Bagratuni. Moscow. Geodezizdat, 1958, pp. 149-154.
2. Закатов П.С. Курс высшей геодезии. М.: Недра, 1976, - с. 173 – 177.
3. Багратуни Г.В. Курс сфероидической геодезии. М.: Геодезиздат, 1962, - с. 173- 180.
4. Багратуни Г.В. Новый метод вывода формул для преобразования геодезических координат в прямоугольные и обратно. М.: Геодезиздат, 1953, с. 3 - 9. (Труды МИИ-ГАИК, вып. 15).

5. Ворошилов А.П. Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ. Челябинск, Аксвелл, 2007, - с. 188 – 202.
6. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. М.: Недра, 1979, - р. 144 - 147.
7. Яковлев Н.В. Высшая геодезия. М.: Недра, 1989, - р. 254 - 258.
8. Телеганов Н.А., Тетерин Г.Н. Метод и системы координат в геодезии. «Геодезия», 2008. – 109с.
9. Heiskanen W.A., Moritz H., Phisical geodesi, Freeman W.H. and Co., Sanfrancisko, London, 1966, p. 224.
10. Smitsonian Standard Earth III, ed. by Gaposkin E.M., SAO, Cambridge, 1973, pp. 88 – 91.
11. Мамедбеков С.Н. Априорная оценка точности определения геодезических неизвестных доплеровскими методами. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка М.: 1981.- №3 – с. 18-22.
12. Мамедбеков С.Н. Использование радиальных скоростей ИСЗ для реализации орбитального метода космической геодезии. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. М.: 1982. №4 - с. 12 – 16.
13. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определени местоположения и их применение в геодезии. М.: Картгеоцентр, 2004.–355 с.
14. Генике А.А. Критерии оценки точности при спутниковых координатных определениях. Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка» 2009.- №6 –с. 6 – 11.
15. Куприянов А.О. Локальные преобразования систем координат, реализованные в программных пакетах по обработке спутниковых измерений. Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка» 2012.- №3 – с. 3 – 8.
16. Единая государственная система геодезических координат. 1995 года (СК-95). Справочный документ.— М.: ЦНИИГАиК, 2000.

References:

1. Gauss K.F. Selected geodetic works. T. II, Higher Geodesy. Edited and with an introduction by G. V. Bagratuni. Moscow: Geodezizdat, 1958, pp.149-154.
2. Sunsets PS higher geodesy course. Moscow: Nedra, 1976, pp.173 - 177. (In Russian)
3. Bagratuni G.V. Course spheroidal geodesy. Moscow: Geodezizdat, 1962 - p. 173 - 180. (In Russian)
4. Bagratuni G.V. New formulas output method to transform geodetic in rectangular coordinates and vice versa. Moscow: Geodezizdat, 1953, Proceedings MIIGAiK, vol.15, pp. 3-9. (In Russian)
5. Voroshilov A.P. Satellite systems and total stations to ensure construction work. Chelyabinsk, Aksvell. 2007, pp.188 - 202. (In Russian)
6. Morozov V.P. Course spheroidal geodesy. Moscow: Nedra, 1979, pp.144 - 147. (In Russian)
7. Yakovlev N.V. Higher Geodesy. Moscow: Nedra, 1989, pp. 254 - 258. (In Russian)
8. Teleganov N.A., Teterin G.N. The method and system of coordinates in geodesy. Moscow: Geodezizdat. 2008, p.109. (In Russian)
9. Heiskanen W.A., Moritz H., Phisical geodesi, Freeman W.H. and Co., Sanfrancisko, London, 1966, p. 224.
10. Smitsonian Standard Earth III, ed. by Gaposkin E.M., SAO, Cambridge, 1973, pp. 88 – 91.
11. Mamedbekov S.N. Priori estimate of the accuracy of determining geodetic unknown Doppler methods. Izvestija vuzov. Geodesy and aerial. 1981, no.3, pp.18-22. (In Russian)
12. Mamedbekov S.N. Using the radial velocity for the implementation of the HIS orbital method of space geodesy. Izvestija vuzov. Geodesy and aerial photography. Moscow.1982, no.4, pp.12 - 16. (In Russian)
13. Genik A.A., G.G. Pobedinsky Global satellite system definitionlocation and their use in geodesy. Moscow: Kartgeocentr, 2004, 355 p.
14. Genik A.A. Criteria for evaluation of accuracy when satellite coordinate definitions. Izvestija vuzov. Geodesy and aerial photography. Moscow. 2009, no.6, pp. 6 - 11.

15. Kupriyanov S.A. Local transformation of coordinate systems implemented in software packages for the processing of satellite measurements. *Izvestija vuzov. Geodesy and aerial photography. Moscow.* 2012, no.3, pp. 3 - 8. (In Russian)
16. Uniform state system of geodetic coordinates 1995. Directory. *Moscow: CNIIGAiK,* 2000. (In Russian)

Сведения об авторах.

Мамедбеков Салман Наврузович – старший преподаватель, кафедры начертательной геометрии, компьютерной графики и геодезии.

Омаров Ариф Омарович – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных материалов и инженерных сетей.

Раджабов Рустам Габибович – ассистент кафедры начертательной геометрии, компьютерной графики и геодезии.

Authors information.

Salman N. Mamedbekov – senior lecturer, Department of descriptive geometry, computer graphics and geodesy.

Arif O. Omarov – PhD in economic Sciences, Associate Professor, Department of construction materials and engineering networks.

Rustam G. Radzhabov – Assistant Professor of Department of descriptive geometry, computer graphics and geodesy.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 16.06.2016.

Conflict of interest

Received 16.06.2016.

Принята в печать 29.07.2016.

Accepted for publication 29.07.2016.

Для цитирования: Акаев Н.К., Юсупов А.К. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШПРЕНГЕЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016; 42 (3):119-130. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-119-130

For citation: Akaev N.K., Yusupov A.K. CALCULATION ALGORITHM TRUSS UNDER CRANE BEAMS. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 119-130. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-119-130

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

УДК 624.072:624.011

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-119-130

Акаев Н.К.¹, Юсупов А.К.²

Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

¹e-mail: dgtu.pgs@mail.ru

²e-mail:hairulla213@ncstu.ru

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШПРЕНГЕЛЬНЫХ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК

Аннотация. Цель. Поставлена задача поиска методов снижения прогибов и повышения жесткости однопролетных балок. В статье разработан алгоритм расчета шпренгельных подкрановых балок. **Методы.** Для определения внутренних усилий, необходимых для подбора сечения элементов рассматриваемой конструкции, используется функция Грина. **Результат.** Установлено, что простейшая шпренгельная система уменьшает прогибы и повышает прочность конструкции. При этом верхняя перекладина подвергается не только изгибу и сдвигу, но и сжатию вследствие работы затяжки на растяжение. Предварительное определение геометрических характеристик элементов подкрановых ферм предложено производить сопоставлением с ранее запроектированными подобными фермами, используя более простые приближенные методы расчета. **Вывод.** Предложен метод последовательного перемещения (с определенным шагом) двух мостовых кранов по длине верхней перекладины шпренгельной балки. Приводятся соответствующие формулы и условия прочности.

Ключевые слова: шпренгельная балка, подкрановая балка, внутренние усилия, прочность, функция Грина

Nasrudin K. Akaev¹, Abusupyan K.Yusupov²

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

¹e-mail:hairulla213@ncstu.ru,

²e-mail: dgtu.pgs@mail.ru

CALCULATION ALGORITHM TRUSS UNDER CRANE BEAMS

Abstract. Aim. The task of reducing the deflection and increase the rigidity of single-span beams are made. In the article the calculation algorithm for truss crane girders is determined. **Methods.** To identify the internal effort required for the selection of cross section elements the design uses the Green's function. **Results.** It was found that the simplest truss system reduces deflection and increases the strength of design. The upper crossbar is subjected not only to bending and shear and compression work due to tightening tension. Preliminary determination of the geometrical characteristics of the crane farms elements are offered to make a comparison with previous similar configuration of his farms, using a simple approximate calculation methods. **Conclusion.** The method of sequential movements (incrementally) the two bridge cranes along the length of the upper crossbar truss beams is suggested. We give the corresponding formulas and conditions of safety.

Key words: truss beam, crane beam, internal forces, strength, the green's function

Введение. Известно, что фермы рациональны на пролетах в 18-48 м. Фермы с параллельными поясами выполнялись пролетом 60 м. Двутавровая балка же рациональна без дополнительных ребер и стабилизирующих мероприятий на пролетах в 3-9 м, далее она становится слишком тяжелой. Ферма же на пролетах менее 15 м оказывается не рациональной. Поэтому нишу на пролетах 10-18 м занимает шпренгельные балки, то есть балки с затяжками. Принцип работы шпренгеля основан на том, что с увеличением пролета балки начинают развиваться недопустимые большие прогибы, при этом конструкция не разрушается.

Постановка задачи. Снижение прогибов и повышение жесткости становится центральной проблемой для однопролетных балок.

Методы исследования. Устройство затяжек или подпорок балок не всегда возможно, поэтому простейший метод - установить снизу в центре пролета распорку с затяжкой к опорам. Такая простейшая шпренгельная система уменьшает прогибы и повышает прочность конструкции. При этом верхняя перекладина подвергается не только изгибу и сдвигу, но и сжатию вследствие работы затяжки на растяжение [1,2,3,4,5,6,7].

Подкрановые фермы (рис.1.) проектируют с параллельными поясами, треугольной схемой решетки и дополнительными стойками. При такой схеме решетки масса подкрановой фермы на 10 % меньше массы аналогичных ферм, имеющих раскосную решетку при одинаковых высоте и нагрузках. Высоту подкрановых ферм следует назначать в пределах 1/5- 1/7 пролета, если длина балки 12-18 м, и 1/7-1/10 пролета при длине балки 24-36 м (где меньшие величины относятся к большим пролетам ферм).

Длину панели подкрановой фермы рационально назначать приблизительно равной высоте фермы, но не более 3 м с тем, чтобы можно было подобрать сечение верхнего пояса из профильного широкополочного или обычного двутавра, нижний пояс - из широкополочного тавра или из уголков; для элементов решетки рекомендуются спаренные уголки.

Расчет подкрановой фермы, представляющей собой статически неопределенную систему с числом неизвестных $n - 1$ (где n - число панелей верхнего пояса), точными методами строительной механики достаточно трудоемок и, его следует выполнять с применением компьютерной техники. Предварительное определение геометрических характеристик элементов подкрановых ферм может производиться сопоставлением с ранее запроектированными подобными фермами или, если такой возможности нет, используют более простые приближенные методы расчета, получая затем путем последовательных приближений окончательные значения усилий и размеры сечений элементов фермы.

Высота подкраново-подстропильных ферм определяется габаритом крана и высотой стропильной фермы на опоре, но она должна быть не менее 1/8 пролета, причем верхний пояс подкраново-подстропильной фермы принимается на одном уровне с верхним поясом стропильных конструкций. Длину панели назначают в пределах $(0,8-1,3)h$, кратной 3 м. В узлах ферм коробчатый жесткий пояс усиливают диафрагмами из листа; в сечениях между узлами для обеспечения [8,9,10,11] неизменяемости контура коробки диафрагмы могут быть сквозными или сплошными. Расстояние между диафрагмами принимают 3, 4 или 6 м.

Прогибы подкрановых и подкраново-подстропильных ферм рекомендуется вычислять точными методами с использованием компьютерных технологий. Элементы решетки подкрановых ферм следует присоединять к поясам с помощью фасонок. Крепление фасонок к верхним поясам должно быть выполнено с полным провором на всю толщину фасонок. Элементы решетки рекомендуется центрировать на нижнюю грань верхнего пояса. В узлах примыкания решетки к верхнему поясу стенку пояса укрепляют парными ребрами жесткости.

Узлы элементов верхнего пояса проектируют встык без накладок, располагая их на участках с не полностью использованной несущей способностью.

Монтажные соединения элементов подкраново-подстропильных конструкций выполняются обычно на высокопрочных болтах. Монтажные стыки балок жесткости должны быть расположены в наименее напряженных местах и выполнены на сварке встык.

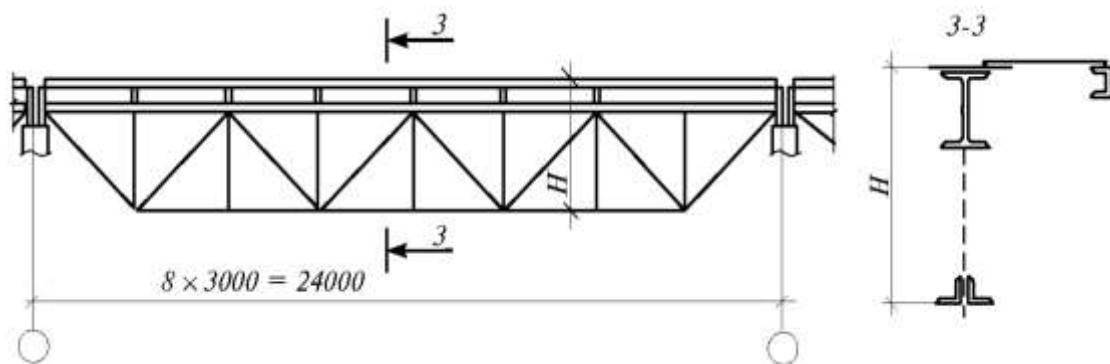


Рисунок 1- Разрезная сквозная подкрановая балка (ферма)

При пролетах 12 м и более целесообразно применять балки со шпренгелем. Различают 2 типа шпренгельных балок: с одной стойкой (рис.2.а), с двумя стойками (рис.2.б).

*а – сплошного сечения из трех листов; б, в – клепаные из листов и уголков;
 б, в – балки с соединениями на высокопрочных болтах;
 г, д – балки с комбинированными соединениями (болтосварные).*

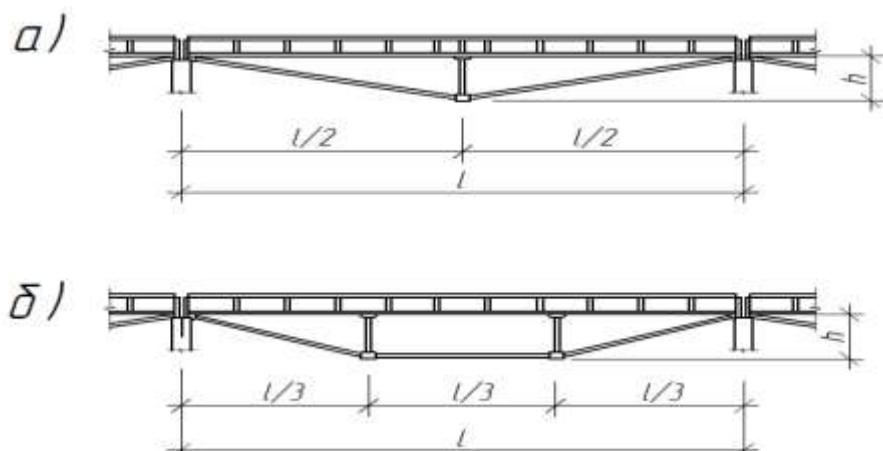


Рисунок 2 - Типы шпренгельных балок

а – шпренгельная балка с одной стойкой; б – с двумя стойками;

Для расчета шпренгельной балки, отбрасываем ее стойки и заменяем их упругоподатливыми опорами (пружинами).

Податливость этих стоек учитывается с помощью коэффициента жесткости r , который определяется в зависимости от жесткости промежуточных опор подкрановой балки [12,13,14,15].

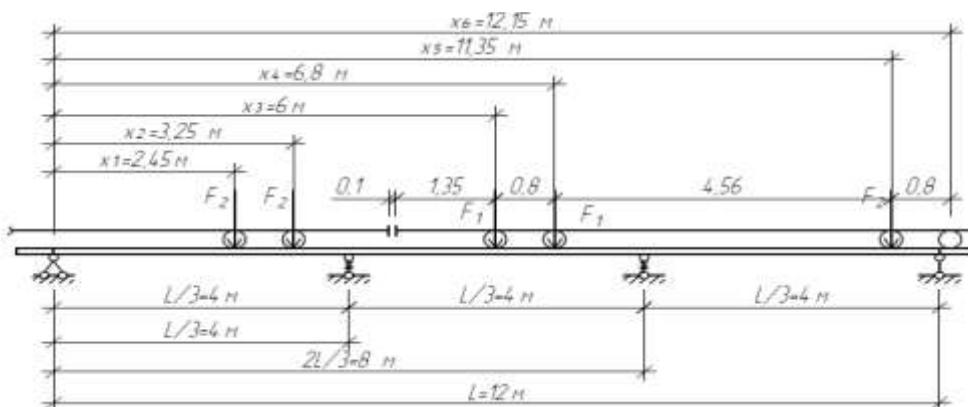


Рисунок 3 - Расчетная схема шпренгельной балки

Ниже представлены схемы с различными расположениями крановых нагрузок (рис.3.), (рис. 4.). Расчет ведем на одновременное воздействие двух мостовых кранов. Для определения

наиболее опасного расположения мостовых кранов, отсчет положения кранов будем осуществлять относительно координаты x_3 , и будем перемещать влево и вправо от нее с шагом 1 м.

Нами рассмотрены 7 схем расположения мостовых кранов, с соответствующими сдвигами по горизонтали относительно первоначального положения кранов.

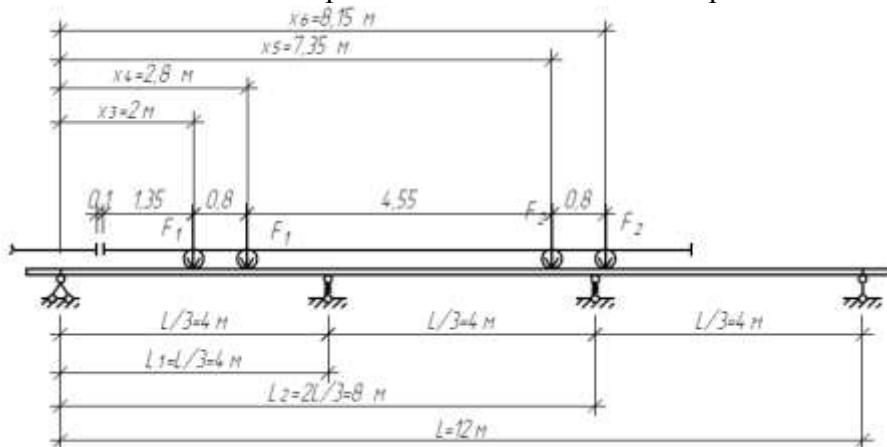


Рисунок 4 - Схема нагружения №1, $x_3=2$ м.

Последовательно перемещается с шагом в 1 м система двух мостовых кранов по верхней перекладине шпренгельной балки. Для расчета подкрановой шпренгельной балки с двумя стойками воспользуемся функцией Грина [16-17].

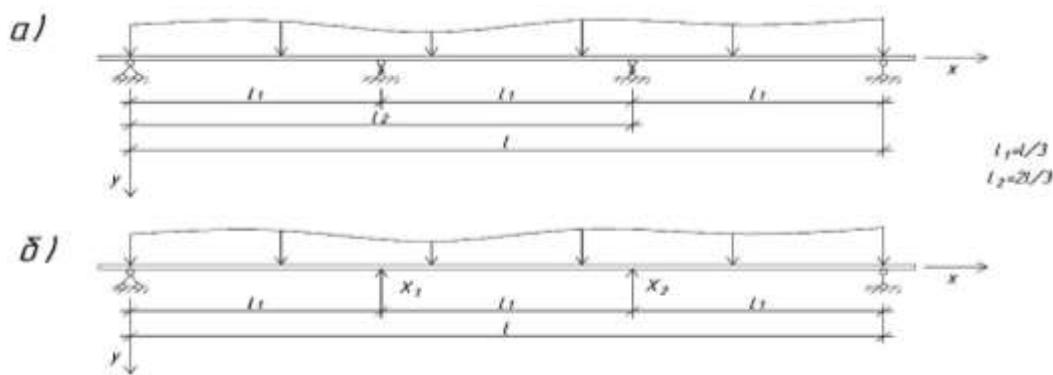


Рисунок 5 - а – заданная схема; б – расчетная схема.

Функция Грина для рассматриваемой задачи имеет следующий вид [7]:

$$G(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot G_1(x, \xi) + e(x - \xi) \cdot G_2(x, \xi), \quad (1)$$

где,

$$G_1(x, \xi) = - \frac{1}{EJ} \left[\left(1 - \frac{\xi}{l} \right) \frac{x^3}{6} + A \cdot x \right],$$

$$G_2(x, \xi) = - \frac{1}{EJ} \left[- \frac{\xi}{l} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{\xi}{2} x^2 + Bx + D \right]. \quad (2)$$

Здесь введены обозначения:

$$A = \frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l}, \quad D = \frac{\xi^3}{6}, \quad B = - \frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l}. \quad (3)$$

Каждая из функций G_1 и G_2 справедлива в пределах своего участка:

$$G = G_1 \text{ при } x < \xi, \quad G = G_2 \text{ при } x \geq \xi.$$

Найдем производную функции (2) и подставим их в функции типа (4).

Тогда получим

$$\begin{aligned}\frac{\partial G}{\partial x} &= [1 - e(x - \xi)] \frac{\partial G_1}{\partial x} + e(x - \xi) \frac{\partial G_2}{\partial x}; \\ \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} &= [1 - e(x - \xi)] \frac{\partial^2 G_1}{\partial x^2} + e(x - \xi) \frac{\partial^2 G_2}{\partial x^2}; \\ \frac{\partial^3 G}{\partial x^3} &= [1 - e(x - \xi)] \frac{\partial^3 G_1}{\partial x^3} + e(x - \xi) \frac{\partial^3 G_2}{\partial x^3}.\end{aligned}\quad (4)$$

Производные функций (2) легко определяются:

$$\begin{aligned}\frac{\partial G_1}{\partial x} &= -\frac{1}{EJ} \left[\left(1 - \frac{\xi}{l}\right) \frac{x^2}{2} + A \right], \\ \frac{\partial^2 G_1}{\partial x^2} &= -\frac{1}{EJ} \left(1 - \frac{\xi}{l}\right) x, \quad \frac{\partial^3 G_1}{\partial x^3} = -\frac{1}{EJ} \left(1 - \frac{\xi}{l}\right), \\ \frac{\partial G_2}{\partial x} &= -\frac{1}{EJ} \left[-\frac{\xi}{l} \frac{x^2}{2} + \xi x + B \right], \\ \frac{\partial^2 G_2}{\partial x^2} &= -\frac{1}{EJ} \left[-\frac{\xi}{l} x + \xi \right], \quad \frac{\partial^3 G_2}{\partial x^3} = \frac{1}{EJ} \frac{\xi}{l}.\end{aligned}\quad (5)$$

Для вычисления изгибающих моментов воспользуемся формулой:

$$M = -y(x)'' \cdot E \cdot J. \quad (6)$$

Поперечные силы находим так:

$$Q = y(x)''' \cdot E \cdot J. \quad (7)$$

Прогибы определяем по следующему выражению [7]:

$$y(x) = y_0(x) - X_1 G(x, l_1) - X_2 G(x, l_2), \quad (8)$$

где, $y_0(x) = \sum_i^6 \int_0^l G(x, \xi) \cdot F_i \delta(\xi - x_i) d\xi = F_i \cdot \sum_i^6 \int_0^l G(x, x_i).$ (9)

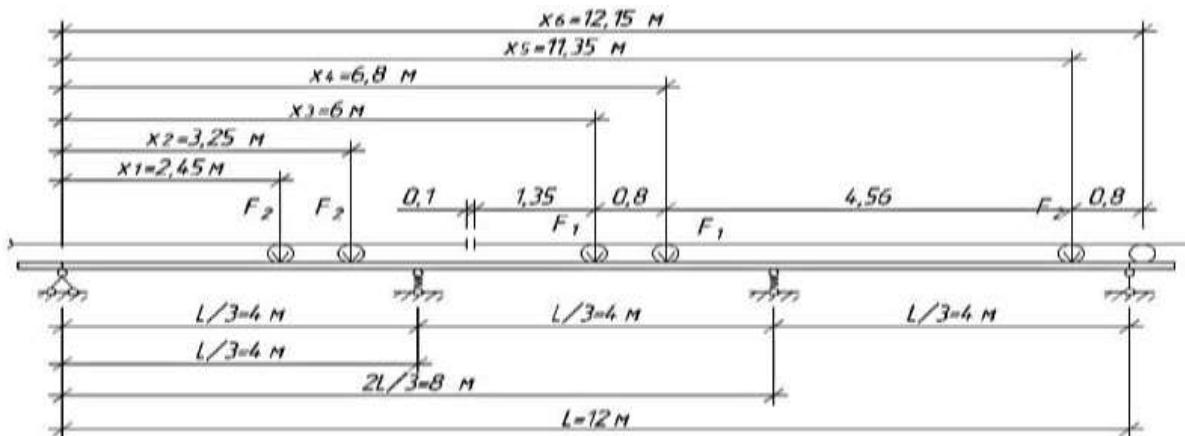


Рисунок 5 - Схема расположения сил на подкрановую балку от двух мостовых кранов

В формуле (9) $\delta(\xi - x_i)$ – дельта-функция, $l_1 = \frac{l}{3}$, $l_2 = \frac{2l}{3}$ – координаты промежуточных стоек подкрановой шпренгельной балки.

Неизвестные X_1 и X_2 определяются так:

$$X_1 = \frac{y_0(l_2) \cdot G(l_1, l_2) - y_0(l_1) \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}{G(l_2, l_1) \cdot G(l_1, l_2) - [G(l_1, l_1) + \frac{1}{r}] \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]},$$

$$X_2 = \frac{y_0(l_1) \cdot G(l_1, l_2) - y_0(l_2) \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}{G(l_2, l_1) \cdot G(l_1, l_2) - [G(l_1, l_1) + \frac{1}{r}] \cdot [G(l_2, l_2) + \frac{1}{r}]}, \quad (10)$$

где, r — коэффициент жесткости пружины.

Для дальнейших расчетов максимально упрощаем формулы (10)

$$G(l_1, l_2) = G\left(\frac{l}{3}, \frac{2l}{3}\right) = G(4,8) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{7l}{486};$$

$$G(l_1, l_1) = G\left(\frac{l}{3}, \frac{l}{3}\right) = G(4,4) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{4l}{243};$$

$$G(l_2, l_1) = G\left(\frac{2l}{3}, \frac{l}{3}\right) = G(8,4) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{7l}{486}; \quad (10 \text{ a})$$

$$G(l_2, l_2) = G\left(\frac{2l}{3}, \frac{2l}{3}\right) = G(8,8) = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{4l}{243};$$

Подставив полученные выше значения в формулу (10), выполняем несложные преобразования, после чего находим:

$$X_1 = EJ \frac{y_0(l_2) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_1) \cdot \left(\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}\right)}{l^3 \left(\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - \left[\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}\right] \cdot \left[\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}\right]\right)},$$

$$X_2 = EJ \frac{y_0(l_1) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_2) \cdot \left(\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}\right)}{l^3 \left(\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - \left[\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}\right] \cdot \left[\frac{4}{243} + \frac{EJ}{rl^3}\right]\right)}.$$

Введём безразмерный коэффициент, зависящий от геометрических характеристик шпренгельной подкрановой балки: $k = \frac{EJ}{rl^3}$.

С учётом этого предыдущие формулы запишем так:

$$X_1 = EJ \frac{y_0(l_2) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_1) \cdot \left(\frac{4}{243} + k\right)}{l^3 \left(\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - \left[\frac{4}{243} + k\right] \cdot \left[\frac{4}{243} + k\right]\right)},$$

$$X_2 = EJ \frac{y_0(l_1) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_2) \cdot \left(\frac{4}{243} + k\right)}{l^3 \left(\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - \left[\frac{4}{243} + k\right] \cdot \left[\frac{4}{243} + k\right]\right)}; \quad (12)$$

$$X_2 = EJ \frac{y_0(l_1) \cdot \frac{7}{486} - y_0(l_2) \cdot \left(\frac{4}{243} + k\right)}{l^3 \left(\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - \left[\frac{4}{243} + k\right] \cdot \left[\frac{4}{243} + k\right]\right)}$$

С целью упрощения выражения для $y_0(x)$ (9) введём обозначение:

$$\alpha(x) = \sum F_i \left\{ [1 - e(x - x_i)] \cdot \left[(1 - \frac{x_i}{l}) \frac{x^3}{6} + x(\frac{x_i^2}{2} - \frac{x_i l}{3} - \frac{x_i^3}{6l}) \right] + \right. \\ \left. + e(x - x_i) \cdot \left[-\frac{x_i x^3}{6 \cdot l} + \frac{x_i x^2}{2} + x(\frac{x_i l}{3} - \frac{x_i^3}{6l}) + \frac{x_i^3}{6} \right] \right\}. \quad (13)$$

Тогда получим $y_0(x) = -\frac{1}{EJ} \alpha(x). \quad (14)$

С учетом этого, неизвестные представим в следующем виде:

$$X_1 = -\frac{\alpha(l_2) \cdot \frac{7}{486} - \alpha(l_1) \cdot (\frac{4}{243} + k)}{l^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} \quad (15)$$

$$X_2 = -\frac{\alpha(l_1) \cdot \frac{7}{486} - \alpha(l_2) \cdot (\frac{4}{243} + k)}{l^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])}.$$

Далее введём следующие обозначения:

$$\beta(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot \beta_1(x, \xi) + e(x - \xi) \cdot \beta_2(x, \xi); \\ \beta(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot \left[(1 - \frac{\xi}{l}) \frac{x^3}{6} + x(\frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l}) \right] + \\ + e(x - \xi) \cdot \left[-\frac{\xi x^3}{6 \cdot l} + \frac{\xi x^2}{2} + x(\frac{\xi l}{3} - \frac{\xi^3}{6l}) + \frac{\xi^3}{6} \right]; \\ \frac{\partial \beta_1}{\partial x} = \left[\left(1 - \frac{\xi}{l} \right) \frac{x^2}{2} + A \right], \quad \frac{\partial^2 \beta_1}{\partial x^2} = \left(1 - \frac{\xi}{l} \right) x, \quad \frac{\partial^3 \beta_1}{\partial x^3} = \left(1 - \frac{\xi}{l} \right), \\ \frac{\partial \beta_2}{\partial x} = \left[-\frac{\xi}{l} \frac{x^2}{2} + \xi x + B \right], \quad \frac{\partial^2 \beta_2}{\partial x^2} = \left[-\frac{\xi}{l} x + \xi \right], \quad \frac{\partial^3 \beta_2}{\partial x^3} = \frac{\xi}{l} \quad (16)$$

Теперь функция Грина (1) принимает вид:

$$G(x, \xi) = -\frac{1}{EJ} \beta(x, \xi). \quad (17)$$

С учетом всех преобразований и новых обозначений функции прогибов определяем формулой:

$$y(x) = -\frac{1}{EJ} \sum F_i \cdot \alpha(x) + \frac{1}{EJ} X_1 \beta(x, l_1) + \frac{1}{EJ} X_2 \beta(x, l_2). \quad (18)$$

Теперь изгибающие моменты и перечные силы (6, и 7) можно записать компактно:

$$M(x) = -EJ \cdot \left[-\frac{1}{EJ} \sum F_i \cdot \alpha(x) + \frac{1}{EJ} X_1 \frac{\partial^2 \beta(x, l_1)}{\partial x^2} + \frac{1}{EJ} X_2 \frac{\partial^2 \beta(x, l_2)}{\partial x^2} \right], \quad (19)$$

$$M(x) = \sum F_i \cdot \alpha(x) - X_1 \frac{\partial^2 \beta(x, l_1)}{\partial x^2} - X_2 \frac{\partial^2 \beta(x, l_2)}{\partial x^2}, \quad (20)$$

$$Q(x) = -EJ \cdot \left[-\frac{1}{EJ} \sum F_i \cdot \alpha(x) + \frac{1}{EJ} X_1 \frac{\partial^3 \beta(x, l_1)}{\partial x^3} + \frac{1}{EJ} X_2 \frac{\partial^3 \beta(x, l_2)}{\partial x^3} \right], \quad (21)$$

$$Q(x) = \sum F_i \cdot \alpha(x) - X_1 \frac{\partial^3 \beta(x, l_1)}{\partial x^3} - X_2 \frac{\partial^3 \beta(x, l_2)}{\partial x^3}. \quad (22)$$

Для проверки правильности построенных выше формул выполним «ручной» проверочный расчет. С этой целью примем коэффициент

$$k = \frac{EJ}{rl^3} = 0,00729; \quad x=4 \text{ м.}$$

Координаты сосредоточенных сил, действующих на шпренгельную подкрановую балку, в местах приложения колес мостового крана, примем по схеме приведенной ниже (рис.6).

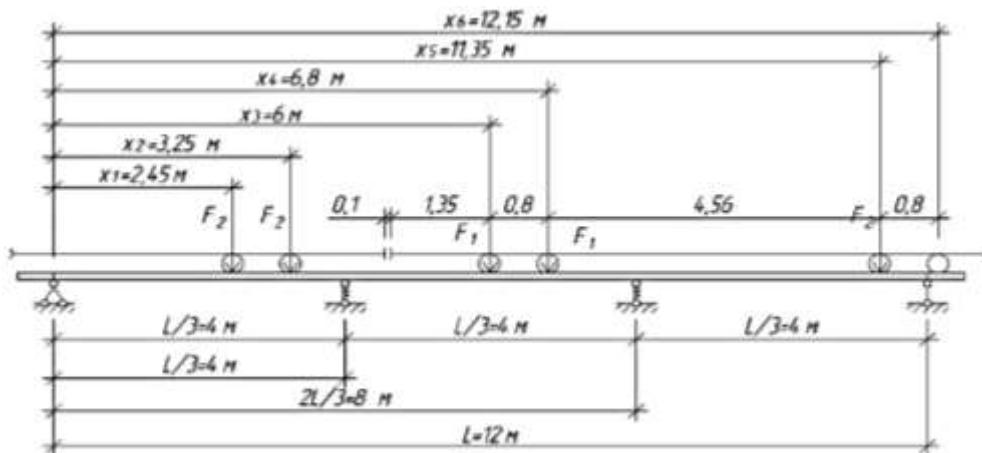


Рисунок 6 - Координаты расположения крановых колес и нагрузок от них

$$x_1 = 2,45 \text{ м}; x_2 = 3,25 \text{ м}; x_3 = 6 \text{ м}; x_4 = 6,8 \text{ м}; x_5 = 11,35 \text{ м}; F_1 = 488 \text{ кН};$$

$$F_2 = 515 \text{ кН}; \quad l_1 = \frac{l}{3}.$$

При $x_1 = 2,45 \text{ м}$ вычислим 1-е слагаемое суммы в функции (13)

$$\alpha(l_1) = - \left[-\frac{2,45 \text{ м} \cdot 12^2 \text{ м}^2}{81 \cdot 2} + \frac{2,45 \text{ м} \cdot 12^2 \text{ м}^2}{18} - \frac{12 \text{ м}}{3} \left(\frac{2,45 \text{ м} \cdot 12 \text{ м}}{3} + \frac{2,45^2 \text{ м}^2}{6 \cdot 12} \right) + \frac{2,45^3 \text{ м}^3}{6} \right].$$

$$\cdot 515 \text{ кН} = 10374 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.$$

Аналогично вычисляются и другие значения слагаемых функции (13).

$$\text{при } x_2 = 3,25 \text{ м и } F_2 = 515 \text{ кН} \quad -2\text{-е слагаемое}$$

$$12913 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.$$

$$\text{при } x_3 = 6 \text{ м и } F_2 = 515 \text{ кН} \quad -3\text{-е слагаемое}$$

$$16266 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.$$

$$\text{при } x_4 = 6,8 \text{ м и } F_1 = 515 \text{ кН} \quad -4\text{-е слагаемое}$$

$$15360 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.$$

$$\text{при } x_5 = 11,35 \text{ м и } F_2 = 515 \text{ кН} \quad -5\text{-е слагаемое}$$

$$2521 \text{ кН} \cdot \text{м}^3.$$

Суммируя все полученные выше значения слагаемых, окончательно находим:

$$\alpha(l_1) = (10374 + 12913 + 16266 + 15360 + 2521) \text{ кН} \cdot \text{м}^3 = 57434 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

По изложенной выше методике вычислены и другие значения функции (13)

$$\text{При } l_2 = \frac{2l}{3}, \quad \alpha(l_2) = 52473 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

$$\alpha(l_2) = (8551 + 10920 + 14965 + 15078 + 2959) \text{ кН} \cdot \text{м}^3 = 52473 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

$$\alpha(4)'' = (-841 - 1115 - 976 - 849 - 111) \text{ кН} \cdot \text{м}^3 = -3892 \text{ кН} \cdot \text{м}^3;$$

Теперь неизвестные легко вычисляются по формулам (12):

$$X_1 = -\frac{52473kH \cdot m^3 \cdot \frac{7}{486} - 57434kH \cdot m^3 \cdot (\frac{4}{243} + k)}{12^3 m^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} = 888,7 \text{ kH};$$

$$X_2 = -\frac{57434kH \cdot m^3 \cdot \frac{7}{486} - 52473kH \cdot m^3 \cdot (\frac{4}{243} + k)}{12^3 m^3 (\frac{7}{486} \cdot \frac{7}{486} - [\frac{4}{243} + k] \cdot [\frac{4}{243} + k])} = 732 \text{ kH};$$

$$\frac{\partial^2 \beta(x, l_1)}{\partial x^2} = -2,66 \text{ m}; \quad \frac{\partial^2 \beta(x, l_2)}{\partial x^2} = -1,33 \text{ m};$$

$$M(4) = -3892kHm + 888,7kH \cdot 2,66m + 732kH \cdot 1,33m = 554,5kHm,$$

$$\alpha(4)^{''' \cdot} \Sigma F_i = (-0,204 - 0,27 - 0,5 - 0,43 - 0,054) = -1,458 \text{ kH} \cdot m^3;$$

$$\frac{\partial^3 \beta(x, l_1)}{\partial x^3} = -0,33; \quad \frac{\partial^3 \beta(x, l_2)}{\partial x^3} = -0,33;$$

$$Q(4) = -1,458 \text{ kH} + 888,7 \text{ kH} \cdot 0,33 + 732 \text{ kH} \cdot 0,33 = 269,4 \text{ kH},$$

Сравниваем полученные значения «ручного» расчета с расчетами, полученными на компьютере (по программе, работающей по приведенному выше алгоритму).

$$M_n = 536,055, \text{ kNm}, \quad Q_n = 288,032, \text{ kN}$$

где M_n , Q_n – момент и поперечное усилие, вычисленные по программе.

Находим погрешности вычислений

$$\delta_1 = \frac{M - M_n}{M} 100\% = \frac{554,5 - 536\text{m}}{554,5} 100\% = 3,42\%;$$

$$\delta_2 = \frac{Q - Q_n}{Q} 100\% = \frac{269,4 - 288\text{m}}{269,4} 100\% = -6,9\%;$$

Погрешности вполне приемлемы. Найденные погрешности являются результатом неточности «ручных» расчетов, поэтому все дальнейшие вычисления будем производить на компьютере, с использованием изложенного выше алгоритма (на основе функции Грина) [18,19,20,21].

Наиболее опасной схемой будем считать такую схему, при которой возникает самое большое значение изгибающего момента и (или) поперечной силы (рис.7).

Для нахождения этих внутренних усилий будем производить расчеты при различных положениях мостовых кранов на балке. Для этого будем перемещать краны относительно первоначального их положения ($x_3=6\text{m}$) влево и вправо, с шагом в 1м, и «ловить» невыгодное положение кранов.

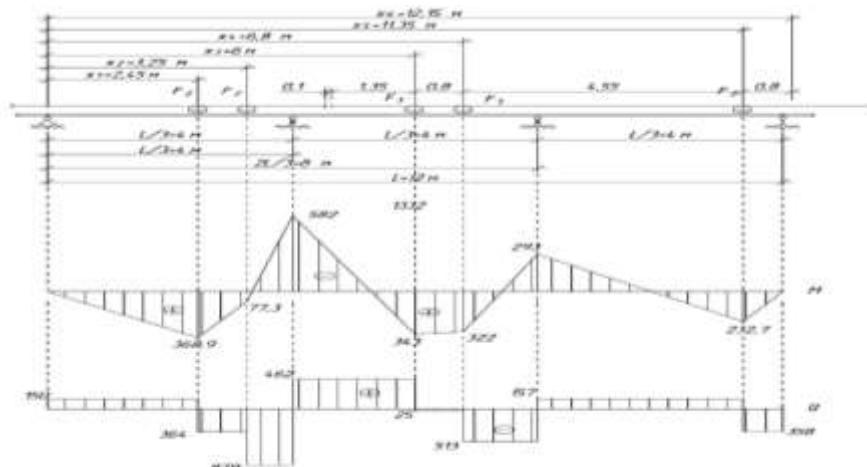


Рисунок 7 - Схемы эпюор моментов и поперечных сил, построенные по данным, рассчитанным с помощью разработанной программы

Вывод. Предлагаемый алгоритм, построенный на применении функции Грина, позволяет проводить расчеты, необходимые для подбора сечений элементов шпренгельных подкрановых балок с одной и двумя стойками.

Библиографический список:

1. Ажермачев С.Г. Приближенный метод расчета шпренгельных подкрановых балок. Строительство и техногенная безопасность. Вып. 37. - 2011.- С.34-39.
2. Егоров В.В. Григорьев П.Н. Колебания шпренгельных систем с составной балкой жесткости. Транспортное, промышленное и гражданское строительство. Известия ПГУПС. 2008.- №4. - с.17-24.
3. Егоров В.В. Работа предварительно напряженных шпренгельных систем в условиях динамических воздействий. Материалы VI научно-методической конференции ВИТУ (14 марта 2002 года). – СПб.: ВИТУ, 2002. – С. 86-91.
4. Клыков В.М., Лихтарников Я.М. Расчет стальных конструкций. М.:1975.- С.30-41.
5. Ливандовский Н.Н., Богатырева И.В. Усиление железобетонных балок шпренгельными затяжками и вложенными шпренгелями. XII международная конференция «Перспективы развития фундаментальных наук» Россия, Томск, 21-24 апреля 2015. - С.1338-1340.
6. Муселемов Х.М., Устарханов О.М., Юсупов А.К. Разработка и исследование шпренгельных балок новой раскройки. V Международная научно-практическая конференция «Научные исследования: от теории к практике». Технические науки. Чебоксары. 2015.- Т.2 - С.62-70.
7. «Металлические конструкции» – под редакцией Е.И. Беленя, Москва, Стройиздат, 1986.- С.382-384.
8. «Металлические конструкции» - под редакцией Ю.И. Кудишина, Москва, Академия, 2011. - С.439-442.
9. Сибгатуллин М.Т. Диссертация. Совершенствование металлодеревянных шпренгельных балок. 2003.- С.114-121.
10. Патент РФ 130333 РФ. МПК E04G 23/02. Шпренгель для усиления и обеспечения живучести изгибающего железобетонного элемента / В.С. Плевков, Г.И. Однокопылов, И.В. Богатырева. Заявлено 08.02.2013; Опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20. – 5 с.
11. Патент РФ на изобретение №2169242, E04 C 3/08. Шпренгельная ферма / Алексашкин Е.Н., Егоров В.В., Забродин М.П., Сметанин Д.С. Опубл. 20.06. 2001 Бюл. №17.
12. Патент РФ на изобретение №2169243, E04 C 3/10. Предварительно напряженная шпренгельная ферма / Егоров В.В., Алексашкин Е.Н. Опубл. 20.06. 2001 в Бюл. №17.
13. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции. Нормы проектирования. СНиП II-23-81*. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. - С.48-49.
14. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. СНиП 2.01.07-85*. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 2003. - С.6-7.
15. Стальные конструкции. Справочник конструктора. Под ред. Мельникова Н.П. М.: Стройиздат, 1980.- С.195-196.
16. СНиП II-23-81* «Стальные конструкции». Нормы проектирования - Москва, стройиздат, 1990г.- С.48-49.
17. СНиП 2-01-07-85* «Нагрузки и воздействия». - Москва, стройиздат, 1986г. -105с., с изм. на 1 января 1987г., 1 июля 1990г., 5 июля 1993г., 29 мая 2003г. - С.6-7.
18. Смирнов А.А. Развитие однопролетных несущих конструкций. Всероссийский журнал для профессионалов «СтройПРОФиль». Металлические конструкции. 2011-Т. 11- №4 - С.35-37.
19. Юсупов А.К. Металлические конструкции в вопросах, в ответах и в проектировании». ДГТУ. Махачкала, 2010. - С.222-231.
20. Юсупов А.К. Методы прикладной математики в строительной механике. Вестник Дагестанского государственного технического университета. 2008. - Т.8.-№1- С.80-82.

21. Hart F. (Munich), Henn V. (Braunschweig), Sontag H. (Berlin), *Atlas of steel structures*. Moscow: Stroyizdat, 1977, pp.37-84.

References:

1. Airmacau G. Approximate method of calculation of truss crane beams. Construction and industrial safety. Issue 37, 2011, pp. 34-39. (In Russian)
2. Egorov In. Grigoriev P.N. Fluctuations truss systems with composite beam stiffness. *Transportnoe, promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. Izvestija PGUPS Transport, industrial and civil construction*. [Proceedings of Petersburg transport University]. 2008, no. 4. pp.17-24. (In Russian)
3. Egorov In. Work prestressed truss systems in terms of dynamic effects. Materials of the VI scientific conference VITU (March 14, 2002). St. Petersburg: VITU, 2002, pp. 86-91. (In Russian)
4. Klykov V.M., Lihtarnikov Ja.M. Calculation of steel structures. Moscow:1975, pp. 30-41. (In Russian)
5. Lewandowski N.N., Bogatyrev I.V. Strengthening of reinforced concrete beams truss bongs and nested sprengereae. XII international conference of students and young scientists "Prospects of fundamental Sciences development" Russia, Tomsk, April 21-24, 2015, pp.1338-1340. (In Russian)
6. Muselemov H.M., Ustarhanov O.M., Jusupov A.K. Development and investigation of truss beams new cutting. In the scientific-practical international conference "Scientific research: from theory to practice". Technical Sciences. Cheboksary. 2015, vol. 2, pp. 62-70. (In Russian)
7. Belina E.I. Metal structures. Moscow: Stroyizdat, 1986, pp. 382-384. (In Russian)
8. Kudishin Y.I. Metal structures. Moscow: Akademija, 2011, pp. 439-442. (In Russian)
9. Sibgatullin M.T. Thesis. Improving wood truss beams. 2003, pp. 114-121. (In Russian)
10. RF patent 130333. IPC E04G 23.02. Sprengel to strengthen and ensure the survivability of bendable reinforced concrete elements. V. S. Spittles, G. I. Odinokaya, I. V. Bogatyrev. 08.02.2013 Stated; Publ. 20.07.2013, Bull., no. 20, 5 p. (In Russian)
11. RF patent for the invention №2169242, E04, From 3/08. Truss farm. Aleksashkin E.N., Egorov V.V., Zabrodin M.P., Smetanin D.S Publ. 20.06. 2001, Bull., no. 17. (In Russian)
12. RF patent №invention 2169243, E04 3.10. Pre-stressed truss farm. Egorov V. V., the role of E. N. Publ. 20.06. 2001, Bul. no.17. (In Russian)
13. Building regulations. Construction Steel. Design standards. SNiP II-23-81. Moscow: TSITP of USSR Gosstroy, 1990, pp. 48-49. (In Russian)
14. Building regulations. Loads and impacts. Design standards. SNiP 2.01.07-85 Moscow: TSITP of USSR Gosstroy, 2003, pp. 6-7. (In Russian)
15. Construction Steel. Handbook of the designer. Under the editorship of Melnikov N. P. Moscow: Stroyizdat, 1980, pp. 195-196. (In Russian)
16. SNiP II-23-81* Steel construction. Design standards. Moscow: Stroizdat, 1990, pp. 48-49. (In Russian)
17. SNiP 2-01-07-85* Loads and construction. Moscow: Stroyizdat, 1986, Rev. January 1, 1987, July 1, 1990, July 5, 1993, and 29 may 2003, pp. 6-7. (In Russian)
18. Smirnov A.A. the Development of single-span load-bearing structures. Russian journal for professionals. *Stroyprofil. The metal structure*. vol.11, no.4, 2011. pp. 35-37. (In Russian)
19. Yusupov A.K. A Metal structure in the questions, answers and design. *Dagestanskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Makhachkala*, 2010, pp. 222-231. (In Russian)
20. Yusupov A.K. Methods of applied mathematics in structural mechanics. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. 2008, vol.12, pp. 80-82. (In Russian)
21. Hart F. (Munich), Henn V. (Braunschweig), Sontag H. (Berlin), *Atlas of steel structures*. Moscow: Stroyizdat, 1977, pp.37-84.

Сведения об авторах.

Акаев Насрутдин Калимуллаевич – ассистент, кафедра строительных конструкций гидротехнических сооружений, кафедра строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

Юсупов Абусупьян Курашевич – доктор технических наук, профессор, кафедра строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

Authors information.

Nasrudin K. Akayev – Assistant Professor, Department of structures and hydraulic structures.

Abusupyan K. Yusupov – Doctor of technical Sciences, Professor, Department of structures and hydraulic structures.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 01.06.2016.

Conflict of interest

Received 01.06.2016.

Принята в печать 30.06.2016.

Accepted for publication 30.06.2016.

Для цитирования: Алиев Р.М., Гумаров Р.К. ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРЕСКО-КАСПИЙСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА НА ТЕРРИТОРИИ РАВНИННОГО ДАГЕСТАН. *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2016;42 (3):131-143. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-131-143

For citation: Aliev R.M., Gumarov R.K. THE TEREK-CASPIAN FOREDEEP OIL AND GAS CONTENT IN THE TERRITORY OF THE DAGESTAN PLAIN. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2016;42 (3):131-143. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-131-143

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 553.98

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-131-143

Алиев Р.М.¹, Гумаров Р.К.²

¹Дагестанский государственный технический университет,

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

¹ e-mail:n-guseinova@mail.ru

²ООО «ЮЙЛ менеджмент» 117246, г.

Москва, Научный проезд, дом 19,

² e-mail:geopromooo@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРЕСКО-КАСПИЙСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА НА ТЕРРИТОРИИ РАВНИННОГО ДАГЕСТАН

Аннотация. Цель. В статье на основе анализа данных современной и предшествующей геолого-геофизической информации оцениваются перспективы нефтегазоносности участка недр на территории равнинного Дагестана. **Методы.** Рассмотрена краткая история геологического развития и сейсмостратиграфическая характеристика региона. Приведена литолого-стратиграфическая характеристика разреза. Определены области формирования потенциальных ловушек. **Результаты.** Представлены результаты AVO-анализа. Установлено, что точность прогноза нефтегазоносности по результатам AVO-анализа определяется глубиной залегания объекта исследования и характером его углеводородного насыщения. По величине отклонения значений параметров AVO-анализа можно прогнозировать газовое и нефтегазоконденсатное насыщение. **Вывод.** Предложена стратегия «аналогового» освоения Дагестанского сектора шельфа Каспийского моря.

Ключевые слова: сейсмика, AVO-анализ, ловушка, нефтегазоносность

Rasul M. Aliev¹, Rinat K. Gumarov²

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015 e-

mail:n-guseinova@mail.ru,

ООО «ЮЛ 1 management»,

19 Scientific passage Ave, Moscow, 117246,

e-mail:geopromooo@yandex.ru

THE TEREK-CASPIAN FOREDEEP OIL AND GAS CONTENT IN THE TERRITORY OF THE DAGESTAN PLAIN

Abstract. Aim. In article on the basis of the modern data given analysis and previous geological and geophysical information are marked the prospects of subsurface oil and gas content on the territory Dagestan Plain. **Methods.** A brief history geological development and seismostratigraphic characteristics of the region are presented. Determined is the formation of the potential trap. **Results.** It is presented the results of AVO-analysis. It was found that the accuracy of the forecast of oil and gas potential on the results of AVO-analysis determined depth of the research object and the nature of its hydrocarbon saturation. The magnitude of the deviation values of AVO-analysis parameters can pre-

dict gas and oil and gas saturation. Conclusion. The proposed strategy of «analogue» development Dagestan sector of the Caspian sea shelf.

Key words: seismicity, AVO-analysis, trap, oil and gas content

Введение. Рассматриваемый участок недр расположен в пределах Терско-Сулакской равнины (рис 1). В геоморфологическом плане расположен на территории Терско-Сулакской дельто-аллювиально – морской современной равнины.

В структурно-тектоническом отношении участок расположен в пределах Сулакской депрессии Терско-Каспийского передового прогиба. В нефтегазоносном плане участок недр относится к Терско-Сулакскому нефтегазоносному району Терско-Каспийской нефтегазоносной области Северо-Кавказско-Мангышлакской провинции [1, 2].



Рисунок 1 - Обзорная схема расположения участка недр Сулакский

Постановка задачи. Литолого-стратиграфическая характеристика разреза. Осадочный разрез района сложен преимущественно терригенными и карбонатными отложениями мезокайнозоя и представлен песчаниками, глинами, алевролитами, мергелями [3].

Литолого-стратиграфическая характеристика разреза приводится по данным параметрической скважины Сулакская-1 (рис. 2).

Параметрическая скважина Сулакская-1 была пробурена в 1984 году по результатам сейсморазведочных работ МОГТ, проведенных в 1980 году на Сулакской площади, с целью изучения литолого-стратиграфической характеристики разреза, сейсмогеологических условий, а также оценки перспектив нефтегазоносности среднемиоценовых отложений. Скважина в интервале от 0 до 4008 метров вскрыла разрез отложений от четвертичных до тарханского яруса

среднего миоцена. В процессе бурения скважины было проведено испытание трех объектов в интервалах 3988-4015 м, 4108-4154 м, 4244-4303 м. Согласно заключению по результатам испытаний первые два объекта характеризовались как газоводонасыщенные, а третий объект, как водонасыщенный.

Потенциальные дебиты оценивались в следующих объемах: по первому объекту - воды 1 757 м³/с, газа 1236 647 м³/с; по второму объекту - воды 1 785 м³/с, газа 428 169 м³/с. Результаты обобщения материалов станции геологического контроля, газокаротажной станции испытания в открытом стволе, изучения керна и промыслового-геофизических исследований, выполненного в 1984 г. в объединении «Дагнефть», показали, что в разрезе скважины отсутствуют пласти промышленные интереса в отношении нефтегазоносности. На основании этого параметрическая скважина Сулакская-1 была ликвидирована, как выполнившая своё геологическое назначение.

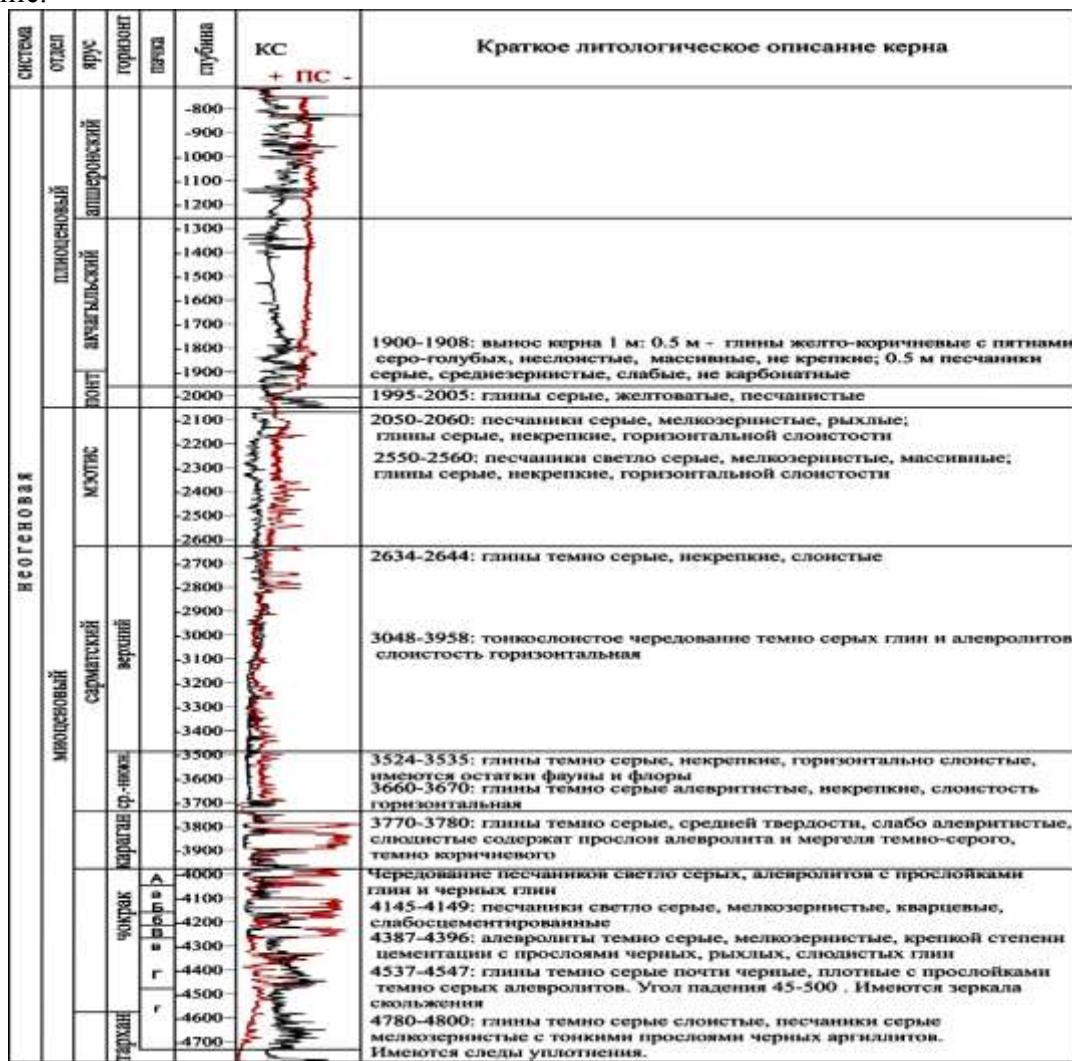


Рисунок 2-Литолого-стратиграфическая характеристика неогеновых отложений участка недр Сулакский

Методы исследования. Изучаемый участок находится в пределах континентальной части Сулакской впадины Терско-Каспийского прогиба (ТКП). В геологической истории формирования осадочного бассейна ТКП выделяются 7 этапов: доюрский, юрско-эоценовый, олигоцен-нижнемиоценовый, среднемиоценовый, верхнемиоценовый, нижне-среднеплиоценовый и верхнеплиоценовый [4].

1 этап. В триасе от Восточно-Европейского палеоконтинента были отторгнуты континентальные блоки Северного Кавказа, в результате чего в регионе сформировался глубоководный бассейн с палеозойским складчатым основанием.

2 этап. В нижнеюрское время бассейн заполнялся глинистыми отложениями. В конце средней юры регион подвергся сжатию, в результате которого образовались поднятие и произошло обмеление бассейна. В поздней юре терригенная седиментация сменилась преимущественно мелководной карбонатной. В палеоцене-эоцене снижение уровня моря привело к формированию глинисто-карбонатной толщи (фораминиферовый слой).

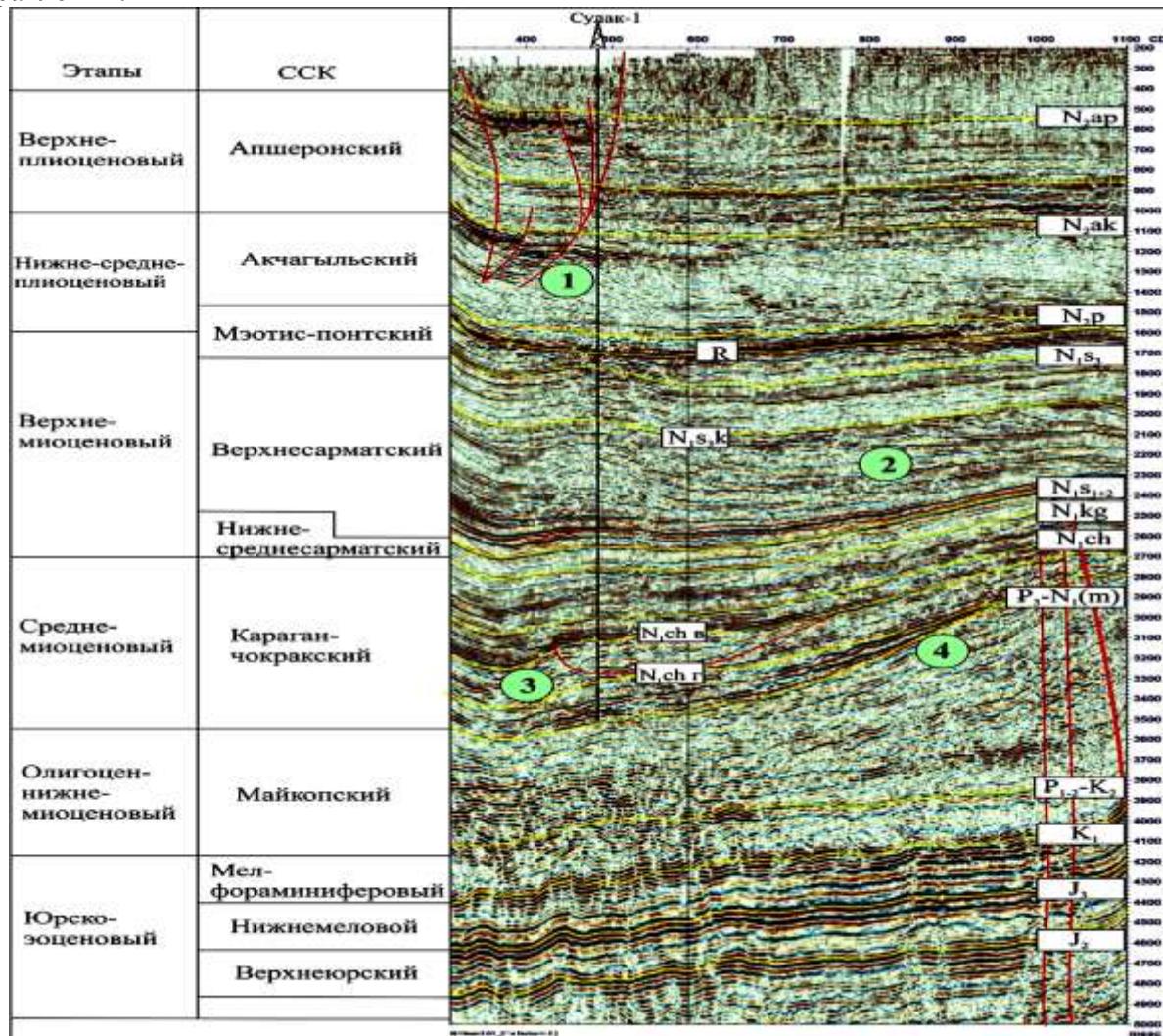
3 этап. В олигоцен-нижнемиоценовое время карбонатное осадконакопление сменилось терригенным. На северном борту прогиба формировались клиноформные комплексы, на южном борту, в условиях более высокой тектонической активности, происходило образование подводнооползневых горизонтов.

4 этап. В среднемиоценовое время некомпенсированный майкопский прогиб заполнялся с подошвенным налеганием преимущественно песчано-алевролитовыми осадками.

5 этап. В верхнемиоценовое время началось воздымание Кавказского орогена. Строение сарматского клиноформного комплекса указывает на то, что снос терригенного материала происходил с юго-запада на северо-восток. С нарастающей до середины верхнего сармата интенсивностью.

6 этап. В нижне-среднеплиоценовое время усилился процесс воздымания Кавказа. Начала формироваться фронтальная часть Дагестанского клина.

7 этап. Наиболее резкое поднятие имело место в предакчагыльское время. При этом активизировались горизонтальные движения толщ Дагестанского клина в северо-восточном направлении.



2 - отображение зон формирования потенциальных ловушек углеводородов
Рисунок 3 - Сейсмостратиграфическое расчленение осадочного комплекса в пределах участка недр Сулакский

Формирование Дагестанского клина сопровождалось образованием тектонических нарушений различной ориентировки, в том числе и на относительном удалении от фронтальной зоны складчатости [8]. Стратиграфические перерывы на границах этапов и изменение структуры осадочных толщ наглядно отображаются в сейсмическом волновом поле. На рис. 3 приведен фрагмент регионального сейсмического профиля RegVII, на котором в сопоставлении с геологическими этапами приведены 10 сейсмостратиграфических комплексов (ССК). На этапе обобщения данных по региональным профилям МОГТ были выделены аномалии сейсмического волнового поля, связанные с потенциальными ловушками углеводородов.

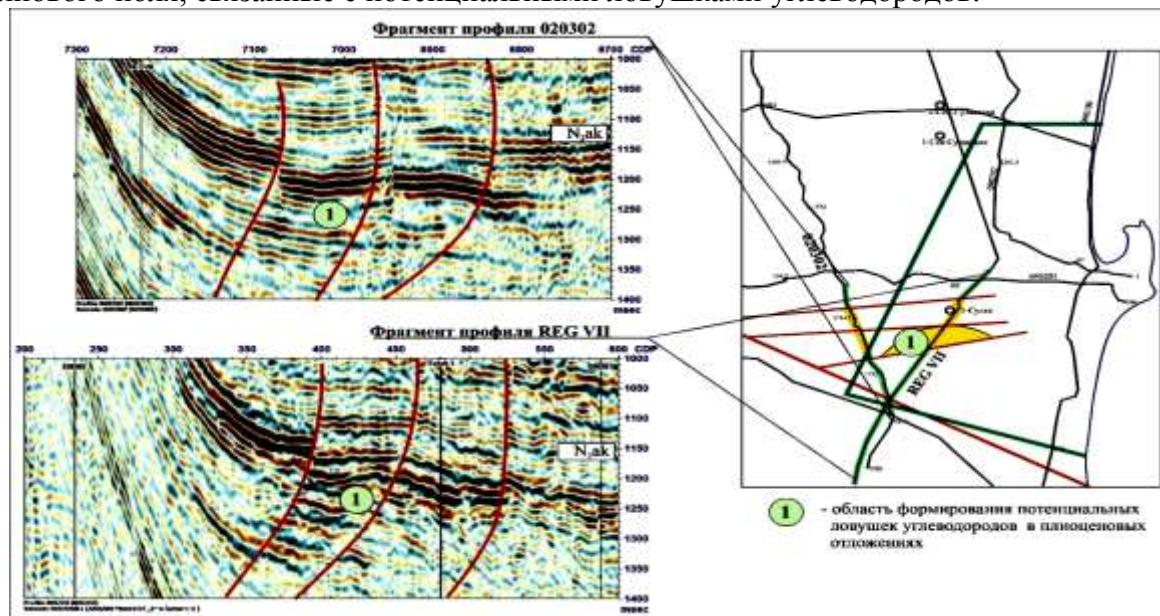


Рисунок 4 - Приразломные потенциальные ловушки углеводородов в плиоценовых отложениях

В юго-западной части участка недр по результатам интерпретации профилей RegVII и 020302 выделяется область возможного формирования ловушки углеводородов в плиоценовых отложениях (рис. 4). Данные ловушки могут быть сформированы тектоническим экранированием пластов коллекторов в пределах локального антиклинального поднятия [15]. В северо-западной части участка недр на профиле RegVII выделяется серия антиклинальных перегибов по пластам верхнесарматских клиноформных комплексов (рис. 5).

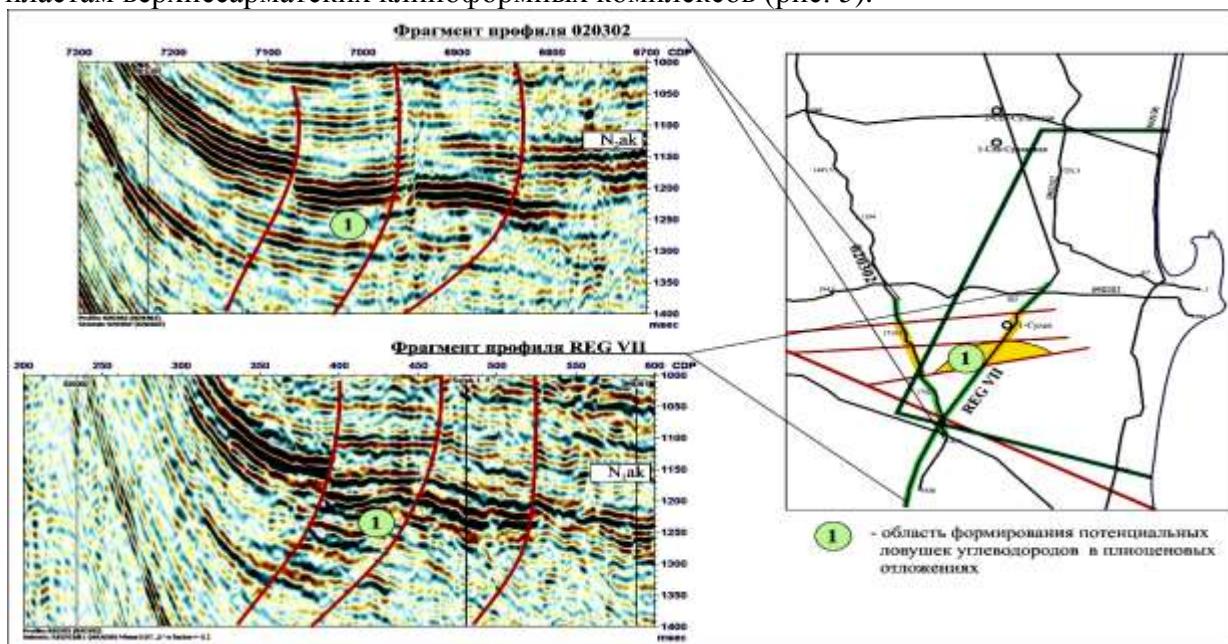


Рисунок 5 - Приразломные потенциальные ловушки углеводородов в плиоценовых отложениях

Исходя из региональной пространственной ориентировки и строения клиноформных комплексов, в условиях моноклинального залегания осадочных толщ, можно предположить наличие литологических локально замкнутых поисковых объектов [5, 11]. В центральной части участка недр по результатам интерпретации профилей RegVII и 090201 в чокракских отложениях локализована потенциальная ловушка углеводородов, связанная с тектоническим нарушением сколового типа (рис. 6). На её перспективность указывают газопроявления в чокракских отложениях, выявленные в ходе испытаний скважины Сулакская-1, расположенной на южном окончании предполагаемой залежи.

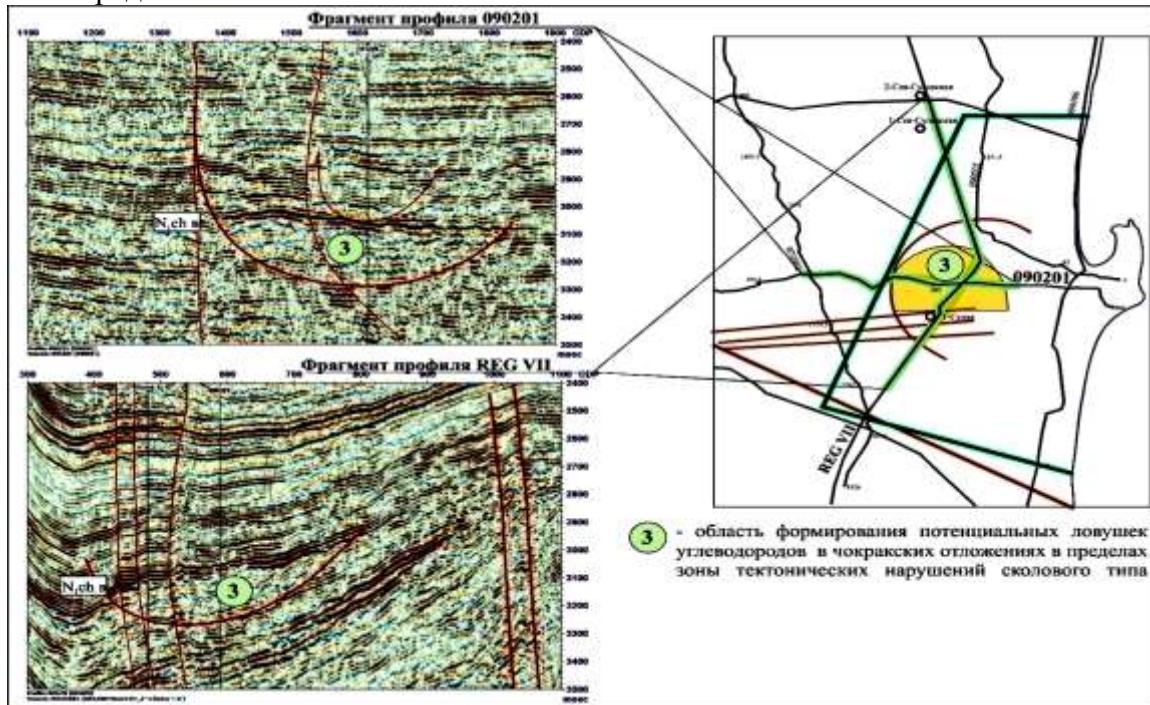


Рисунок 6 - Потенциальнаялитолого-стратиграфическая ловушка углеводородовсколового типа в чокракских отложениях

На профиле RegVII на трассах 760-940 выделены амплитудные аномалии отражений, связанных с пачкой «г» в низах чокракского горизонта (рис. 7).

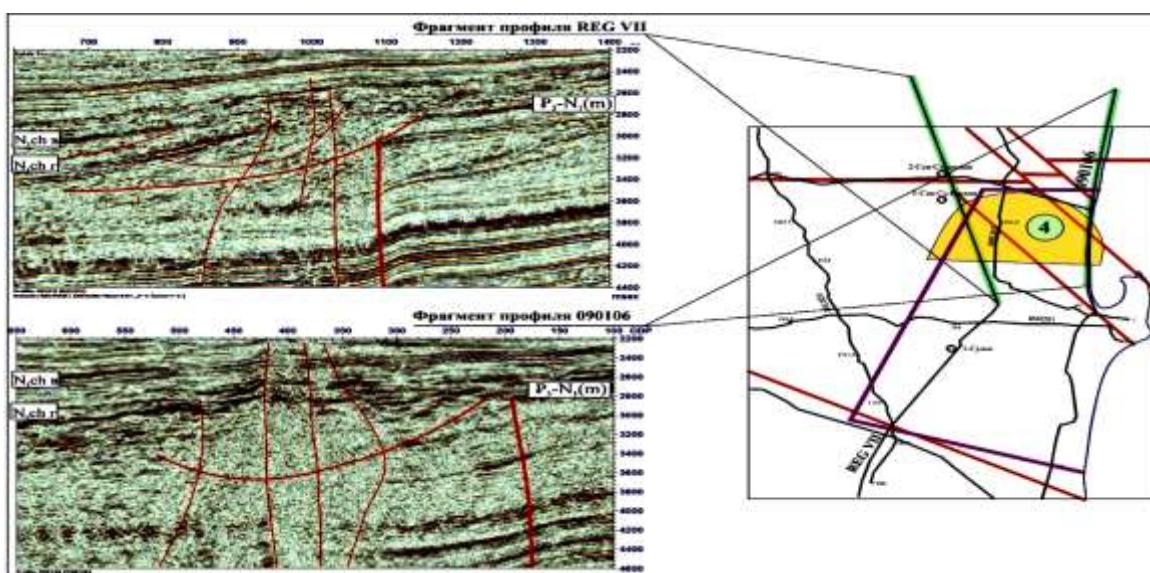


Рисунок 7 - Потенциальные литолого-стратиграфические и тектонически экранированные ловушки углеводородов в чокракских отложениях

Данные аномалии связываются с зоной повышения песчанистости отложений при переходе от относительно глубоководных условий седиментации к мелководным, и последующим выклиниванием пластов [14]. Помимо выклинивания пласты пород-коллекторов могут быть ограничены вверх по восстанию и тектоническими нарушениями, которые сопровождали внедрение верхнемайкопских толщ в чокракские отложения. Наиболее интенсивно эти процессы проявляются на временном разрезе профиля 090106 (трассы 500-300). В этой зоне возрастает вероятность выявления тектонически экранированных ловушек.

В 2014 году ОАО «Ставропольнефтегеофизика» выполнило площадные сейсморазведочные работы МОГТ 2Д в объеме 298 пог. км, переобработку 200 пог. км ранее отработанных ОАО «Ставропольнефтегеофизика» сейсмопрофилей и переинтерпретацию всех сейсмических данных, включая данные по региональным сейсмическим профилям ОАО «Грознефтегеофизика», ФГУ ГНПП «Спецгеофизика» и ОАО «Краснодарнефтегеофизика». Общий объем сейсмических данных, использованных при анализе и структурных построениях составил 920 пог. км.

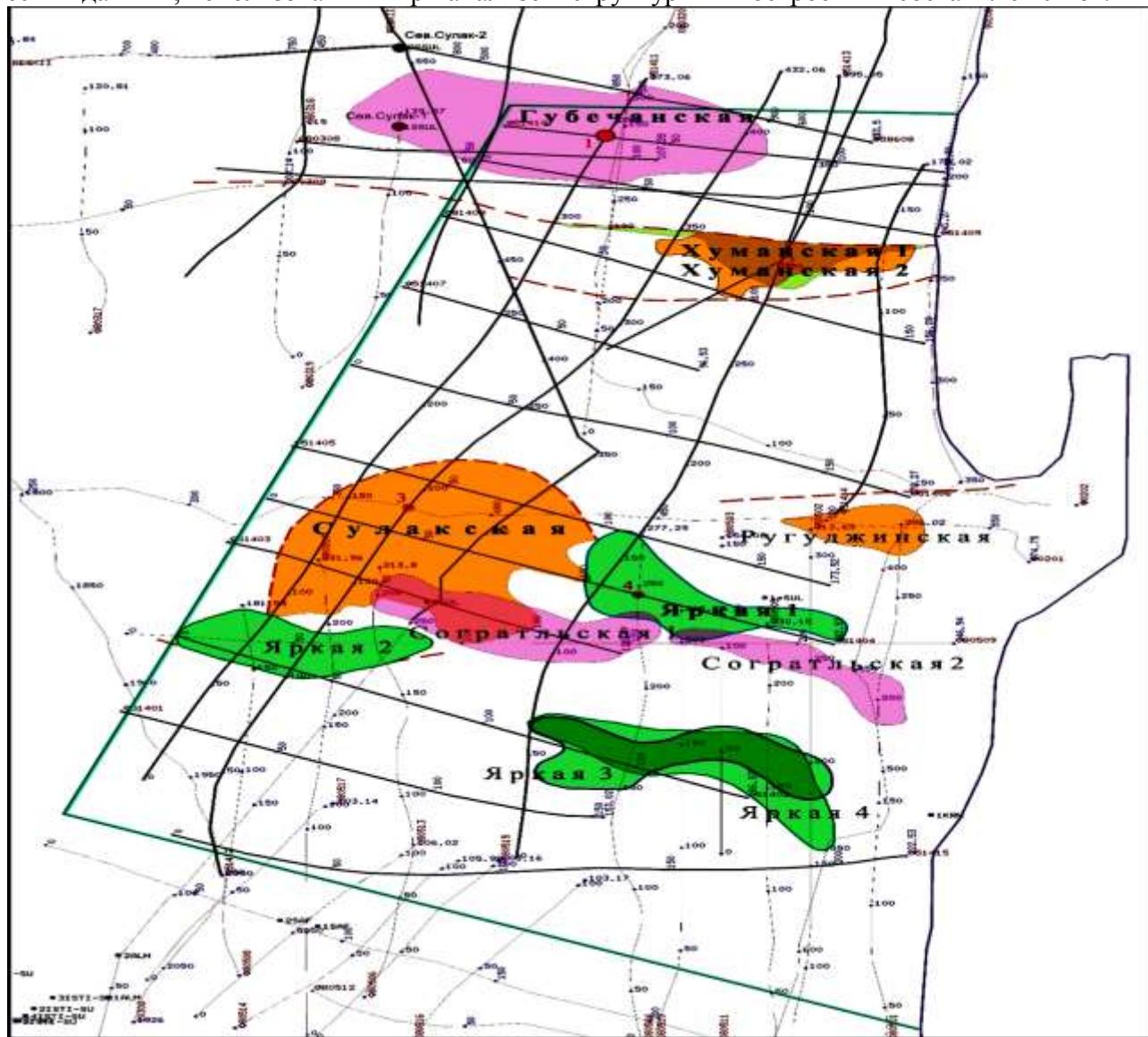


Рисунок 8 - Схема расположения выявленных по результатам сейсморазведочных работ потенциальных ловушек углеводородов в чокракских отложениях (Хаманская, Сулакская, Ругуджинская), сарматских отложениях (Губечанская, Согратльские 1 и 2), в Апшеронских отложениях (Яркие 1-4)

Обсуждение результатов. В результате комплексной геолого-геофизической интерпретации на территории Сулакского лицензионного участка в плиоцен-неогеновых отложениях выявлено 11 перспективных объектов (рис. 8), на 4-х из которых подготовлены паспорта структур и по которым на учет Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации месторождений на 01.01.2015 г. поставлены ресурсы категории С3 в суммарном объеме: по газу 89 356 трлн. м³, по нефти 39 580/13 457 тыс. т (геологические/извлекаемые). Из подготовленных к поисково-оценочному бурению объектов наиболее перспективной на выявление залежи углеводородов является Губечанская структура. Губечанская структура приурочена к антиклинальному осложнению шельфовой части верхнесарматской клиноформы. Она образует линейно-вытянутую с востока на запад антиклинальную складку, замыкающуюся по изогипсе -2440 м, размеры складки составляют 6,3 км × 2,3 км, высота около 25 м. В своде структуры выделяется сейсмическая амплитудно-частотная аномалия.

На вероятную продуктивность Губечанской структуры указывает сопоставление данных ГИС скважин Северо-Сулакская-1 и Северо-Сулакская-2 (рис. 9).

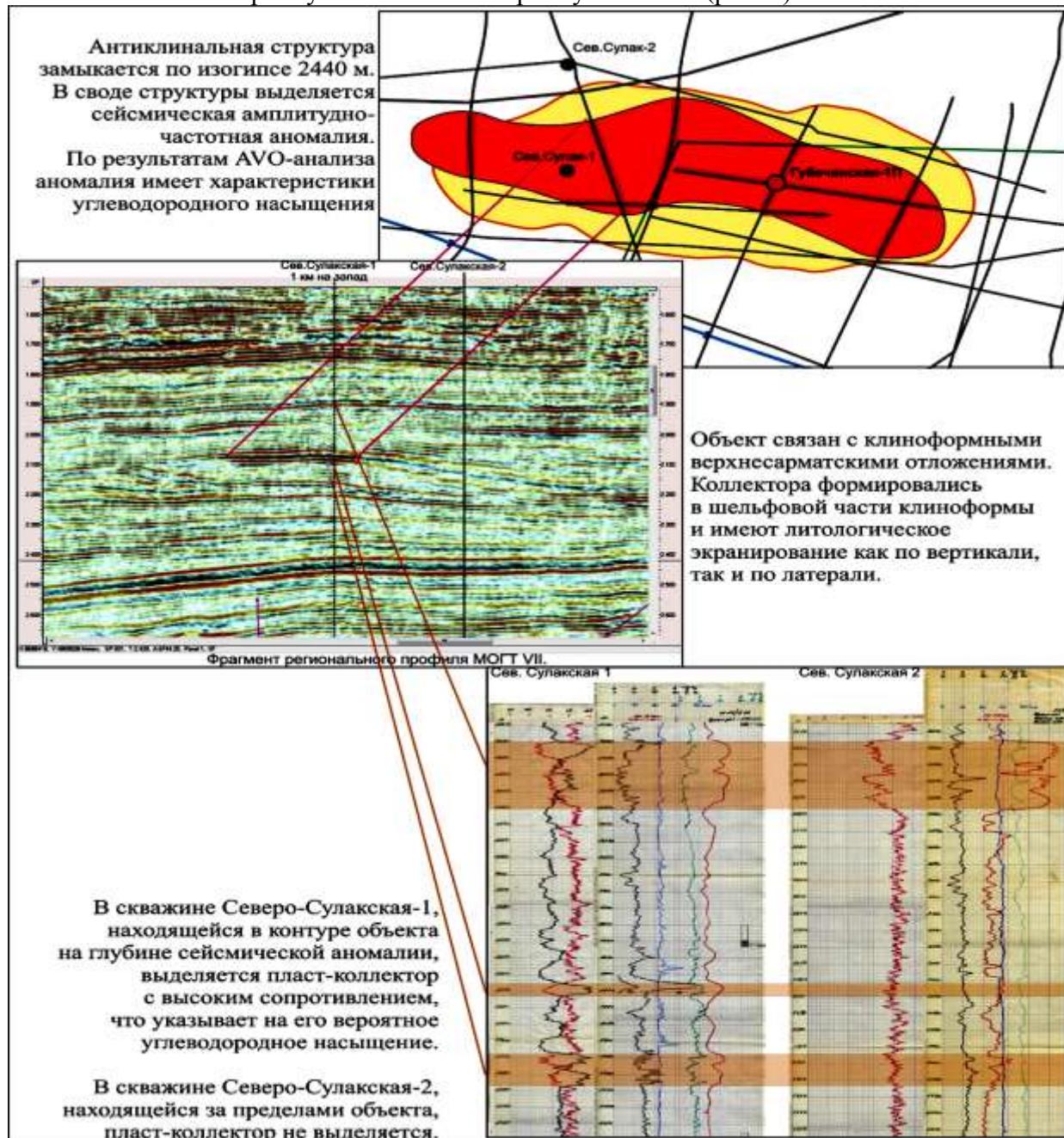
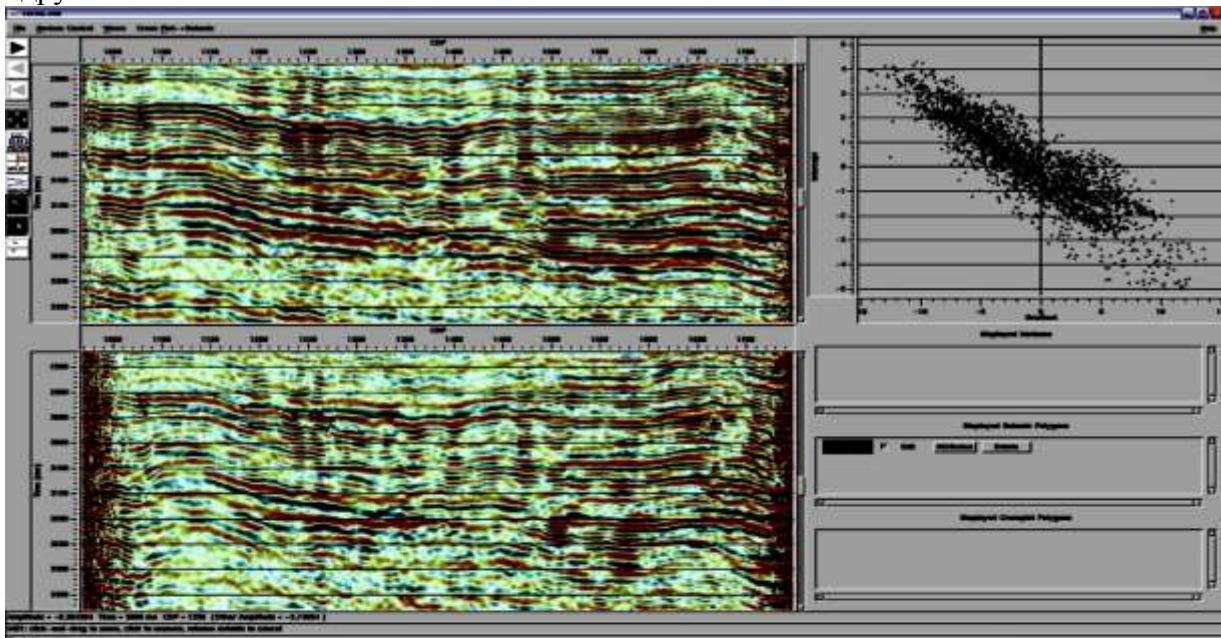


Рисунок 9 - Геолого-геофизические предпосылки нефтегазоносности Губечанской структуры

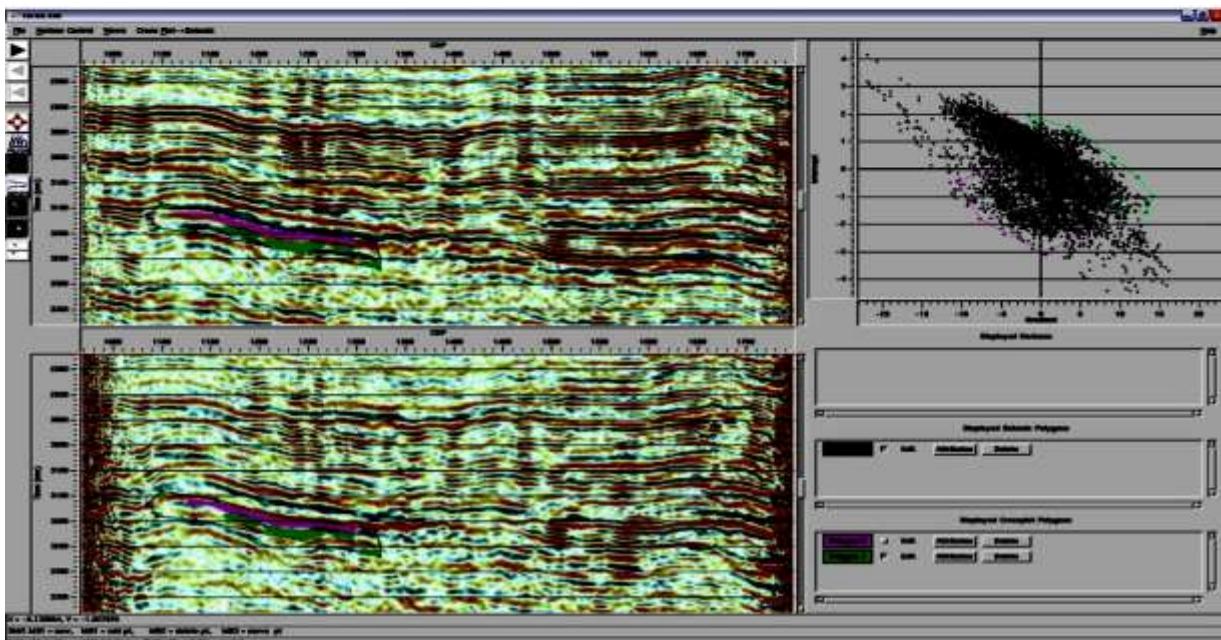
В скважине Северо-Сулакская-1, находящейся в контуре структуры на глубине сейсмической аномалии, выделяется пласт-коллектор с высоким сопротивлением, что указывает на его вероятное углеводородное насыщение. В скважине Северо-Сулакская-2, находящейся за пределами объекта, пласт-коллектор не выделяется.

Для оценки возможного углеводородного насыщения коллектора был проведен AVO-анализ [5, 12, 13]. На cross plot были выделены три овала: центральный крупный, характеризующий фоновые значения и два оперяющих меньшего размера, соответствующих кровле (отрицательная область) и подошве (положительная область). Подобное распределение характерно для коллекторов с углеводородным насыщением [9,10].

Подтверждение перспектив нефтегазоносности по результатам AVO-анализа получены и на других объектах.

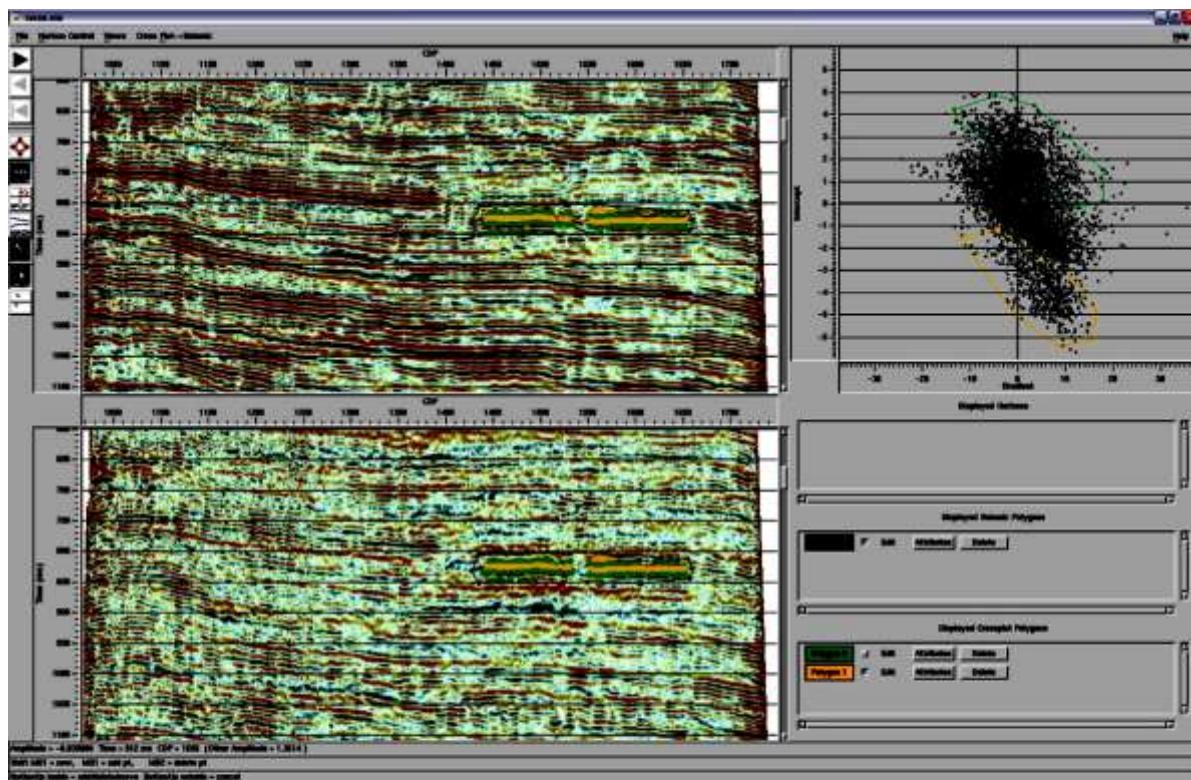


а. Окно AVO-анализа в кровле караган-чокракских отложений

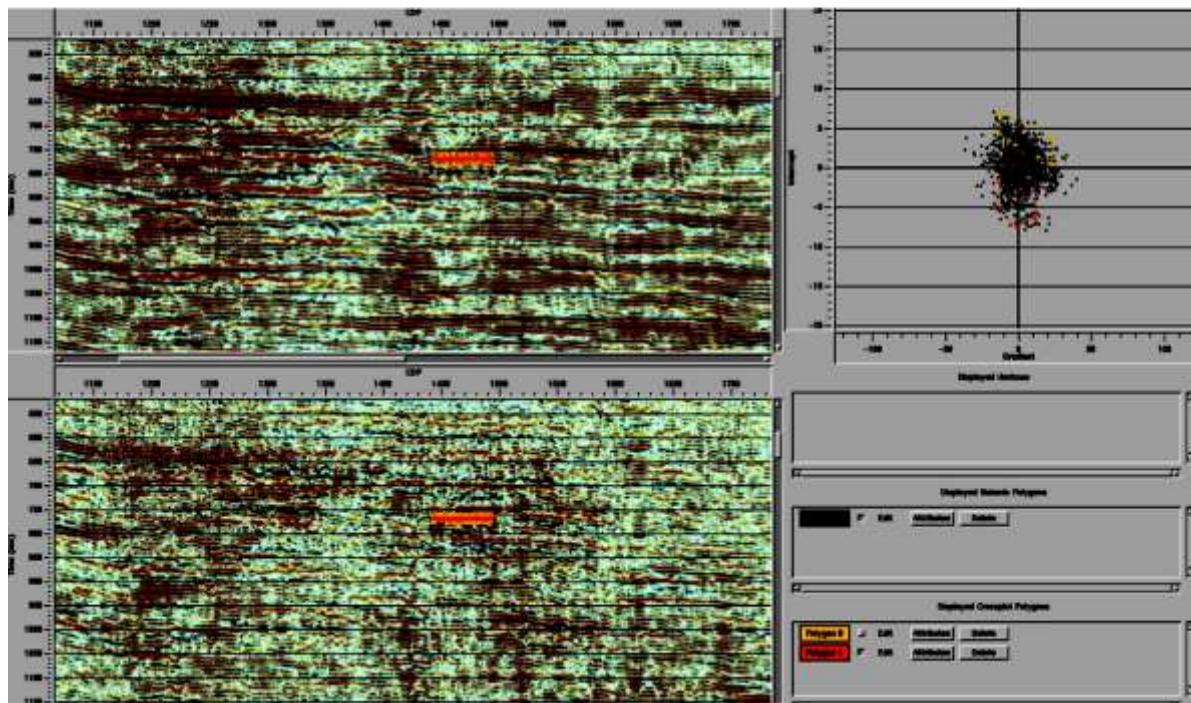


б. Окно AVO-анализа в низах чокракских отложений

Рисунок 10 - Структура Сулакская, профиль 051404. Сопоставление результатов AVO-анализа в кровле караганских отложений и в низах чокракских отложений



а. AVO-анализ по профилю 051404, объект Яркая-1



б. AVO-анализ по профилю 051411, объект Яркая-2

Рисунок 11 - Сопоставление результатов AVO-анализа по объектам Яркая-1 и Яркая-2 в ашеронских отложениях

На рис. 10 иллюстрируется сопоставление результатов AVO-анализа амплитудных аномалий по кровле караганских отложений и в низах чокракских отложений. Аномалия в кровле караганских отложений имеет вид узкого линейного облака, что характерно для акусти-

чески жесткой отражающей границы. Аномалия в низах чокракских отложений имеет вид широкого линейного облака с явно выраженным боковыми лепестками, условно именуемое «бабочкой». Подобное распределение характерно для отложений с углеводородным насыщением [6,7]. Более контрастную картину можно наблюдать по объектам в плиоценовых отложениях (рис. 11).

Точность прогноза нефтегазоносности по результатам АВО-анализа определяется глубиной залегания объекта исследования и характером его углеводородного насыщения: на глубине до 1,5 км эффект выше, чем на глубине более 2,5 км, для газонасыщенного коллектора эффект выше, чем для нефтенасыщенного.

По величине отклонения значений параметров АВО-анализа можно прогнозировать в плиоценовых объектах газовое насыщение, в сарматских и чокракских – нефтегазоконденсатное насыщение.

Вывод. В результате комплексной геолого-геофизической интерпретации на территории Сулакского лицензионного участка в плиоцен-неогеновых отложениях выявлено 11 перспективных объектов, на 4-х из которых подготовлены паспорта структур и, по которым на учет Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации месторождений на 01.01.2015 г. поставлены ресурсы категории С3 в суммарном объеме: по газу 89 356 трлн. м³, по нефти 39 580/13 457 тыс. т (геологические/извлекаемые).

Участок недр «Сулакский» находится в пределах области сопряжения юго-западного борта Терско-Каспийского прогиба и фронтальной части Дагестанского клина. Аналогичные тектоно-седиментационные условия имеют отложения 12-ти мильной зоны Дагестанского сектора шельфа Каспийского моря. Результаты поисково-оценочного бурения на локализованных в пределах участка недр «Сулакский» потенциальных нефтегазоносных объектов являются «ключом» к освоению их аналогов в пределах Дагестанского сектора шельфа Каспийского моря.

Библиографический список:

1. Шарафутдинов Ф.Г., Мирзоев Д.А., Алиев Р.М, Серебряков В.А. Геология нефтегазовых месторождений Дагестана и прилегающей акватории Каспийского моря. -Махачкала.: 2001- 297 с.
2. Немцов Н.И., Гумаров Р.К., Капалин А.Б., Алиев Р.М. Новые объекты поисков УВ на российском шельфе Каспия (Республика Дагестан). - Геология нефти и газа, 2011, № 2, с. 56-63.
3. Бинкин И. Г., Мосякин А. Ю., Бусыгин И. Н. АВО и многоволновая сейсморазведка при прогнозе залежей углеводородов в терригенном разрезе Западного Предкавказья // Геофизика.-2000.-№ 3 С. 18-20.
4. Бусыгин И.Н., Мосякин А.Ю., Бусыгин А.И. Методика прогноза УВ-насыщения в условиях терригенного разреза на основе АВА-анализа сейсмических данных // Геофизика.-спец. выпуск. Технологии сейсморазведки- 2002.- С. 96-100.
5. Валиев С.Г.. Ли И. А. Результаты АВО-анализа сейсмических записей на нефтегазовых месторождениях шельфа Сахалина Геофизика.-2003.-№ 2. - С.21—26.
6. Иноземцев А.Н., Коростышевский М.Б., Воскресенский Ю. Н., Баранский Н. Л. Бадейкин А. Н. Влияние спектральных характеристик сейсмических сигналов на образ и класс АВО-аномалий в тонкослоистых средах // Геофизика.- спец. выпуск. Технологии сейсморазведки-II- 2003.- С. 167-172.
7. Алиев Р.М., Немцов И.Н., Немцов Н.И., Бадаев Г.Б.. Сравнительная тектоника и нефтегазоносность территории суши и шельфа Южного Дагестана. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Махачкала 2012, Т.25, № 2.- С. 58 – 64.
8. Сабанаев К.А. Каспийский мегабассейн, особенности геодинамики и нефтегазоносность. Махачкала, «Лотос», 2014 – 320 с.
9. Лебедев Л.И. Перспективы поисков залежей нефти и газа в Южно-Каспийской впадине. М.: Научный мир 2001. с 74 – 77.
10. Castagna J.P., Bazle M.L., Eastwood, R.L. Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks. *Geophysics*, 1985, vol. 50, pp. 571-581.

11. Castagna J.P., Bazle M.L., Kan T.K. Rock physics. The link between rock properties and AVO response, in Castagna J.P. and Backus M.M., Eds., *Offset-dependent reflectivity. Theory and practice of AVO analysis. Soc. Expl. Geophys*, 1993, pp. 135-171.
12. Castagna J. P., Smith S. W. Comparison of AVO indicators: A modeling study. *Geophysics*, 1994, vol. 59, pp. 1849-1855.
13. Castagna J.P., Swan H.W., Foster D.J. Framework for AVO gradient and intercept interpretation. *Geophysics*, 1998, vol. 63, no. 3, pp. 948-956.
14. Debski W., Tarantola A. Information on elastic parameters obtained from the amplitudes of reflected waves. *Geophysics*, 1995, vol. 63, no 5, pp. 1426- 1436.
15. Rutherford S. R, Williams R.H., Amplitude-versus-offset variations in gas sands. *Geophysics*, 1989, no.54, pp. 680-688.

References:

1. Sharafutdinov F.G., Mirzoev D.A., Aliev R.M., Serebryakov V.A. Geology oil and gas fields in Dagestan and adjacent shelf of the Caspian sea. Makhachkala 2001, 297 p. (In Russian)
2. Nemtsov N., Gumarov R.K., Kapalin, A.B., Aliev R.M. New objects of prospecting of hydrocarbons on the Russian shelf of the Caspian sea (Republic of Dagestan). *The oil and gas Geology*, 2011, no. 2, pp. 56-63. (In Russian)
3. Binkin I.G., Mosyakin A.Yu., Busygin I.N. AVO and multiwave seismic exploration at the forecast of deposits of hydrocarbons in a terrigenous section of the Western Ciscaucasia. *Geophysics*.2000, no. 3, pp. 18 - 20. (In Russian)
4. Busygin I.N., Mosyakin A.Yu., Busygin A.I. The method of the forecast of UV-saturation in the conditions of a terrigenous section on the basis of the AVA analysis of seismic data. *Geophysics. Special release. Technologies of seismic exploration*. 2002, pp.96-100. (In Russian)
5. Valiyev S G. Li I.A. Results of the AVO-analysis of seismic recordings on oil and gas fields of the shelf of Sakhalin. *Geophysics*. 2003, no.2, pp. 21 - 26. (In Russian)
6. Inozemtsev A.N., Korostyshevsky M.B., Voskresensky Yu.N., Baransky N.L. Badeykin A. N. Influence of spectral characteristics of seismic signals on an image and a class of AVO-anomalies in thin-layer environments. *Geophysics. - special release. Technologies of seismic exploration II*, 2003, pp.167 - 172. (In Russian)
7. Aliyev R.M., Nemtsov I.N., Nemtsov N.I., Badarov G.B. Comparative tectonics and oil-and-gas content of the land area and shelf of Southern Dagestan. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. Makhachkala, 2012, vol. 25, no.2, pp.58 – 64. (In Russian)
8. Sabanayev K.A. Pool Caspian megabass, features of geodynamics and oil-and-gas content. *Makhachkala, "Lotus"*, pp.2014 - 320. (In Russian)
9. Lebedev L.I. The prospects of searches of deposits of oil and gas in the Southern Caspian hollow. *Moscow: Scientific world of*, 200, pp. 74 - 77. (In Russian)
10. Castagna J.P., Bazle M.L., Eastwood, R.L. Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks. *Geophysics*, 1985, vol. 50, pp.571-581.
11. Castagna J.P., Bazle M.L., Kan T.K. Rock physics. The link between rock properties and AVO response, in Castagna J.P. and Backus M.M., Eds., *Offset-dependent reflectivity. Theory and practice of AVO analysis. Soc. Expl. Geophys*, 1993, pp.135-171.
12. Castagna J.P., Smith S.W. Comparison of AVO indicators: A modeling study. *Geophysics*, 1994, vol. 59, pp.1849-1855.
13. Castagna J.P., Swan H.W., Foster D.J. Framework for AVO gradient and intercept interpretation. *Geophysics*, 1998, vol. 63, no.3, pp.948-956.
14. Debski W., Tarantola A. Information on elastic parameters obtained from the amplitudes of reflected waves. *Geophysics*, 1995, vol. 63, no 5, pp.1426- 1436.
15. Rutherford S.R, Williams R.H. Amplitude-versus-offset variations in gas sands. *Geophysics*. 1989, no.54, pp.680-688.

Сведения об авторах.

Алиев Расул Магомедович – доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой бурения нефтяных и газовых скважин.

Гумаров Ринат Камильевич – заместитель генерального директора по геологоразведке.

Authors information.

Rasul M. Aliev – doctor of technical Sciences, Professor, head of Department of drilling oil and gas wells.

Rinat K. Gumarov –Deputy General Director for exploration.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 22.06.2016.

Принята в печать 20.08.2016.

Conflict of interest

Received 22.06.2016.

Accepted for publication 20.08.2016.

Для цитирования: Белова Н.А., Страхова Н.А., Цамаева П.С. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМА ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016; 42 (3): 144-154. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-144-154

For citation: Belova N.A., Strakhova N.A., Tsamaeva P.S. THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY PRODUCTION OF BITUMEN FOR THE ROAD PAVING. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):144-154. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-144-154

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 625.765

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-144-154

Белова Н.А³, Страхова Н.А.¹, Цамаева П.С.²

¹Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф.Ушакова,
353918, г. Новороссийск, пр-т Ленина, 93.

e-mail: strakhova_na@mail.ru

²Грозненский государственный нефтяной технический университет имени
академика М.Д. Миллионщикова,
г. Грозный, ул. Х.А. Исаева 100.

e-mail:ayub_777@mail.ru

³Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Астрахань, ул. Татищева, 18.

³e-mail:astra belova@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМА ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Аннотация. Цель. Аналитически обобщить особенности развития технологии производства битума для дорожных покрытий. Выявить преимущества применения в дорожном строительстве нефтяных (искусственных) битумов, получаемых переработкой нефтяного сырья. **Методы.** Современные разработки в области производства битумов дорожных марок ведутся с использованием такого технологического приема как химическое активирование тяжелого нефтяного сырья, принципы которого базируются на регулировании энергии межмолекулярного взаимодействия и оптимизации их дисперсности, позволяющих повысить качество битумов. **Результаты.** Регулируя глубину отбора окисленного продукта, можно получать различные по компонентному составу, пластичности и теплостойкости битумы. Остаточные битумы, полученные по двухстадийному окислению с последующей вакуумной перегонкой окисленного продукта, соответствуют ГОСТ БНД 60/90. Вакуумный газойль при производстве остаточных битумов соответствует моторному топливу для судовых установок. **Вывод.** Внедрение новых технологий при переработке остаточных компонентов нефти, основанных на активировании сырья за счет физического и химического воздействия, с применением современного оборудования, включая аппараты, использующие кавитационные эффекты, ультразвуковые и электромагнитные поля, и др., позволяет получать качественные дорожные битумы из большинства нефтей, считавшихся ранее непригодными для производства битумов.

Ключевые слова: нефтяные битумы, природный асфальт, черные покрытия, битумное производство, российский рынок, дорожное строительство, химическое активирование тяжелого нефтяного сырья, кавитационные эффекты, ультразвуковые и электромагнитные поля, качественные дорожные битумы

Natalia A. Belova³, Nina A. Strakhova¹, Petimat S. Tsamaeva²,

¹State University Marine Admiral Ushakov,
93 Lenina str., Novorossiysk, 353918,

e-mail: strakhova_na@mail.ru,

²Grozny State Oil Technical University Academician M.D.Millionshtchikov,

100 H. A. Isayev str., Grozny,

e-mail: ayub_777@mail.ru,

³Astrakhan State Architectural-building University,

18 Tatischeva str., Astrakhan.

e-mail: astra_belova@mail.ru

THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY PRODUCTION OF BITUMEN FOR THE ROAD PAVING

Abstract. Aim. The oil (artificial) bitumens, got by conversion of the oil cheese, are broadly used in the road construction. The track record of the development road covering, studies, bound with improvement their characteristic and development of the competitions among technology is presented in this article. **Methods.** Nowdays the modern developments in the field of production bitumen road marks are implemented using such technological-go acceptance as chemical actuated heavy oil cheese, which principles are based on regulation of the energy between molecular interactions and optimization their dimensionality, allowing raise quality bitumen. **Results.** Adjusting the depth of recovery of the oxidized product, it is possible to obtain different composition, plasticity and heat resistance of the bitumen. The residual bitumen obtained by two-stage oxidation with subsequent vacuum distillation of the oxidized product comply with GOST 60/90. Vacuum gas oil in the production of residual bitumen corresponds to the motor fuel for marine installations. **Conclusion.** Today, the bitumen production leaves on positions packed-valuable segment oil processing industry. The Main customer roads - a state. Herewith important role as ideologues of the development of the culture road construction plays the Federal road agency, supporting developing competition amongst leading technology. Introduction new technology at conversion remaining component oils, founded on do active cheese to account physical and chemical of the influence, with using the modern equipment, including equipment, using subject to influence effects, ultrasonic and electro-magnetic fields, and others, allows to get the qualitative road bitumens from majority of the oils, scanned earlier unfit for production bitumen.

Key words. The Oil bitumens, natural asphalt black covering, bitumens production, russian market, road construction, chemical active influence heavy oil cheese, small dimensionality effects, ultrasonic and electromagnetic fields, qualitative bitumens

Введение. Сегодня технический прогресс невозможно представить без развития автомобильного транспорта и строительства скоростных автомобильных магистралей. В связи с этим нефтяной битум как товарный нефтепродукт и связующий материал для приготовления асфальтобетона, востребован в народном хозяйстве страны.

В дорожном строительстве широко применяют нефтяные (искусственные) битумы, получаемые переработкой нефтяного сырья.

Искусственные (технические) битумы – остаточные продукты переработки нефти, каменного угля и сланцев. По составу они сходны с природными битумами. Природные битумы представляют собой вязкое смолистое вещество, образующееся из тяжелых фракций нефти в результате длительного выветривания. Встречается в виде пластовых жильных залежей, а также озер в местах естественного выхода нефти на поверхность земли [1].

Постановка задачи. Первое обозначение битума происходит от слова «jatu» (санскрит), что означало смолу, выделяющуюся из некоторых деревьев, которое со временем трансформировалось в «Gvitymen» (смолистый, липкий), а в латинском языке, оно упростилось до «bitumen» и со временем перешло во все европейские словари [2].

Использование природных битумов (асфальтов) известно еще на заре цивилизации. Самое древнее сооружение с применением природного асфальта — битумсодержащей породы было обнаружено в Индии [3]. Это бассейн, облицованный асфальтом, в городе Мохенджо-Даро, возраст которого превышает 5 тыс. лет.

Известно применение природных битумов – асфальтов в качестве клеющего материала в 2500–3000 годах до н. э. народом, населявшим долину Евфрата. В качестве строительного материала битум применяли вавилонянам (700–500 лет до н. э.) для возведения внутренней и внешней стен Вавилона. В царствование Семирамиды (около 700 лет до н. э.) был построен тоннель под Евфратом в Вавилоне длиной около 1 км из жженых кирпичей, покрытых битумом. Асфальт был также использован при строительстве знаменитых висячих садов Семирамиды [2,3]. В этих садах сооружали пруды и фонтаны, где гидроизоляционным материалом служил природный асфальт.

В Вавилоне существовала дорога из асфальтовых каменных плит и первым ее строителем считают Набополассара - отца Навуходоносора (625–604 г. до н.э.). Навуходоносор использовал опыт своего отца и при строительстве дворца в Вавилоне соорудил ограждающую стену от вод Евфрата, а также фундамент из жженого кирпича и асфальта [3].

В Древнем Египте 5000 лет назад пол и стены в амбара для хранения зерна покрывали асфальтом. За 400–500 лет до нашей эры в Мидии стены крепостей строились из кирпичей, скрепляемых битумом. На битуме возводились первые участки Великой китайской стены. Битумы и асфальты использовались для строительства зданий и башен, водопроводных и водосточных каналов, туннелей, а в медицине для мумификации трупов и др. [3,4].

В XIX веке улицы всех городов мира в городах мостились камнями, и лишь в период 1832 – 1835 гг. упоминается опыт по мощению городских улиц и тротуаров Парижа асфальтом. Позже, в 1835–1840 гг., битумы нашли применение при устройстве дорог Лондона, Вены, Лионна, Филадельфии и других городов [3].

В связи с открытием месторождений битумсодержащих пород во Франции, Швейцарии, Германии, в 1700–1800 гг. в Западной Европе начинаются работы по их применению в устройстве полов, тротуаров и гидроизоляции. В 1835 г. были уложены первые тротуары в Париже, затем в Лондоне, через три года в Филадельфии [3]. С середины XIX века во Франции, США, Швейцарии и других странах дорожное покрытие начинают делать из битумно-минеральных смесей. Так, первое асфальтобетонное покрытие впервые применили во Франции для покрытия тротуаров Королевского моста в Париже.

В Российской империи первое асфальтовое покрытие тротуаров было осуществлено в 1866 г. в Петербурге, и в 1869 г. – в г. Кронштадте с использованием ганноверской битуминозной породы, хотя к этому времени было уже открыто несколько месторождений битумсодержащих пород в России. Первое из них (битуминозные известняки) было открыто в Сызрани в 1724 г., а в 1871 г. в этом городе стало функционировать предприятие по изготовлению асфальтовой мастики [3]. Уже в следующем году асфальт стали довольно широко использовать на обычных питерских улицах, площадях и во дворах, а к 1880 году им были прокрыты многие улицы в Кронштадте, Москве, Риге, Харькове, Киеве и Одессе [4].

В США литой асфальт, приготовленный с использованием природных битумов, впервые применили в 1876 году. Затем, в 1892-м, индустриальным методом была построена первая дорожная конструкция шириной 3 метра, а еще через 12 лет с помощью гудронатора со свободным истечением горячего битума построили 29 км дороги [3].

Большим стимулом для развития нефтяной промышленности стало появление автомобилей (1896 г. – собран первый автомобиль Г. Форда). Первые автомобили появились в России в 1901 г. Вскоре возникла проблема приспособления существующей дорожной сети к одновременному пропуску гужевых повозок и автомобилей. Появился термин «автогужевые дороги»

[4,5]. Объем строительства таких дорог до первой мировой войны был незначителен, преимущественно по стратегическим направлениям к границам и для занятия безработных из голодных губерний. Так в 1891- 1995 г.г. было построено так называемое «голодное шоссе» от Новороссийска до Сухуми [5,6]. Девяносто тысяч голодающих крестьян принимало участие в строительстве шоссе вдоль берега моря.

Только в 1924 году оно было покрыто щебенкой, в конце тридцатых годов местами покрыто асфальтом, в пятидесятые – шестидесятые годы двадцатого столетия значительно расширено [5]. Протяженность дорог с твердыми покрытиями (булыжные мостовые, щебеночные и гравийные) не достигала 21 тыс. км; дорог с покрытиями капитального типа не было совсем. После окончания гражданской войны было построено много грунтовых дорог, названных населением «грейдерами». Однако оставленные без систематического надзора и ухода они быстро разрушались [4].

Для бурно развивавшейся автомобильной индустрии лучшим решением по обустройству дорожного покрытия оказался асфальт (асфальтобетон). Дороги, покрытые асфальтом, изготавливались с использованием искусственных битумов.

Битумы получали окислением воздухом тяжелых остатков перегонки нефти при температурах 240°-300°C. Впервые в промышленных масштабах окисленные нефтяные битумы начали производить в 1844 г. (по предложению Ж.Г. Биерлея) путем барботажа воздуха через слой нефтяных остатков при 204° и 316 °C [7].

Россия ввозила асфальт из Германии и Америки. Впервые окисленный битум был получен в 1914 г. в Грозном. Развитие производства окисленных битумов в СССР началось с 1925 г. в г.Баку [7].

Зарождение дорожной индустрии в России можно отнести к 20 годам прошлого столетия, когда для решения проблемы дорог создавались специальные управленческие структуры при Наркомате путей сообщения. В 1923 году при Народном комиссариате путей сообщений (НКПС) создаётся дорожное исследовательское бюро - начало исследований земляного полотна. Возникли исследовательские станции на Северном Кавказе, в Поволжье и на Дальнем Востоке. С 1925 г. начали строить первые усовершенствованные покрытия на загородных дорогах (Крым) с применением дегтя, а затем битума. В 1925 г. на Всероссийском съезде работников промышленности строительных материалов были приняты номенклатура и классификация органических вяжущих материалов [6].

К 1922-1928 гг. было построено, отремонтировано и реконструировано порядка 4000 км дорог. В 1928 году была разработана первая производственная инструкция по устройству покрытий с применением «битумных» вяжущих материалов при улучшении грунтовых дорог и дорог с щебеночными и гравийными покрытиями, которые обеспечивали нормальный проезд автомобилей [4]. В 1928 г. началось строительство асфальтобетонных покрытий в крупных городах, а затем и на загородных дорогах. В 1930 г. в Москве была сооружена эмульсионная база, которая с 1931 г. начала вырабатывать дорожные эмульсии, а в 1932 г. был построен первый в СССР завод холодного асфальта. В 1931 г. были утверждены и изданы первые при Советской власти «Технических условиях, правилах и нормах для изысканий, проектирования, постройки, ремонта и содержания автогужевых дорог и мостовых сооружений на них». В этих документах наряду с другими содержались требования к дорожным материалам. В 1938 г. были разработаны технические условия, а позднее ГОСТ на вязкие и жидкие дорожные битумы [3].

Быстрое развитие автомобильного транспорта России в годы перед началом Второй мировой войны потребовало корректировки дорожной политики в сторону увеличения удельного веса строительства усовершенствованных гудронированных, асфальтобетонных и цементобетонных покрытий. Эта политика начала реализовываться в начале третьей пятилетки (1938-1942 гг.), когда темпы развития сети дорог с твердым покрытием существенно возросли, широ-

кое распространение получил метод народной стройки дорог [4]. Строительство дорог не останавливалось и в период Великой Отечественной войны.

В первые годы после войны основные усилия были направлены на восстановление, ремонт и реконструкцию разрушенных дорог, а затем на строительство новых. Народное хозяйство начало восстанавливаться и уже в 1948 г. производство автомобилей превзошло довоенный уровень, а в 1950 г. превысило его в два раза. Получила свое развитие и дорожная сеть. Были построены и реконструированы крупные автомагистрали, возрастила доля усовершенствованных покрытий (асфальтобетонных, черногравийных и чернощебеночных) в общей протяженности строящихся дорог [6].

В 1936 году на базе дорожного института РСФСР (г. Москва) создан Дорожный научно-исследовательский институт (ДОРНИИ) с функциями центрального научно-исследовательского института. В 1938 г. институтом были разработаны технические условия, а позднее государственные общесоюзные стандарты на вязкие и жидкие дорожные битумы.

В 1953 году ДОРНИИ переименован в Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (СоюзДОРНИИ) и передан Министерству автомобильного транспорта и шоссейных дорог СССР [3,7]. Ученые СоюзДОРНИИ внесли большой вклад в дальнейшее развитие исследований и строительство дорог с применением органических вяжущих материалов. Институт проводил исследования в области цементобетонных покрытий, чёрных покрытий и материалов, искусственных сооружений, механизации дорожных работ, по вопросам проектирования, по ремонту и содержанию дорог. Велись исследования в Ленинградском, Омском, Ташкентском и Алма-Атинском филиалах. Исследования, направленные на получение высококачественного органического вяжущего материала для дорожного строительства на основе битумов, начаты в СоюзДОРНИИ в 1966 году по инициативе д.т.н. А.С. Колбановской.

Башкирский научно-исследовательский институт по переработке нефти – БашНИИ НП (ныне ГУП «ИНХП РБ») был создан приказом Министра нефтяной промышленности № 258 от 12 апреля 1956 г на базе отдела переработки нефти УфНИИ [3]. Организатором и первым директором БашНИИ стал А. С. Эйгенсон – один из ведущих ученых страны в области нефтепереработки. В 60-е годы институт становится ведущим в отрасли научным учреждением, определяющим перспективу развития производства нефтяных битумов.

Одним из крупных решений стало постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О плане строительства автомобильных дорог на 1959-1965 годы», в котором впервые был установлен дополнительный источник финансирования в виде целевых отчислений на строительство дорог республиканского и областного значения в размере 2 % от доходов по эксплуатации автомобильного транспорта [6].

Указанные решения создали базу для развития и совершенствования битумного производства и дорожной сети с начала семилетки и в последующие годы.

К 1970 году производство нефтяных битумов в СССР достигло значительного развития. Так по сравнению с 1938 годом производство битумов в 1958 году увеличилось в 10; в 1965 г. почти в 20, 1970 г. в 30 раз. Производство нефтяных битумов во всем мире в 1970 г. составило более 50 млн. т, в том числе в США 32,6 млн. т. [6].

Процесс окисления битумов осуществляется в аппаратах разного типа: кубах периодического действия, трубчатых змеевиковых реакторах и пустотелых колоннах непрерывного действия. В 1920-1930 гг. в США для получения окисленных битумов вместо кубов периодического действия были предложены непрерывно действующие трубчатые змеевики. В СССР метод пенного окисления нефтяных остатков в трубчатых змеевиковых реакторах был использован лишь в 1950-1960 гг. [5]. Окисление в кубах осуществляют на старых установках или при производстве малотоннажных высокоплавких строительных марок битумов.

В последние годы широко применяются полые окислительные колонны в качестве реакторов непрерывно действующих битумных установок. Ученые БашНИИ НП (Грудников И.Б., Фрязинов В.В., Ахметова Р.С. и др.) внесли существенный вклад в развитие технологии и аппаратурного оформления процесса производства окисленных битумов [8]. В СССР внедрение окислительных колонн началось в 1970-х годах после отработки данной технологии под руководством Р.Б. Гуна на опытно-промышленной установке Московского НПЗ [5].

Региональная структура рынка битумов сложилась еще при СССР, когда были построены крупнейшие нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ). Сегодня битумное производство выходит на позиции полноценного сегмента нефтеперерабатывающей промышленности.

Из-за особенностей состава российских нефтей, требований государственных стандартов к качеству товарной продукции и исторически сложившейся ситуации наиболее распространенным способом получения нефтяных битумов на отечественных НПЗ является жидкофазное окисление тяжелых нефтяных остатков [8,9]. Основным сырьем для процесса служит гудрон, к которому в различных соотношениях могут быть добавлены затемненный остаток вакуумной перегонки нефти, экстракты селективной очистки масел, асфальты деасфальтизации, висбре-кинг-остатки и др.

В 80-годах прошлого века начаты исследования в области получения вяжущих материалов на основе битума путем введения в битум эластомеров, каучуков, латексов, термоэластомеров. Уделялось большое внимание разработке различных марок битумов для производства горячей, теплой и холодной асфальтобетонных смесей. Нефтеперерабатывающая промышленность выпускала 2-3 марки вязких битумов и 2-3 марки жидких медленногустеющих битумов. Ограниченнность выпуска битумов по маркам затрудняло строительство дорожных покрытий в различных климатических условиях, а также использование местных минеральных материалов [10].

В период 1986-1990 гг. ежегодные объемы строительства и реконструкции дорог общего пользования составляли от 8 до 12 тыс. км. Это были наивысшие темпы дорожного строительства в России [6]. Однако достигнутый на конец XX века уровень развития дорожной сети России далеко не соответствовал потребностям социально-экономического развития страны.

В развитии технологии производства битума заложен большой труд профессоров П.В. Сахарова, П.Н. Шестакова, Н.В. Орнатского, А.А. Милашечкина, И.И. Прокофьева, Л.Л. Афанасьева, В.Ф. и др. [6]. К числу наиболее крупных обобщений и исследований в области асфальтобетона относятся работы Л.Б. Гезенцева, Н.В. Горелышева, И.В. Королева, А.Н. Богуславского, А.В. Руденского, В.А. Золотарева, В.Н. Кононова, Б.И. Ладыгина, Я.В. Ковалева, В.Н. Яромко, В.В. Михайлова и др.

Большое значение для повышения качества и долговечности черных покрытий имели исследования, связанные с улучшением свойств дорожных битумов и с применением поверхностно-активных веществ (В.В. Михайлов, А.С. Колбановская, Р.С. Ахметова и др.) [6].

В исследованиях зарубежных авторов теоретически обоснованы и сформулированы требования к дорожным битумам, определены оптимальные структуры для различных типов, даны предложения по технологии получения битумов оптимальной структуры с учетом природы перерабатываемой нефти [12,14].

Исследования в области поверхностно-активных и модифицирующих веществ позволили научно обосновать механизм их действия на свойства битума и битумоминеральных материалов и показать их огромное влияние на повышение водоустойчивости, морозоустойчивости черных покрытий (В.В. Михайлов, И.М. Руденская, Д.А. Розенталь, Л.М. Гохман, И.А. Плотникова и др.) [6].

Методы исследования. В настоящее время современные разработки в области производства битумов дорожных марок ведутся с использованием такого технологического приема

как химическое активирование тяжелого нефтяного сырья, принципы которого базируются на регулировании энергии межмолекулярного взаимодействия и оптимизации их дисперсности, позволяющих повысить качество битумов [13].

Например, в работе [11] для выяснения влияния электромагнитной обработки в аппарате вихревого слоя (АВС) на структурные превращения мазута - прямогонной фракции, используемой в качестве битумного сырья, был определен групповой состав исходного мазута и после обработки при различных температурах (таблица 1).

Таблица 1 - Групповой состав высокопарафинистого мазута после обработки в АВС

| Углеводороды, масс.% | Исходный мазут | Температура обработки, ° С | | | | | |
|-------------------------|----------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 34 | 90 | 140 | 180 | 220 | 300 |
| арафинонафтеновые (ПНУ) | 39,1 | 38,9 | 37,1 | 35,8 | 31,7 | 29,2 | 25,3 |
| моноциклоароматические | 21,5 | 20,3 | 19,9 | 19,6 | 18,4 | 17,6 | 21,4 |
| бициклоароматические | 21,0 | 21,4 | 19,1 | 19,2 | 19,1 | 16,7 | 15,9 |
| полициклоароматические | 2,9 | 2,1 | 5,1 | 5,4 | 6,4 | 7,8 | 6,8 |
| сумма масел | 85,6 | 82,7 | 81,2 | 80,0 | 75,6 | 71,3 | 67,5 |
| смолы толуольные | 1,7 | 4,3 | 5,4 | 4,3 | 5,6 | 4,2 | 7,0 |
| смолы спиртотолуольные | 10,6 | 10,2 | 10,3 | 12,2 | 13,7 | 11,8 | 12,5 |
| сумма смол | 12,3 | 14,5 | 15,7 | 16,5 | 19,3 | 16,0 | 19,5 |
| асфальтены | 2,1 | 2,8 | 3,1 | 3,5 | 5,1 | 9,7 | 13,0 |
| САВ (смолы +асфальтены) | 14,4 | 17,3 | 18,8 | 20,0 | 24,4 | 25,7 | 32,5 |

В таблице 2 приведено изменение группового состава при окислении активированного битума при 100°C.

Таблица 2 - Изменение группового состава при низкотемпературном окислении активированного мазута

| Компоненты, % масс.: | Исходный мазут | Продолжительность окисления, час. | | |
|--------------------------|----------------|-----------------------------------|------|------|
| | | 1 | 3 | 5 |
| углеводороды | | | | |
| парафинонафтеновые (ПНУ) | 32,8 | 35,6 | 23,4 | 21,2 |
| моноциклоароматические | 19,4 | 19,7 | 18,3 | 16,7 |
| бициклоароматические | 10,2 | 8,8 | 8,5 | 9,7 |
| полициклоароматические | 11,8 | 9,1 | 10,8 | 8,8 |
| смолы толуольные | 11,5 | 10,5 | 14,7 | 16,5 |
| смолы спиртотолуольные | 9,1 | 10,8 | 18,4 | 21,0 |
| асфальтены | 5,2 | 5,5 | 5,9 | 6,1 |

Как видно из приведенных данных по мере окисления происходят существенные изменения в химическом составе продукта.

Поскольку активированный мазут характеризуется низким содержанием спиртотолуольных смол и асфальтенов, что может свидетельствовать о незначительных количествах функциональных кислородсодержащих групп, то низкотемпературное окисление привело бы к накоплению активных О-содержащих соединений в окисляемом продукте. Наблюдается уменьшение парафинонафтеновых углеводородов (ПНУ) и увеличение смол, наибольший прирост которых приходится на спиртотолуольные смолы. Их содержание увеличилось более чем в 2 раза. Очевидно, окисленные ПНУ при хроматографическом разделении определились как спиртотолуольные смолы. Повышение температуры размягчения идет ступенчато и, наибольшее ускоре-

ние процесса окисления наблюдается после 3 часов окисления. При высокотемпературном окислении рост температуры размягчения битумов происходит также неравномерно: медленно в течение трех часов до значения 34°C, затем в течение часа - до 40-42°C.

Данные по изменению группового состава окисленного битума приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Изменение группового состава окисленного продукта при 275°C

| Компоненты, % масс.: углеводороды | Исходный мазут | Продолжительность окисления, час. | | |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|------|------|
| | | 1 | 3 | 4 |
| парафинонафтеновые (ПНУ) | 21,2 | 18,5 | 20,0 | 29,0 |
| моноциклоароматические | 16,7 | 13,5 | 18,4 | 15,0 |
| бициклоароматические | 9,7 | 12,0 | 18,6 | 19,4 |
| полициклоароматические | 8,8 | 20,5 | 12,0 | 8,0 |
| смолы толуольные | 16,5 | 13,0 | 10,7 | 11,7 |
| смолы спиртотолуольные | 21,0 | 14,3 | 9,5 | 4,5 |
| асфальтены | 6,1 | 8,2 | 10,8 | 12,4 |

Как видно из приведенных данных (табл.3), при окислении наблюдается увеличение ПНУ, что, очевидно, связано со структурной перестройкой смолистоасфальтеновых веществ (САВ) и уменьшением полярности компонентов, входящих в состав спиртотолуольных смол (уменьшается их количество), а также протеканием реакций декарбоксилирования, дегидрирования и легкого крекинга. Наряду со смолами существенным превращениям подверглись и полициклоароматические соединения, очевидно, за счет этих компонентов наблюдается рост концентрации асфальтенов. Дальнейшее окисление продукта приводит к образованию битума со свойствами характерными для битумов, полученных из лёгкого сырья, которые наряду с высокой температурой размягчения обладают и высокой пластичностью.

С целью получения битумов дорожных марок, окисленные продукты подвергались вакуумной перегонке.

Обсуждение результатов. Как показали исследования, регулируя глубину отбора окисленного продукта, можно получать различные по компонентному составу, пластичности и теплостойкости битумы (таблицы 4 и 5).

Таблица 4- Изменение компонентного состава окисленного битума от глубины отбора фракций

| Компоненты, % масс: углеводороды | Глубина отбора, % мас. | | |
|-------------------------------------|------------------------|------|------|
| | 25 | 30 | 35 |
| парафинонафтеновые (ПНУ) | 25,0 | 19,7 | 18,5 |
| моноциклоароматические | 17,0 | 14,5 | 15,2 |
| бициклоароматические | 14,7 | 15,7 | 14,8 |
| полициклоароматические | 5,3 | 6,3 | 6,4 |
| смолы толуольные | 7,5 | 10,7 | 11,2 |
| смолы спиртотолуольные | 14,3 | 15,1 | 15,0 |
| асфальтены | 16,2 | 18,0 | 18,9 |

Из данных таблицы 4 видно, что по мере отбора фракций наблюдаются и изменения в компонентном составе битумов: уменьшается фракция ПНУ и возрастает концентрация САВ, соотношение которых обеспечивает комплекс, необходимых структурно-механических свойств, обеспечивающих требуемое количество битумов.

Вакуумный газойль, полученный по описанной технологии, по содержанию серы отличается от газойля вакуумной перегонки исходного сырья, концентрация которого составила 0,8% мас., что почти в 4 раза меньше чем в вакуумном газойле газоконденсатного мазута. По

основным характеристикам вакуумный газойль при производстве остаточных битумов соответствует моторному топливу для судовых установок.

В таблице 5 приведена характеристика остаточных битумов при различной глубине отбора фракций.

Таблица 5 -Характеристика остаточных битумов в зависимости от глубины отбора фракций

| Наименование показателя | Значение показателя при глубине отбора, % мас. | | |
|--|--|-----|-----|
| | 25 | 30 | 35 |
| Пенетрация, 0,1мм при температуре: | | | |
| 25° С | 160 | 105 | 62 |
| 0° С | 40 | 34 | 30 |
| Температура, ° С: | | | |
| Размягчения | 48 | 56 | 62 |
| Хрупкости | -20 | -19 | -18 |
| Вспышки | 230 | 234 | 240 |
| Дуктильность, см при: | | | |
| 25°C | 76 | 70 | 65 |
| 0°C | 8,1 | 6,5 | 5,5 |
| Изменение температуры размягчения после прогрева при 160°C в течение 5 часов | 4 | 5 | 5 |

Как видно из показателей таблицы, остаточные битумы, полученные по двухстадийному окислению с последующей вакуумной перегонкой окисленного продукта, соответствуют ГОСТ БНД 60/90.

Вывод. Сегодня битумное производство выходит на позиции полноценного сегмента нефтеперерабатывающей промышленности. Основной заказчик дорог - это государство. При этом важную роль как идеолога развития культуры дорожного строительства играет Федеральное дорожное агентство, поддерживающее развивающуюся конкуренцию среди передовых технологий. Внедрение новых технологий при переработке остаточных компонентов нефти, основанных на активировании сырья за счет физического и химического воздействия с применением современного оборудования, включая аппараты, использующие кавитационные эффекты, ультразвуковые и электромагнитные поля, и др., позволяет получать качественные дорожные битумы из большинства нефти, считавшихся ранее непригодными для производства битумов.

Библиографический список:

1. Коршак А.А. Исторические свидетельства о естественных выходах нефти //Территория нефтегаз. 2010. - № 10 - С.86-89.
2. Золотарев В.А., Сотрэ Р., Пыриг Я.И. От природного битума до искусственного асфальтобетона//Автомобильные дороги. 2014.- №5 - С. 66-72.
3. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. - М.: Транспорт, 1984. - 229с.
4. Мукаев И.С. Исторические аспекты использования нефтяных битумов в производстве асфальтобетонных смесей: на примере дорожно-строительных предприятий г. Уфы: автореф. дисс. канд. техн. наук: 07.00.10. /Уфа. 2000.- 24с.

5. История Сочи. "Голодное шоссе" [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.privetsochi.ru/blog/history/51788.html>
6. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. I / А.П. Васильев, Б.С. Марышев, В.В. Силкин и др.; М.: Информавтодор, 2005. - 242 с.
7. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. – М.: Химия, 1973. – 152с.
8. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. – М.: Химия, 1983. – 192с.
9. Ахметова Р.С., Фрязинов В.В., Торбеева Л.Р. Дорожные битумы нефтеперерабатывающих заводов СССР и современные требования, предъявляемые к их качеству//Высокосернистые нефти и проблемы их переработки. Труды БашНИИ НП. Вып. VIII.- М.: Химия, 1968.- 296 с.
10. Михайлов В.В. О повышении требований к битумам для строительства скоростных дорог//Проблемы производства и применения нефтяных битумов. Труды БашНИИ НП, Вып. XI.- М.: Химия, 1973. – С.7.
11. Страхова Н.А. Получение нефтяных битумов из нетрадиционного сырья: дисс. д-ра техн. наук: 02.00.13. - Астрахань, 2001. – 347с.
12. Selvavathi V., Sekar V.A., Sriram V., Sairam B. Modifications of bitumen by elastomer and reactive polymer - a comparative study. *Pet Sci Technol.* 2002; 20(5-6):535-47.
13. Naskar M., Chaki T.K., Reddy K.S. A novel approach to recycle the waste plastics by bitumen modification for paving application. *Adv Mater Res.* 2012; 356-360:1763-8.
14. Cuadri A.A., García-Morales M., Navarro F.J., Partal P. Isocyanatefunctionalized castor oil as a novel bitumen modifier. *Chem Eng Sci.* 2013; 97:320-7.

References:

1. Korshak A.A. The History certificate about natural leaving the oils. *Territorija neftegaz.* 2010, no.10, pp.86-89. (In Russian)
2. Zolotarev VA, Sotre R. Pyrih F. From natural bituma before artificial asphalt concrete. *Avtomobil'nye dorogi.* 2014, no.5, pp.66-72. (In Russian)
3. Rudenskaya I.M., Rudenskiy A.V. Organic linking for chemical stroitelstva. *Moscow: Transport,* 1984, 229p. (In Russian)
4. Flour I.S. Istoricheskie aspekty ispol'zovanija neftjanyh bitumov v proizvodstve asfal'tobetonnyh smesej: na primere dorozhno-stroitel'nyh predprijatij. Ufa: avtoref. diss. ... kand. tehn. nauk: [Historical aspects of the use of bitumen in the manufacture of asphalt mixes: an example of road-building enterprises].07.00.10. Ufa. 2000, 24p. (In Russian)
5. The History exude. "Hungry freeway" [Electronic resource]. Access mode: <http://www.privetsochi.ru/blog/history/51788.html> (In Russian)
6. Vasiliev A.P., Maryshev B.S., Silkin V.V. and others. Stroitel'stvo i rekonstrukcija avtomobil'nyh dorog: Spravochnaja jenciklopedija dorozhnikova. [The Construction and reconstruction of the car roads: Reference encyclopedia for roads]. *Moscow: Informavtodor,* 2005, vol.1, 242p. (In Russian)
7. Gun, R.B. The Oil bitumens. *Moscow: Himija [Chemistry],* 1973, 152 p. (In Russian)
8. Grudnikov I.B. The Production oil bitumen. *Moscow: Himija [Chemistry],* 1983, 192p. (In Russian)
9. Ahmetova R.S., Fryazinov V.V., Torbeeva L.R. The Road bitumens неф oil processing plant USSR and modern requirements, presented to their quality. Vysokosernistye oils and problems their conversion. The Works BASHNII NP. Issue VIII. *Moscow: Himija [Chemistry],* 1968, 296p. (In Russian)
10. Mihaylov V.V. About increasing of the requirements to bitumen for construction speed roads. Problems production and using oil bitumen. Works BASHNII NP, Issue XI. *Moscow: Himija [Chemistry],* 1973, p.7. (In Russian)

11. Strahova N.A. Poluchenie neftjanyh bitumov iz netradicionnogo syr'ja. [The Reception oil bitumen from not traditional cheese]. Dissertation d-ra tehn. Sciences. Astepkhan, 2001, 347p. (In Russian)
12. Selvavathi V., Sekar V.A., Sriram V., Sairam B. Modifications of bitumen by elastomer and reactive polymer - a comparative study. *Pet Sci Technol.* 2002; 20(5-6):535-47.
13. Naskar M., Chaki T.K., Reddy K.S. A novel approach to recycle the waste plastics by bitumen modification for paving application. *Adv Mater Res.* 2012; 356-360:1763-8.
14. Cuadri A.A., García-Morales M., Navarro F.J., Partal P. Isocyanatefunctionalized castor oil as a novel bitumen modifier. *Chem Eng Sci.* 2013; 97:320-7.

Сведения об авторах.

Белова Наталья Александровна – аспирантка кафедры промышленного и гражданского строительства.

Страхова Нина Андреевна – доктор технических наук, профессор,

Цамаева Петимат Саидовна – кандидат технических наук, доцент.

Authors information.

Natalia A.Belova – postgraduate student, Department of industrial and civil construction.

Nina A. Strahova – doctor of technical Sciences, Professor.

Petimat S.Tsamaeva – candidate of technical Sciences, Associate Professor.

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

Поступила в редакцию 28.06.2016.

Received 28.06.2016.

Принята в печать 28.08.2016.

Accepted for publication 28.08.2016.

Для цитирования: Вишталов Р.И., Муселемов Х.М., Устарханов О.М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОТОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):155-166. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-155-166.

For citation: Vishtalov R.I., Muselemov H.M., Ustarkhanov O.M. THE DEFINITION OF THE GIVEN CHARACTERISTICS OF HONEYCOMB FILLERS OF THE DIFFERENT SHAPES. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 155-166. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-155-166.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.011.1

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-155-166

Вишталов Р.И.², Муселемов Х.М.³, Устарханов О.М.¹
¹⁻³Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
^{1,2}e-mail: dgtu.pgs@mail.ru
³e-mail: hairulla213@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОТОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

Аннотация. Цель. Исследование приведенных механических характеристик дискретного заполнителя с восьмигранной, ромбовидной, круглой и квадратной формой ячейки. Методы. Определено, что в настоящее время во многих трехслойных конструкциях стали применять дискретный сотовый заполнитель. Геометрическая форма поперечных сечений дискретных заполнителей отличается большим разнообразием. Однако исследований связанных с определением приведенных характеристик дискретных заполнителей, для выбора оптимальной формы, не достаточно. Результаты. Установлено, что механические характеристики дискретного заполнителя зависят от коэффициента заполнения ячейки. Вывод. Доказано, что условный предел прочности на сжатие заполнителей вдоль оси Z при одном и том же периметре сечения и высоте зависит в основном от коэффициента заполнения и соотношения размеров сотов, при этом наибольший предел прочности на сжатие имеет ромбовидная сотовая ячейка.

Ключевые слова: трехслойная конструкция, дискретный заполнитель, периметр ячейки, модуль упругости, модуль сдвига, прочность на сжатие

Rajab I. Vishtalov², Hayrulla M. Muselemov³, Osman M. Ustarkhanov¹
Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
^{1,2}e-mail: dgtu.pgs@mail.ru,
³e-mail: hairulla213@mail.ru

THE DEFINITION OF THE GIVEN CHARACTERISTICS OF HONEYCOMB FILLERS OF THE DIFFERENT SHAPES

Abstract. Aim. The article is devoted to theoretical studies given characteristics of the discrete aggregate with octagonal, diamond-shaped, round or square shape of the cell. **Methods.** At the present time it was determined that in many sandwich constructions the discrete honeycomb are begun to apply. The geometric shape of the cross-sections of discrete aggregates is very varied. However, studies related to the definition of the above characteristics of discrete aggregates, to select the optimal form, is not enough. **Results.** It was found that the mechanical characteristics of the discrete filler filling factor are depended on the cell. **Conclusion.** It was proved that the ultimate tensile compression

fillers along Z axis at the same height perimeter secheniyai depends mainly on the ratio of the fill factor and cell sizes, with the highest crush strength has a diamond-shaped cell.

Key words: a three-layer structure, discrete aggregate cell perimeter, elastic modulus, shear modulus, compressive strength

Введение. При определении несущей способности трехслойных конструкций (ТК) необходимо знать приведенные механические и геометрические характеристики дискретного заполнителя. В данной статье в качестве примера рассматривались дискретные заполнители с восьмигранной, ромбовидной, круглой и квадратной формой ячейки (рис.1). В качестве объединяющих параметров были взяты периметр ячейки и высота заполнителя.

Постановка задачи. Для всех рассматриваемых форм сот необходимо определить: коэффициент заполнения, приведенный модуль упругости, приведенный модуль сдвига, предел прочности на сжатие, предел прочности при сдвиге [1,2,3].

При этом периметр поперечного сечения, всех вариантов форм сот, был одинаковым, при различных размерах сторон (r). Высота, каждого варианта сотового заполнителя (c) принималась равной с=4 и с=6 см.

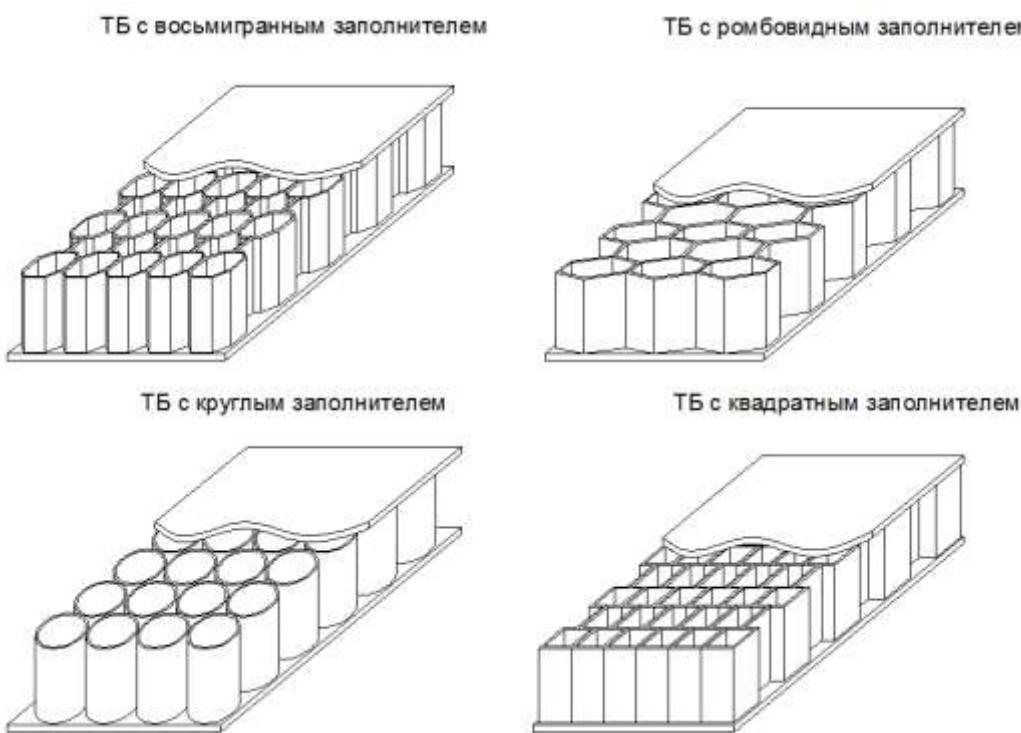


Рисунок 1 – Трехслойные конструкции с сотовыми заполнителями

Методы исследования. Известны методы для определения приведенных характеристик дискретного заполнителя [4,5,6,20,21,22].

В статье для определения приведенных характеристик дискретного заполнителя использовалась методика, изложенная в работах [4,16,17,19].

В соответствии с данной методикой, для определения приведенных характеристик, необходимо выбрать повторяющую элементарную ячейку для каждой формы сот. Для всех форм заполнителей нами были определены повторяющие элементарные ячейки, которые показаны ниже на рисунках

Восьмигранный заполнитель

Восьмигранный сотовый заполнитель с элементарной ячейкой показаны на рис. 2 - 3.

Приведенные характеристики сотовых заполнителей определялись с помощью следующих зависимостей[7,8,9,10]:

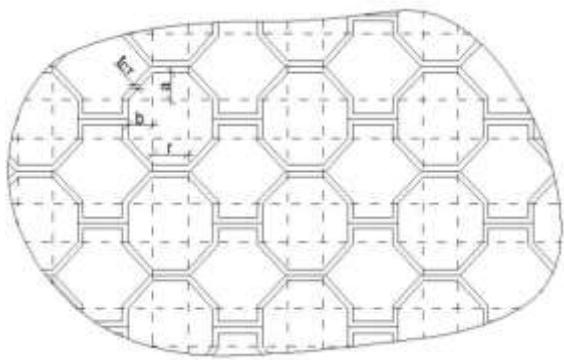


Рисунок 2. – Схема восьмигранного сотового заполнителя

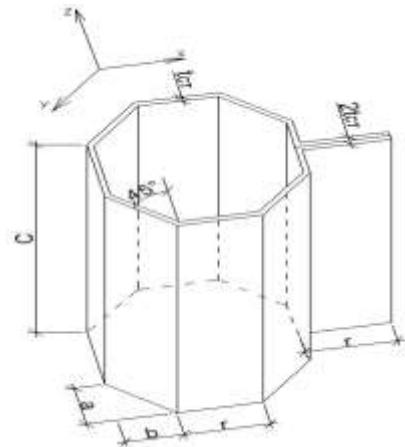


Рисунок 3. – Элементарная ячейка восьмигранного сотового заполнителя

Механические характеристики дискретного заполнителя зависят от коэффициента заполнения ячейки, который равен:

$$k_{np} = \frac{V_{m3}}{V_{яч}}; \quad (1)$$

где:

V_{m3} – объем материала заполнителя:

$$V_{m3} = 10 \cdot t_{cm} \cdot r \cdot c; \quad (2)$$

$V_{яч}$ – объем элементарной ячейки заполнителя без учета клееной прослойки между гранями:

$$V_{яч} = S_{осн,np} \cdot c; \quad (3)$$

где:

t_{cm} – толщина стенки заполнителя (рисунок 4)

c – высота сотового заполнителя (рисунок 3);

$S_{осн,np}$ – площадь основания повторяющейся ячейки (рисунок 4);

$$S_{осн,np} = 4 \cdot R \cdot r; \quad (4)$$

r – сторона элементарной повторяющейся ячейки (рисунок 4);

R – радиус вписанной окружности в ячейку: $R = r \cdot (0,5 + \cos 45^\circ)$

Приведенный модуль упругости в направлении z :

$$E_{33} = E_{m3} \cdot k_{np} = 1,54 \cdot E_{m3} \cdot \frac{t_{cm}}{r}; \quad (5)$$

Приведенный модуль сдвига в плоскости yOz :

$$G_{233} = G_{m3} \cdot k_{np} = \frac{1,2 \cdot G_{m3} \cdot t_{cm}}{r \cdot \sqrt{3}}; \quad (6)$$

Приведенный модуль сдвига в плоскости xOz :

$$G_{133} = G_{m3} \cdot k_{np} = 0,879 \cdot G_{m3} \cdot \frac{t_{cm}}{r}; \quad (7)$$

Приведенный модуль сдвига в плоскости xOy :

$$G_{123} = G_{m3} \cdot k_{np} = 0,291 \cdot E_{m3} \cdot \frac{t_{cm}}{r}; \quad (8)$$

Условный предел прочности заполнителя при сдвиге в плоскости xOz :

$$\tau_{133} = \frac{1,16 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \pi \cdot D_{cm}}{b^2 \cdot r}, \quad (9)$$

где: $b = r \cdot \sin \alpha$.

α – угол наклона сторон формы поперечного сечения сот относительно оси X или Y .

Условный предел прочности заполнителя при сдвиге в плоскости yOz :

$$\tau_{233} = \frac{0,66 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \pi \cdot D_{cm}}{b^2 \cdot r}; \quad (10)$$

Условный предел прочности при сжатии в направлении оси z равен:

$$\sigma_{33B} = k_{np} \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot E_{M3} \cdot \left(\frac{t_{cm}}{b}\right)^2. \quad (11)$$

где:

направлению x соответствует цифра 1, y – цифра 2, z – цифра 3; π – математическая константа, равная отношению длины окружности к ее диаметру и равная 3,14.

D_{cm} – цилиндрическая жесткость и она равна: $D_{cm} = \frac{E_{M3} \cdot t_{cm}^3}{12 \cdot (1 - \nu_{M3}^2)}$;

ν_{M3} – коэффициент Пуассона для алюминия, который равен 0,35.

k_{np} – коэффициент прерывистости;

k_1 – коэффициент, зависящий от соотношения размеров сот, определяемый по графику [3];

k_2 – коэффициент, определяется в зависимости от закрепления кромок заполнителя по графику [3];

k_3 – коэффициент, зависящий от материала заполнителя, для алюминиевых сот $k_3 = 0,275$.

E_{M3} – модуль упругости заполнителя ($E_{M3} = 690000 \frac{kg}{cm^2}$ для алюминия);

Расчеты приведенных характеристик восьмигранного заполнителя приведены для следующих размеров:

- 1) $r = 0,625 \text{ см}, c = 4,00 \text{ см}; b = 0,442 \text{ см}; a = 0,442 \text{ см};$
- 2) $r = 0,625 \text{ см}, c = 6,00 \text{ см}; b = 0,442 \text{ см}; a = 0,442 \text{ см};$
- 3) $r = 0,938 \text{ см}, c = 4,00 \text{ см}; b = 0,663 \text{ см}; a = 0,663 \text{ см};$
- 4) $r = 0,938 \text{ см}, c = 6,00 \text{ см}; b = 0,663 \text{ см}; a = 0,663 \text{ см};$
- 5) $r = 1,250 \text{ см}, c = 4,00 \text{ см}; b = 0,884 \text{ см}; a = 0,884 \text{ см};$
- 6) $r = 1,250 \text{ см}, c = 6,00 \text{ см}; b = 0,884 \text{ см}; a = 0,884 \text{ см}.$

Полученные приведенные геометрические и механические характеристики для восьмигранного заполнителя приведены в табл. 1–4.

Таблица 1 - Геометрические характеристики восьмигранного заполнителя при $c=4 \text{ см}$

| № | $t_{ct}, \text{ см}$ | $r, \text{ см}$ | $V_{M3}, \text{ см}^3$ | $V_{яч}, \text{ см}^3$ | $k_{\text{пр}}$ | $S_{\text{осн.пр}}, \text{ см}^2$ |
|---|----------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | 0,024 | 0,625 | 0,6 | 7,55 | 0,079 | 1,886 |
| 2 | 0,024 | 0,938 | 0,9 | 16,99 | 0,053 | 4,248 |
| 3 | 0,024 | 1,250 | 1,2 | 30,18 | 0,0398 | 7,544 |

Таблица 2 - Геометрические характеристики восьмигранного заполнителя при $c=6 \text{ см}$

| № | $t_{ct}, \text{ см}$ | $r, \text{ см}$ | $V_{M3}, \text{ см}^3$ | $V_{яч}, \text{ см}^3$ | $k_{\text{пр}}$ | $S_{\text{осн.пр}}, \text{ см}^2$ |
|---|----------------------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 1 | 0,024 | 0,625 | 0,9 | 11,32 | 0,0795 | 1,8861 |
| 2 | 0,024 | 0,938 | 1,35 | 25,49 | 0,0529 | 4,2482 |
| 3 | 0,024 | 1,25 | 1,8 | 45,27 | 0,0397 | 7,5089 |

Таблица 3 - Механические характеристики восьмигранного заполнителя при $c=4 \text{ см}$

| № | $r, \text{ см}$ | $E_{33} \text{ MPa}$ | $G_{233} \text{ MPa}$ | $G_{133} \text{ MPa}$ | $G_{123} \text{ MPa}$ | $\tau_{133} \text{ MPa}$ | $\tau_{233} \text{ MPa}$ | $\sigma_{33B} \text{ MPa}$ |
|---|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 0,625 | 4080,38 | 718316 | 911,3472 | 771,0336 | 9,0357 | 5,141 | 29,15 |
| 2 | 0,938 | 2718,81 | 478,62 | 607,24 | 513,75 | 2,673 | 1,521 | 8,623 |
| 3 | 1,25 | 2040,19 | 359,158 | 455,673 | 385,517 | 1,129 | 0,643 | 3,644 |

Таблица 4 - Механические характеристики восьмигранного заполнителя при $c=6$ см

| № | $r, \text{см}$ | $E_{33} \text{МПа}$ | $G_{233} \text{МПа}$ | $G_{133} \text{МПа}$ | $G_{123} \text{МПа}$ | $\tau_{133} \text{МПа}$ | $\tau_{233} \text{МПа}$ | $\sigma_{33B} \text{МПа}$ |
|---|----------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1 | 0,625 | 4080,38 | 718316 | 911,3472 | 771,0336 | 9,0357 | 5,141 | 29,15 |
| 2 | 0,938 | 2718,81 | 478,62 | 607,24 | 513,75 | 2,673 | 1,521 | 8,623 |
| 2 | 1,25 | 2040,19 | 359,158 | 455,673 | 385,517 | 1,129 | 0,643 | 3,644 |

Ромбовидный заполнитель

Ромбовидный сотовый заполнитель с элементарной ячейкой показаны на рис. 4 и 5. Аналогичные расчеты по определению приведенных характеристик для остальных видов сот выполнены, но в силу ограниченности объема статьи не приводятся в табличной форме [11,12,13,14].

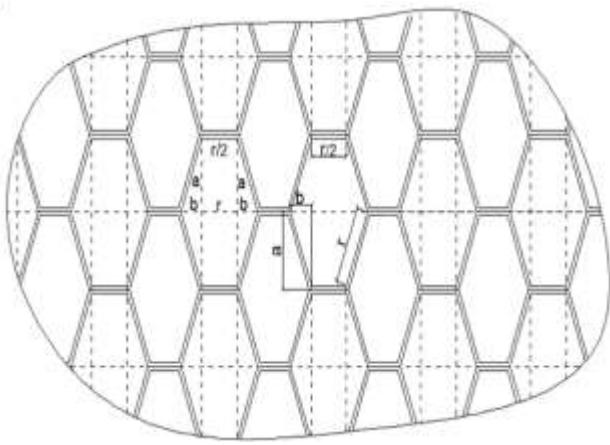


Рисунок 4 – Схема ромбовидного сотового заполнителя

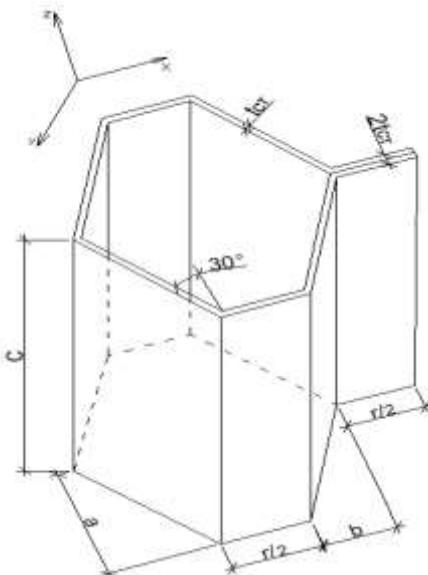


Рисунок 5 – Элементарная ячейка ромбовидного сотового заполнителя

Расчеты приведенных характеристик ромбовидного заполнителя приведены для следующих его размеров:

- 1) $r = 1,0 \text{ см}, c = 4,00 \text{ см}; b = 0,50 \text{ см}; a = 0,866 \text{ см};$
- 2) $r = 1,0 \text{ см}, c = 6,00 \text{ см}; b = 0,50 \text{ см}; a = 0,866 \text{ см};$
- 3) $r = 1,5 \text{ см}, c = 4,00 \text{ см}; b = 0,75 \text{ см}; a = 1,299 \text{ см};$
- 4) $r = 1,5 \text{ см}, c = 6,00 \text{ см}; b = 0,75 \text{ см}; a = 1,299 \text{ см};$
- 5) $r = 2,0 \text{ см}, c = 4,00 \text{ см}; b = 1,00 \text{ см}; a = 1,732 \text{ см};$
- 6) $r = 2,0 \text{ см}, c = 6,00 \text{ см}; b = 1,00 \text{ см}; a = 1,732 \text{ см}.$

Круглый заполнитель

Круглой формы сотовый заполнитель с элементарной ячейкой показаны на рис. 6 и 7. Для определения приведенных характеристик сотового заполнителя из слоя заполнителя (рис.6.) вырежем элементарную повторяющуюся ячейку (рис.7).

Расчеты приведенных характеристик круглого заполнителя приведены при следующих его размерах:

- 1) $r = 0,796 \text{ см}, c = 4,0 \text{ см}; 2) r = 1,194 \text{ см}, c = 4,0 \text{ см};$
- 3) $r = 1,592 \text{ см}, c = 4,0 \text{ см}; 4) r = 0,796 \text{ см}, c = 6,0 \text{ см};$
- 5) $r = 1,194 \text{ см}, c = 6,0 \text{ см}; 6) r = 1,592 \text{ см}, c = 6,0 \text{ см}.$

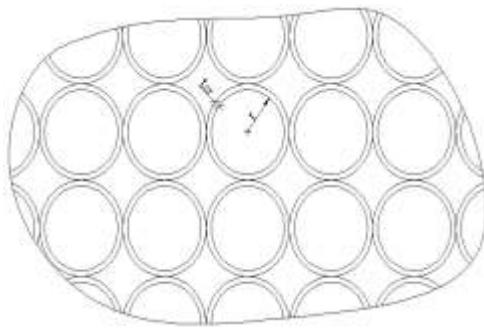


Рисунок 6 – Схема круглого заполнителя

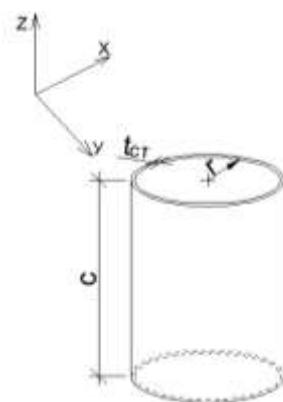


Рисунок 7 – Элементарная ячейка сотового круглого сотового заполнителя

Квадратный заполнитель

Квадратный сотовый заполнитель с элементарной ячейкой показаны на рис. 8 и 9.

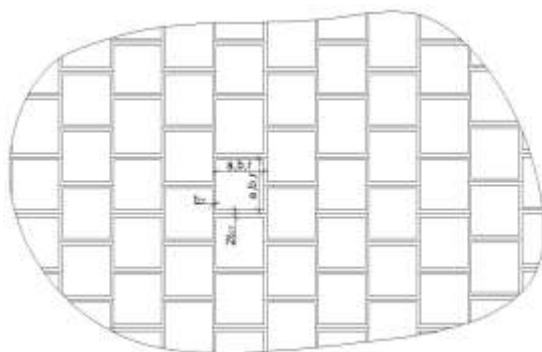


Рисунок 8 – Схема квадратного сотового заполнителя

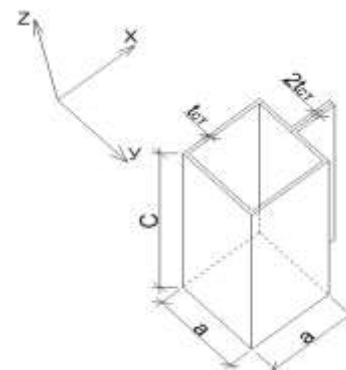


Рисунок 9 – Элементарная ячейка квадратного сотового заполнителя

Расчеты приведенных характеристик квадратного заполнителя приведены для следующих его размеров:

- 1) $r = 1,250$ см, $c = 4,00$ см; 2) $r = 1,875$ см, $c = 4,00$ см;
- 3) $r = 2,500$ см, $c = 4,00$ см; 4) $r = 1,250$ см, $c = 6,00$ см;
- 5) $r = 1,875$ см, $c = 6,00$ см; 6) $r = 2,500$ см, $c = 6,00$ см.

Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными, представлено в таблице 5.

Таблица 5 - Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными (в %)

| | восьмигранный | | | ромбовидный | | | круглый | | | квадратный | | |
|-----------|----------------|-------|-------|-------------|-------|--------|---------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| | г, см | | | г, см | | | г, см | | | г, см | | |
| | 0,625 | 0,938 | 1,25 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 0,796 | 1,194 | 1,592 | 1,25 | 1,875 | 2,5 |
| | σ , МПа | | | | | | | | | σ , МПа | | |
| Теория | 29,15 | 8,623 | 3,644 | 23,989 | 7,129 | 2,9441 | 16,691 | 7,418 | 4,173 | 5,278 | 1,563 | 0,659 |
| Экспер. | 24,42 | 7,18 | 2,99 | 20,031 | 5,910 | 2,426 | 13,821 | 6,113 | 3,426 | 4,39 | 1,29 | 0,542 |
| Расх.ожд. | 16,2 | 16,7 | 17,8 | 16,5 | 17,1 | 17,6 | 17,2 | 17,6 | 17,9 | 16,8 | 17,3 | 17,8 |

Результаты расчета напряжений в зависимости от размера r для различных форм дискретного заполнителя приведены на рисунках 10-14.

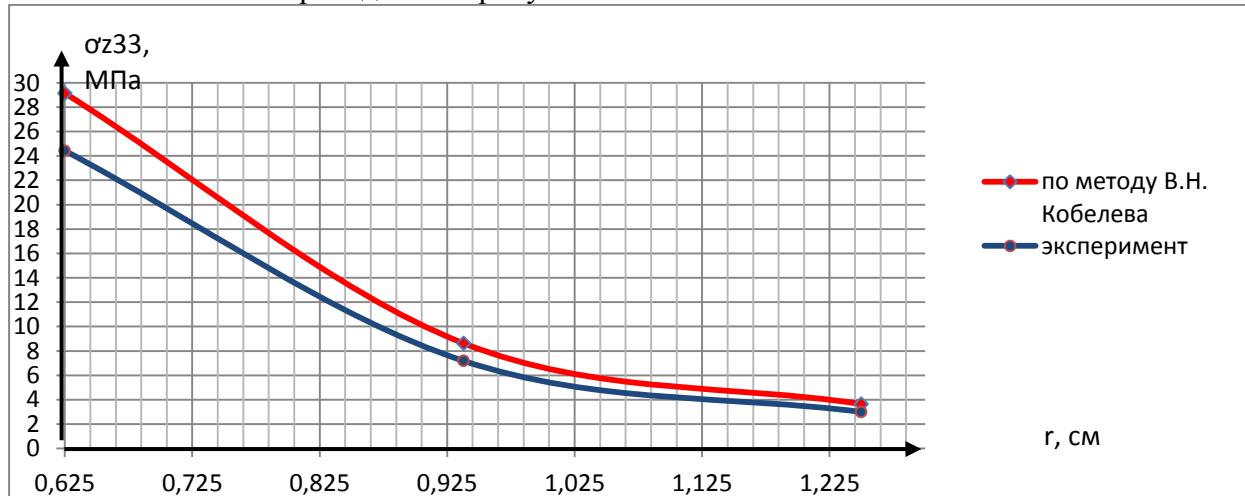


Рисунок 10 – График изменения напряжения в зависимости от r для восьмигранного заполнителя

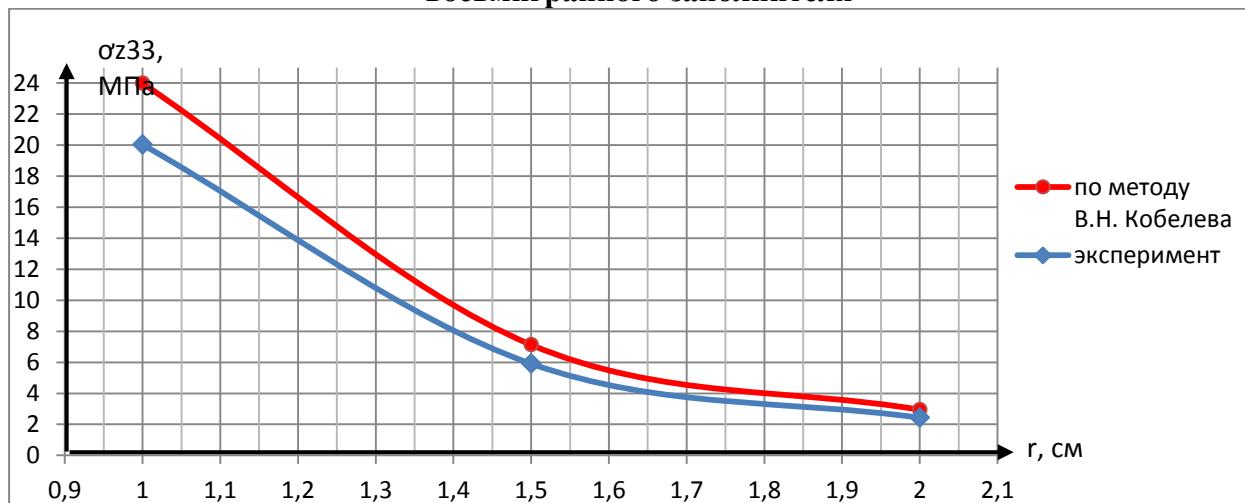


Рисунок 11 – График изменения напряжения в зависимости от r для ромбовидного заполнителя

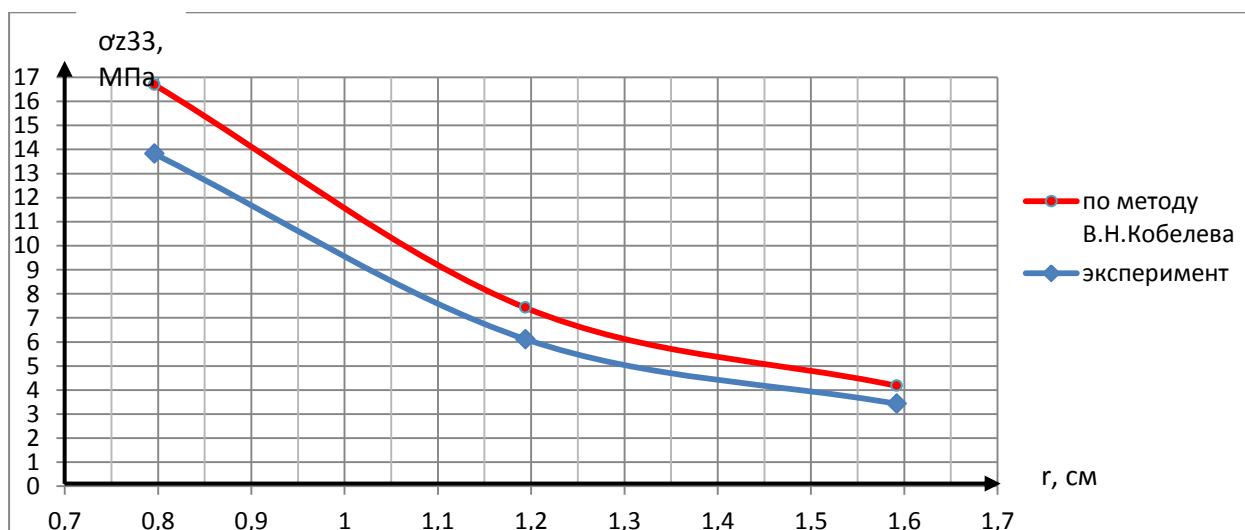


Рисунок 12 – График изменения напряжения в зависимости от r для круглого заполнителя

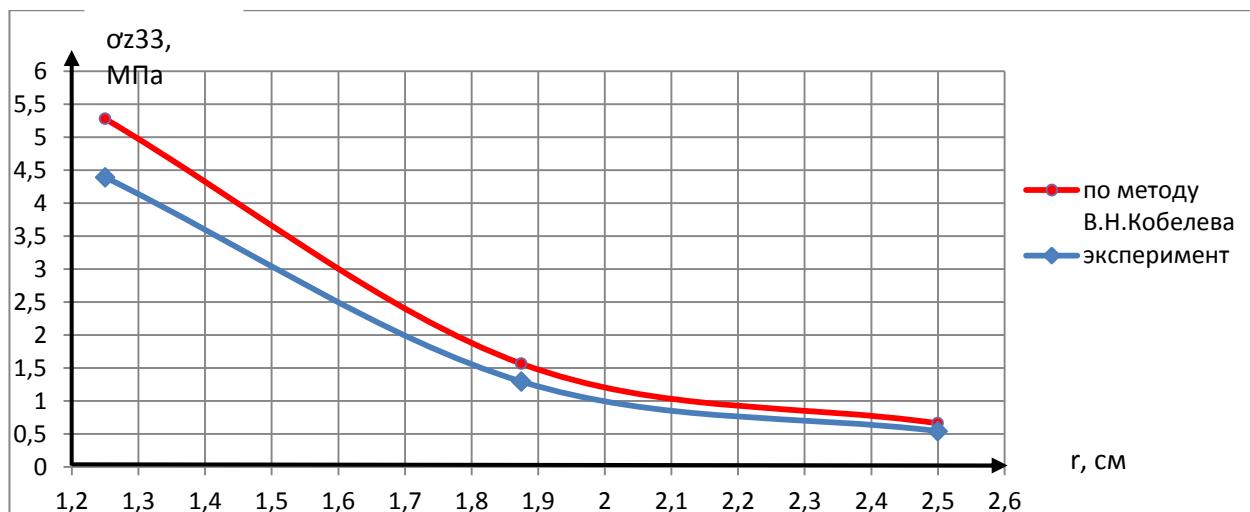


Рисунок 13 – График изменения напряжения в зависимости от r для квадратного заполнителя

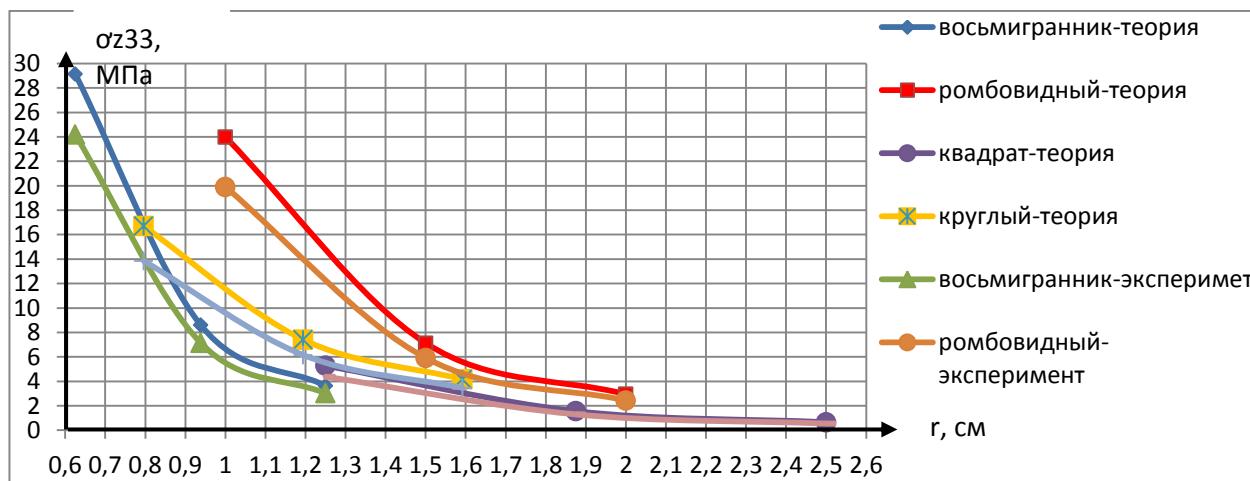


Рисунок 14 – График изменения напряжения в зависимости от r для различных форм дискретного заполнителя.

Обсуждение результатов. Результаты теоретических исследований были сравнены с полученными авторами экспериментальными данными [15,16,18,19].

Анализ полученных результатов показал:

1. Для одной и той же формы поперечного сечения заполнителя при одном и том же периметре сечения коэффициент заполнения (k_{np}) дискретного заполнителя не зависит от высоты заполнителя;
2. С изменением формы поперечного сечения коэффициент заполнения при одном и том же периметре меняется. Для квадратной формы сот коэффициент заполнения на 27,8% больше, чем у ромбовидной. Коэффициент заполнения квадратного заполнителя на 31,4% больше, чем у восьмигранной формы. Коэффициент заполнения квадратного заполнителя на 47,6% больше, чем у круглой.
3. Условный предел прочности на сжатие заполнителей вдоль оси Z при одном и том же периметре сечения и высоте зависит в основном от коэффициента заполнения и соотношения размеров сот. При этом наибольший предел прочности на сжатие имеет восьмигранная сота, ее прочность на сжатие относительно ромбовидной на 17,4% больше, относительно круглой формы на 42,7%, относительно квадратного на 81,8% .
4. Сравнение теоретических и экспериментальных данных показало, что расхождение между условными пределами прочности составляет 16- 18%.

Вывод. Условный предел прочности на сжатие заполнителей вдоль оси Z при одном и том же периметре сечения и высоте зависит в основном от коэффициента заполнения и соотношения размеров сот. Наибольший предел прочности на сжатие имеет ромбовидная сота.

Библиографический список:

1. Двоеглазов И.В., Халиуллин В.И. К вопросу проведения экспериментальных исследований прочности складчатых заполнителей типа z-гофр на поперечное сжатие. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. – Т.5 - № 2 - с.275-280.
2. Иванов А.А., Гофин М.Я. Механика сотовых заполнителей. Справочное пособие. Московский лесотехнический институт. 1989. -Т1. - 315с.
3. Ильдияров Е.В. Экспериментально-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния трехслойной кровельной панели с ортотропным средним слоем. Строительная механика и расчет сооружений. 2011- №6 - с.11.
4. Кобелев В.Н., Коварский Л.М., Тимофеев С.И. Расчет трехслойных конструкций. М.: Машиностроение, 1984. - с.22-61.
5. Кобелев В.Н., Сухинин С.Н., Устарханов О.М., Волхонский А.Е. Расчет прочности и устойчивости трехслойных конструкций. Махачкала, ДГТУ, 2004. 154 с.
6. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с заполнителем. Справочник. М.: Машиностроение, 1991. с.15-60.
7. Паймушин В.Н. Теория устойчивости трехслойных пластин и оболочек. Этапы развития, современное состояние и направления дальнейших исследований. Известия РАН, Механика твердого тела. 2001.- №2 - с.148-162.
8. Паймушин В.Н., Иванов В.А. Формы потери устойчивости однородных и трехслойных пластин при чистом сдвиге в тангенциальных направлениях. Механика композитных материалов. 2000, Т. 36 - №2 - с. 215-228.
9. Паймушин В.Н., Шалашилин В.И. Уточненные уравнения среднего изгиба трехслойных оболочек и сдвиговые формы потери устойчивости. Доклады РАН. 2003.- Т.392. - №2 - с.195-200.
10. Паймушин В.Н., Вялков А.Е. Уточненная геометрическая нелинейная теория трехслойных цилиндрических оболочек с трансверсально-мягким заполнителем произвольной толщины. Известия вузов. Авиационная техника, 2002, №3 - с.10-14.
11. Паймушин В.Н. Теоретико-экспериментальное определение осредненных упругих и прочностных характеристик складчатого заполнителя в виде М-гофра. Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 156:4 (2014), 60–86.
12. Сухинин С.Н. Прикладные задачи устойчивости многослойных композитных оболочек. М.: Физматлит. 2010. - 241 с.
13. Устарханов О.М., Муселемов Х.М., Киясов У.А., Устарханов Т.О. Определение оптимальных размеров и форм сотового заполнителя для трехслойной конструкции при действии статической нагрузки. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2013. - Т.30. - №3 - с.48-54.
14. Устарханов О.М., Муселемов Х.М., Устарханов Т.О. Экспериментальные исследования влияния клея и размеров ячейки на несущую способность трехслойной балки. Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. 2012.- №2 - с.91-95.
15. Устарханов О.М., Кобелев В.Н., Булгаков А.И., Кулиева Ш.С. Экспериментальные исследования трехслойных балок для оценки влияния краевых эффектов на напряженно-деформированное состояние. Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки, 2005. - с.75-78.
16. Устарханов О.М., Алибеков М.С., Устарханов Т.О. Экспериментальное исследование прочности конического заполнителя для трехслойных конструкций. Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2014. - №9 - с. 54-59.

17. Устарханов О.М., Муселемов Х.М., Устарханов Т.О. Экспериментальные исследования трехслойных балок с пирамидальным дискретным заполнителем. Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2016.- №2 - с.59-64.
18. Устарханов О.М., Устарханов Т.О., Муселемов Х.М. Экспериментальные исследования влияния клея на несущую способность трёхслойных балок. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011.- Т.20 - №1- с.86-93.
19. Устарханов О.М., Кобелев В.Н., Кобелев В.В., Абросимов Н.А. Анализ экспериментального исследования трехслойных балок с металлическим сотовым заполнителем и композиционными несущими слоями//Сборник международной научно-технической конференции «Современные научно-технические проблемы гражданской авиации». МГТУГА. 1999. - С.32-33.
20. Heimbs S., Kilchert S., Fischer S., Klaus M., Baranger E. Sandwich structures with folded core: mechanical modeling and impact simulations [Text]: *SAMPE Europe international conference*, Paris, 2009, pp.324-31.
21. Williamson JE and Lagace PA Response mechanisms in the impact of graphiteepoxy honeycomb sandwich panels. *Proc Sh Tech Conf Am Soc Composites*, Cleveland OH. 1993, pp.287-297.
22. Burton WS and Noor AK Assessment of computational models for sandwich panels and shells. *Comp Meth App Mech Eng*. 1995, vol.124, no.1-2, pp.125-151.

References:

1. Dvoeglazov I.V., Haliulin V.I. Experimental studies of the strength of folded fillers of the type with Z-corrugations in transverse compression. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aero-kosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Koroljova (nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta)* [Vestnik of Samara state aerospace University. academician S. P. Korolev (national research University)]. 2012, vol. 5, no.2, pp. 275-280. (In Russian)
2. Ivanov A.A., Gofin M.J. Mechanics of cell aggregates. Reference book. *Moskovskij lesotekhnicheskij institut* [Moscow Institute of forestry]. 1989, vol.1, p.315. (In Russian)
3. Eldarov E.V. Theoretical and Experimental studies of the stress-strained state of sandwich roof panels with orthotropic middle layer. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij* [Structural mechanics and calculation of structures]. 2011, no.6, p.11. (In Russian)
4. Kobelev V.N., Kovarskii L.M., Timofeev S. I. Calculation of sandwich structures. *Moscow: Mashinostroenie*. 1984, pp. 22-61. (In Russian)
5. Kobelev V.N., Sukhinin S.N., Ustarhanov O.M., Volkhonksy A.E. Calculation of strength and stability of sandwich structures. *Dagestanskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet*, [Dagestan State Technical University]. 2004, 154p. (In Russian)
6. Panin V.F., Gladkov, Y.A. Design with filler. Reference Book, *Moscow: Mashinostroenie*, 1991, pp.15-60. (In Russian)
7. Paimushin V.N. Stability theory of sandwich plates and shells (Stages of development, current state and directions of further research). *Izvestija RAN. Mehanika tverdogo tela*. [Izvestia RAS, Mechanics of solids]. 2001, no. 2, pp. 148-162. (In Russian)
8. Paimushin V.N., Ivanov V.A. The buckling of homogeneous and sandwich plates in pure shear in tangential directions. *Mehanika kompozitnyh materialov* [Mechanics of composite materials]. 2000, vol.36, no.2, pp.215-228. (In Russian)
9. Paimushin V.N., Shalashilin V.I. Refined equations of the middle bending of sandwich shells and shear buckling. *Doklady RAN* [The reports of the Russian Academy of Sciences], 2003, vol. 392, no.2, pp.195-200. (In Russian)
10. Paimushin V.N., Vyalkov A.E. The geometrical nonlinear theory of three-layer cylindrical shells with a transversely soft core of arbitrary thickness. *Izvestiya vuzov. Aeronautical engineering*, 2002, no.3, pp.10-14. (In Russian)
11. Paimushin V.N. Theoretical and experimental determination of average elastic and strength characteristics of the folded filler in the form of M-corrugation. *Uchenye zapiski Kazanskogo*

universiteta. *Fiziko-matematicheskie nauki Kazan*. [Scientists notes of the Kazan University. Physics and mathematics Kazan], 2014, 156:4 60-86. (In Russian)

12. Sukhinin.N. Applied problems of stability of multilayered composite shells. *Moscow: Fizmatlit*, 2010, 241 p. (In Russian)

13. Ustarhanov O.M., Muselemov H.M., Kiyavov U.A., Ustarhanov T.O. Determination of optimal sizes and shapes of honeycomb core for sandwich structures under static load. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. 2013, vol.30, no.3, pp. 48-54. (In Russian)

14. Ustarhanov.M. X Musalimov.M. Ustarhanov T. O. Experimental study of the effect of the adhesive and the cell dimensions on the bearing capacity of sandwich beams. *Izvestija vuzov. Severo-kavkazskij region. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Technical science]. 2012, no. 2, pp. 91-95. (In Russian)

15. Ustarhanov O.M., Kobelev V.N., Bulgakov A.I., Kuliyeva S.S. Experimental studies of three-layer beams to assess the impact of boundary effects on the stress-strain state. *Izvestija vuzov. Severo-kavkazskij region. Tehnicheskie nauki* [Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Technical science], 2005, pp. 75-78. (In Russian)

16. Ustarhanov O.M., Alibekov M.S., Ustarhanov T.O. Experimental investigation of the strength of the conical filler for sandwich structures. News of higher educational institutions. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie* [Proceedings of the higher educational institutions. Engineering], 2014, no.9, pp.54-59. (In Russian)

17. Ustarhanov O.M., Ustarhanov T.O., Muselemov H.M. Experimental study of sandwich beams with a pyramidal discrete filler. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie* [Proceedings of the higher educational institutions. Engineering], 2016, no.2, p.59-64. (In Russian)

18. Ustarhanov O.M., Ustarhanov T.O., Muselemov H.M. Experimental study of the effect of the glue on the bearing capacity of three-layer beams. Makhachkala, *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. vol.20, no.1, 2011, pp. 86-93. (In Russian)

19. Ustarhanov O.M., Kobelev V.N., Kobelev V.V., Abrosimov N.A. Analysis experimental study of sandwich beams with a metallic honeycomb core and supporting layers of composite. *Sbornik mezdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Sovremennye nauchno-tehnicheskie problemy grazhdanskoy aviacii»*. MGTUGA.[Scientific-technical International conference "Modern scientific-technical problems of civil aviation"]. 1999, pp.32-33. (In Russian)

20. Heimbs S., Kilchert S., Fischer S., Klaus M., Baranger E. Sandwich structures with folded core:mechanical modeling and impact simulations. *SAMPE Europe international conference*, Paris, 2009, pp.324-31.

21. Williamson J.E., Lagace P.A. Response mechanisms in the impact of graphiteepoxy honeycomb sandwich panels. *Proc Slh Tech Conf Am Soc Composites*, Cleveland OH. 1993, pp.287-297.

22. Burton W.S., Noor A.K. Assessment of computational models for sandwich panels and shells. *Comp Meth AppI Mech Eng*. 1995, vol.124, no.1-2, pp.125-151.

Сведения об авторах.

Вишталов Раджаб Исабекович – кандидат технических наук, доцент, кафедры строительных конструкций гидротехнических сооружений.

Муселемов Хайрулла Магомедмурадович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительных конструкций и гидротехнических сооружений.

Устарханов Осман Магомедович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций и гидротехнических сооружений, архитектурно-строительного факультета.

Authors information.

Rajab I. Vishtalov– Candidate of technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction of hydraulic engineering constructions.

Hayrulla M. Muselemov – candidate of technical sciences, senior lecturer of the Department of structures and hydraulic structures.

Osman M. Ustarhanov– doctor of technical science, Professor, head of Department of structures and hydraulic structures, faculty of architecture and construction.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 15.06.2016.

Conflict of interest

Received 15.06.2016.

Принята в печать 29.07.2016.

Accepted for publication 29.07.2016.

Для цитирования: Джалаев Ш.Г., Оцоков К.А. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕНОБЕТОНА. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):167-174 DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-167-174

For citation: Jalalov Sh.G., Otsokov K.A. THE WAYS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF FOAM CONCRETE. . Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):167-174. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-167-174

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 666.974.2

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-167-174

Джалаев Ш.Г.², Оцоков К.А¹.

Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

¹e-mail:kamil24@mail.ru

²e-mail:asf_dstu@mail.ru

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕНОБЕТОНА

Аннотация. Цель. Обобщить результаты анализа использования для обеспечения заданного сопротивления теплопередачи распространенных стеновых материалов. **Методы.** В результате теплотехнического расчета многослойной стены показано, что для обеспечения необходимого сопротивления теплопередачи более эффективным в теплозащитном отношении является пенобетон. **Результаты.** Установлено, что для получения пенобетонов с низкой плотностью необходимо получать высокократные смеси и увеличивать длительность перемешивания пенобетонной смеси в пенобетономесителе. Расчеты показали, что для обеспечения необходимого сопротивления теплопередачи более эффективным в теплозащитном отношении является пенобетон. Экспериментальные исследования показали, что использование механической активации сухой смеси (цемента, местных заполнителей, вспученного перлита) позволяет повысить прочность пенобетона на сжатие. Исследования показали, что использование местного сырья и техногенных отходов позволяет снижать себестоимость теплоизоляционных изделий при сохранении заданных свойств пенобетона. **Вывод.** Установлено, что при добавке волокон прочность на сжатие пенобетона возрастает на 10,5 %. Увеличение содержания суперпластификатора С-3 значительно повышает прочностные показатели пенобетона на смешанном вяжущем.

Ключевые слова: многослойная стена, пенобетон, строительные материалы, теплотехнический расчет, теплопроводность, пена, кратность

Shamil G. Jalalov,² Kamil A.Otsokov¹

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

¹e-mail:kamil24@mail.ru,

²e-mail:asf_dstu@mail.ru

THE WAYS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF FOAM CONCRETE

Abstract. Aim. The analysis of the using common wall materials for a given heat resistance is presented in the article. **Methods.** In the result of thermal calculation of multilayer walls is shown that to ensure the required resistance of heat transfer is more effective in thermal insulation is foam. **Results.** It was found that to obtain a foam concrete with low density is necessary to obtain multiple mixture and increase the duration by mixing the foam concrete mix in the foam concrete mixer. The calculations showed that for providing the required resistance to heat transfer foam is more efficient in certain cases. Experimental studies have shown that using of mechanical activation of the dry mix (ce-

ment and local aggregates, expanded perlite) can increase the compressive strength of foam concrete. Studies have shown that the use of local raw materials and industrial wastes reduces the cost heat insulation's products while maintaining the desired properties of the foam. Conclusion. It was experimentally established that the addition of fibres the compressive strength of foam concrete increases by 10,5 %. As a result of researches it was established that increasing the content of superplasticizer C-3 increases the strength characteristics of foam concrete mixed binder

Key words: multi-layer wall, foam concrete, building materials, thermal calculation, the thermal conductivity of the foam, the multiplicity

Введение. В настоящее время возросшие инвестиционные возможности предприятий и организаций привели к повышению спроса на эффективные строительные материалы.

Проведенные исследования показали, что с учетом нормативных требований к ограждающим конструкциям зданий, использование традиционных распространенных стеновых материалов, в некоторых случаях, становится менее эффективно с точки зрения стоимости этих материалов в количестве, необходимом для создания эффективной теплоизоляции [1]. Для успешного решения проблем энергосбережения необходимо расширение производства эффективных теплоизоляционных и относительно дешевых строительных материалов [17]. В этой связи большой интерес представляют теплоизоляционные пенобетоны, получаемые на различных виах вяжущих мелкозернистых заполнителях, тонкомолотых наполнителях с применением химических добавок.

Актуальным является совершенствование технологии производства с целью повышения качества теплоизоляционных пенобетонов, а также проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на упрощение технологических процессов и энергосбережение; поиск возможностей применения местного минерального сырья и отходов производства, а также способов снижения средней плотности, тем самым теплопроводности [15, 24].

В настоящее время особый интерес представляют различные способы повышения эффективности пенобетона [23]. Важное значение имеют исследования прочностных показателей пенобетона [19], исследования стойкости пенобетонов против действия химических и физических агрессивных факторов [20], исследования с применением различных вяжущих при производстве пенобетона [22, 18]. Кроме того, использование пенобетона заметно сокращает стоимость и сроки строительства, что важно в современных условиях для решения жилищных проблем [9].

Постановка задачи. Учитывая большие энергозатраты на обогрев помещений, остро встает вопрос о применении в качестве ограждающих конструкций эффективных теплоизоляционных и относительно дешевых строительных материалов.

Одним из таких материалов является неавтоклавный пенобетон. Он отличается простотой и мобильностью производства, экономичностью, высокими эксплуатационными свойствами и соответствует современным требованиям. Применение его в качестве стенного материала позволяет при небольшой толщине стены обеспечить требуемое термическое сопротивление теплопередачи. Поэтому сегодня актуальны вопросы получения эффективных пенобетонов с заданными эксплуатационными характеристиками, а также проведение исследований влияния компонентов в качестве утеплителя в многослойных стенах.

Как известно, теплоизолирующие свойства многослойных стен определяются слоем утеплителя, его теплоизоляционными характеристиками. Однако в настоящее время не достаточно исследованными остаются теоретические и практические аспекты влияния свойств местных заполнителей, свойств пены, режимов работы оборудования на свойства неавтоклавного пенобетона с целью повышения его эффективности.

В регулировании плотности пенобетона важное значение имеет кратность пенобетонной смеси. Интерес представляет изучение влияния длительности перемешивания пенобетонной смеси на кратность с использованием местного сырья.

В ходе проведенного исследования было изучено влияние длительности перемешивания пенобетонной смеси на кратность [2].

Теплопроводность является одним из основных показателей свойств теплоизоляционных материалов и зависит от многих факторов: пористости, размера пор, объема и количества закрытых пор, вида материала, заполняющего межпоровое пространство, температуры, влажности и т.д. Особый интерес представляет сравнительная оценка теплозащитных свойств многослойной стены.

Для организации технологического процесса изготовления пенобетонных изделий и получения высоких физико-механических показателей необходимо повысить усредненные данные, предусмотрев подготовку сырьевых компонентов. Подготовка сырьевых компонентов предполагает совместный помол вяжущего и кремнеземистого компонента [14].

Методы исследования. При проведении экспериментальных и опытно-промышленных работ использовались стандартные цементные вяжущие марки М500, кремнеземистый заполнитель - кварцевый песок Кумторкалинского месторождения с низким модулем крупности, различные синтетические пенообразователи, перлит Махачкалинского завода железобетонных изделий, молотый керамзитовый песок (г.Кизилорт, Республика Дагестан), отсев камнедробления (г.Кизилорт, Республика Дагестан).

С участием авторов была внедрена модернизированная установка по получению пенобетона на заводе крупнопанельного домостроения МКД-3 (г.Кизилорт, Республика Дагестан). Был изготовлен для проведения исследований пеногенератор и лабораторная установка по приготовлению пенобетона. Были изготовлены стеновые блоки и плиты для теплоизоляции [6]. Данные плиты были использованы вместо керамзитовой засыпки при теплоизоляции [8].

Производство пенобетона осуществлялось следующим образом. В пеногенераторе готовилась пена, затем был изготовлен раствор, состоящий из цемента, кремнеземистого компонента (заполнителя) и воды. Затем пена смешивалась с раствором в пенобетоносмесителе до набора соответствующей кратности. Кратность в данном случае определялась как отношение объема раствора пенобетонной смеси после перемешивания к объему раствора до перемешивания (рис. 1).



Рисунок 1- Пенобетоносмеситель

Были проведены исследования, связанные с влиянием местных заполнителей Республики Дагестан на свойства пенобетона. При производстве пенобетона использовались и другие способы, в том числе и метод сухой минерализации [10-12].

Авторами был проведен анализ влияния местного сырья и техногенных отходов Республики Дагестан, в частности (кирпичный бой, кварцевые пески, отсев камнедробления, перлитовый песок, базальтовые волокна и.т.д.) на физико-механические свойства неавтоклавного пенобетона.

В результате проведенного исследования было установлено, что при увеличении содержания суперпластификатора С-3 увеличиваются прочностные показатели пенобетона на смешанном вяжущем [5,7]. Проводилась также механическая активация заполнителей.

В ходе исследования было установлено, что плиты из теплоизоляционного пенобетона являются перспективным материалом (рис.2), сопоставимы по функциональным свойствам с плитами из минеральной ваты, а по строительно-эксплуатационным свойствам значительно превышают минераловатные плиты и имеют существенно меньшую стоимость [13].



Рисунок 2- Плиты для теплоизоляции из пенобетона

Следует обратить внимание, что для снижения плотности пенобетонов важное значение имеет кратность пенобетонной смеси [2,3,11]. Для доказательства этого были проведены исследования влияния длительности перемешивания пенобетонной смеси на кратность с использованием различного местного сырья (рис .3).

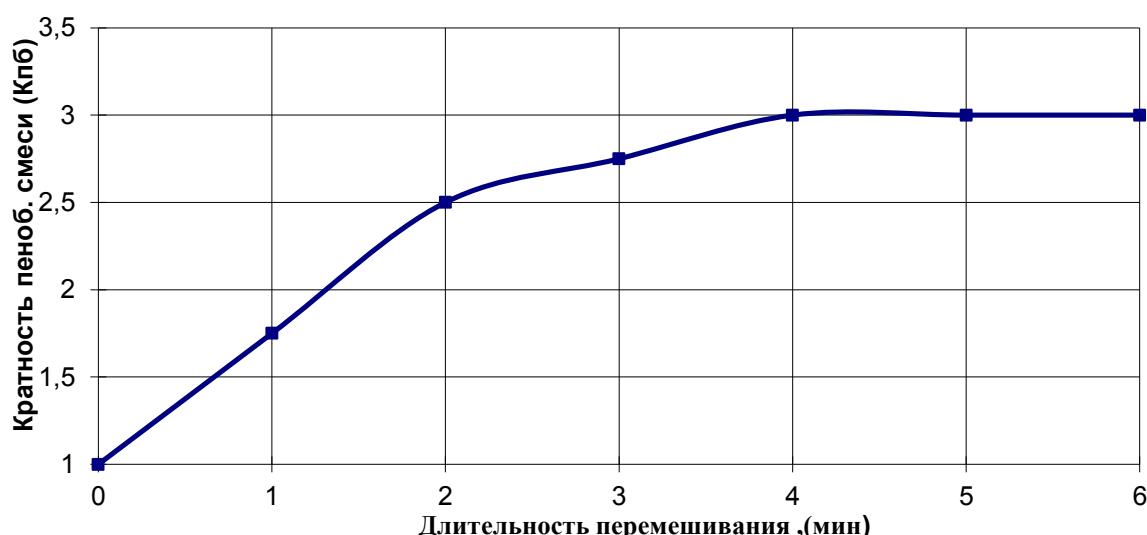


Рисунок 3-Зависимость кратности пенобетонной смеси на основе перлита (Кпб) от длительности перемешивания

Следует отметить, что важным компонентом является воздух, вовлеченный в бетон при помощи различных специальных веществ.

При получении пенобетона воздухововлечение происходит при помощи поверхностно-активных веществ (пенообразователей). Исследование показало, что кроме поверхностно-активных веществ, которые применяются для улучшения свойств бетона посредством воздуховвлечения, в зарубежной строительной практике одним из перспективных решений создания бетонов высокой морозостойкости является применение микрокапсул для создания в структуре бетона резервных пор [4,16,18]. Для определения и уточнения состава пенобетона авторами была разработана компьютерная программа.

Обсуждение результатов. При перемешивании пенобетонной смеси различной плотности было установлено, что при увеличении плотности пенобетонной смеси уменьшается ее кратность.

Эксперименты проводились на пенобетонных смесях с различными местными заполнителями, которые показали, что для получения пенобетонов с низкой плотностью необходимо получать высокократные смеси и для этого увеличивать длительность перемешивания пенобетонной смеси в пенобетоносмесителе. С этой целью определена для различных составов длительность перемешивания до достижения предельной кратности.

Были проведены сравнительные теплотехнические расчеты толщины многослойной стены. Первый слой (наружный) представляет собой цементно-песчаную штукатурку, второй, различные сравниваемые между собой материалы, третий (внутренний), известково-песчаную штукатурку.

В результате проведенного теплотехнического расчета была определена толщина второго слоя при обеспечении заданного сопротивления теплопередачи с учетом использования наиболее распространенных в Республике Дагестан стеновых материалов. Расчеты показали, что для обеспечения необходимого сопротивления теплопередачи более эффективным в теплозащитном отношении является пенобетон.

В частности требуемая толщина второго слоя при использовании пенобетона - 24 см, керамзитобетона - 32 см, силикатного кирпича - 55 см, керамического кирпича - 42 см [21].

Экспериментальные исследования показали, что использование механической активации сухой смеси (цемента, вспученного перлита) позволяет повысить прочность на сжатие пенобетона примерно на 83%. Было показано, что использование местного сырья и техногенных отходов позволяет снижать себестоимость готовых изделий при сохранении заданных свойств пенобетона. Было экспериментально установлено, что при добавке полипропиленовых волокон (расход 250 г/м³) прочность на сжатие пенобетона возрастает на 10,5 %.

Вывод. Использование местных заполнителей с применением отходов промышленности в условиях оптимального режима работы оборудования позволяет получать эффективные теплоизоляционные пенобетоны с низкой себестоимостью, которые можно применять в многослойных стенах.

Библиографический список:

1. Песцов В.И., Оцоков К.А., Вылегжанин В.П., Пинскер В.А. Эффективность применения ячеистых бетонов в строительстве России// Строительные материалы. - 2004.-№3. - С.7-8.
2. Оцоков К.А. Повышение эффективности пенобетона путем использования местных материалов: Дис ..канд.техн.наук.-М., 2002. С.141.
3. Оцоков К.А. Применение вспученного перлита как легкого наполнителя для пенобетона. Строительство-формирование среды жизнедеятельности. Материалы конференции (сборник докладов), М.: МГСУ, 2001. С. 178-180.
4. Vesikari E. Frost resistance of concrete containing hollow - microspheres (HMS). Symposium, VTT, 50, Espoo, 1984, vol.3, pp.421-434.
5. Абдулаев О.Т., Оцоков К.А. Применение пенобетонных стеновых блоков в малоэтажном домостроении Дагестана//БСТ.- 2001.-№ 6. - С.32-33.
6. Тотурбиеев Б.Д., Оцоков К.А., Порсуков А.А. Пенобетон в малоэтажном домостроении// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.- 2000.- №4. - С.342-345.

7. Тотурбиев Б.Д., Оцоков К.А., Порсуков А.А. Влияние суперплитификатора (С-3), вспущенного перлита и извести на прочностные свойства пенобетона // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.- 2000. - №4.- С.345-349.
8. Оцоков К.А Экономическое обоснование применения пенобетонных стеновых блоков в домостроении Дагестана. Государственное регулирование экономики в условиях рынка. Часть III. Проблемы теории и практики повышения эффективности функционирования структурных звеньев отраслей народно-хозяйственного комплекса региона// ДГТУ.- 2001, - С.116-119.
9. Азаев Н.Г., Алиев Г.С., Устарханов О.М., Оцоков К.А. Удобная формула //Дагестанская правда.-1997. - С.2.
10. Меркин А.П., Румянцев Б.М., Кобидзе Т.Е. Облегченный пеногипс - основа отделочных, звукоизолирующих и теплоизоляционных изделий// Строительные материалы.- 1979.- №6. с. 16-17.
11. Меркин А.П., Кобидзе Т.Е. Особенности структуры и особенности получения эффективных пенобетонных материалов// Строительные материалы. - 1988.-№3.-с.12-14.
12. Селезнев И.Г. Пенобетон для монолитного домостроения: Дис...канд.техн.наук.- М.,1995.- С.5
13. Коломацкий А.С., Коломацкий С.А.Теплоизоляционные изделия из пенобетона // Строительные материалы.- 2003.-№1. - С.38-39.
14. Липилин А.Б., Коренюгина Н.В. Дезинтегратор мокрого помола в производстве неавтоклавного пенобетона//Строительные материалы.- 2014.- №6. - С.10-11.
15. Тотурбиев А.Б. Теплоизоляционный пенобетон неавтоклавного твердения на бесцементном композиционном вяжущем: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Ставрополь, 2006., С.3
16. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны//Теория и практика.- М.:1998.- С.394
17. Оцоков К.А. Применение эффективных ячеистых бетонов в жилищном строительстве. Международная научно-практическая конференция. Ячеистые бетоны в новом строительстве (сборник докладов). Санкт-Петербург, 2004 .С.53
18. New type of super-lightweight magnesium phosphate cement foamed concrete Yue L., Bing C. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2015. vol. 27. no.1, pp. 401-412.
19. Models for prediction the strength and stiffness of foamed concrete at ambient temperature. Mydin Md.A.O. *European researcher. series a*. 2014, vol.67, no.1-2, pp. 124-129.
20. Influence of size factor on creep deformation of fine-grain foam concrete for repair. Bataev D.K.S., Mazhiev Kh.N., Gaziev M.A., Salgiriev R.R., Mazhiev K.Kh., Mazhieva A.Kh. *Life science journal*. 2014, vol. 11, no.12, pp. 995-997.
21. Disperse reinforcing role in producing non-autoclaved cellular foam concrete Vesova L.M. *Procedia Engineering*. 2016, vol.150, pp.1587-1590.
22. Формирование структуры магнезиальных ячеистых бетонов Мирюк О.А. *International scientific and practical conference world science*. 2016, vol.1, no.3(7), pp. 62-66.
23. Improving technology of non-autoclave foam concrete. Krasinikova N.M., Khozin V.G., Morozov N.M., Borovskikh I.V., Eruslanova E.V. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2014, vol. 9, no.22, pp.16735-16741.
24. Соков В.Н., Жабин Д.В., Бегляров А.Э., Землянушнов Д.Ю. Теоретические основы получения ячеистых бетонов из пеномасс, активируемых гидротеплосиловым полем // Промышленное и гражданское строительство. 2012. -№ 12.- С. 18-19.

References:

1. Pesczov V.I., Otsokov K.A., Vylegzhannin V.P., Pinsker V.A. The effectiveness of cellular concrete in the construction of Russia. *Stroitel'nye materialy*. [Building materials]. 2004, no.3, pp. 7-8. (In Russian)
2. Otsokov K. A.Improving the efficiency of foam concrete by using local materials: the Dissertation ...kand.tech.sciences, 2002, 141p. (In Russian)

3. Otsokov K.A. The use of expanded perlite as a lightweight filler for foam concrete. Building-the formation of living environment. The conference proceedings (collection of papers), Moscow: MGSU, 2001, pp.178-180. (In Russian)
4. Vesikari E. Frost resistance of concrete containing hollow - microspheres (HMS). Symposium, VTT, 50, Espoo. 1984, vol.3, pp. 421-434.
5. Abdullaev O.T., Otsokov K.A. Application of foam concrete wall blocks for low-rise house-building of the Dagestan. BST, 2001, no 6, pp. 32-33. (In Russian)
6. Toturbiev B.D., Otsokov K.A., Parsukov A.A. Foam concrete in low-rise housing construction. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science]. 2000, no.4, pp.342-345. (In Russian)
7. Toturbiev B.D., Otsokov K. A., A. Parshukov A. A. And the Influence of superplasticity (S-3), expanded perlite and lime on strength properties of foam concrete. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki.* [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science], 2000, no.4, pp.345-349. (In Russian)
8. Otsokov K. A. Economic feasibility of application of foam concrete wall blocks in the construction of the Dagestan Republic. State regulation of economy in market conditions. Part three. Problemy teorii i praktiki povyshenija effektivnosti funkcionirovaniya strukturnykh zven'ev otraspelj narodno-hozjajstvennogo kompleksa regiona [Problems of the theory and practice of increase of efficiency of functioning of the structural units of sectors of national economic complex of the region]. DSTU. 2001, pp.116-119. (In Russian)
9. Azaev N.G., Aliev G.S., Ustarhanov O.M., Otsokov K.A. Convenient formula. *Dagestanskaya Pravda* [True Dagestan].1997, p.2. (In Russian)
10. Merkin A.P., Rumyantsev B.M., Kobidze T.E. Lightweight foamed gypsum - based finishing, sound-absorbing material and thermal insulation products. *Stroitel'nye materialy.* [Building materials]. 1979, no.6, pp.16-17. (In Russian)
11. Merkin A.P., Kobidze T.E. Of the structure and features of producing effective foam concrete materials. *Stroitel'nye materialy.* [Building materials].1988, no.3, pp.12-14. (In Russian)
12. Seleznev I.G. Foam concrete for monolithic construction: Dis...cand.tech.Sciences.- Moscow,1995, p.5. (In Russian)
13. Kolomatskiy A.S., Kolomatskiy S.A. Thermal insulation products made of aerated concrete. *Stroitel'nye materialy.* [Building materials]. 2003, no.1, pp. 38-39. (In Russian)
14. Lipilin A.B., Korenyugina N.V. Disintegrator of wet grinding in the production of non-autoclave foam concrete. *Stroitel'nye materialy.* [Building materials]. 2014, no.6, pp.10-11. (In Russian)
15. Toturbiev A.B. Insulating foam concrete of non-autoclave hardening on cementless composite binder : author. dis. cand. tech. sciences. - Stavropol, 2006. p.3. (In Russian)
16. Batrakov V.G .Modified concretes. *Moscow:Teoriya i praktika* [Theory and practice]. 1998.- p.394. (In Russian)
17. Otsokov K.A.The effective use of porous concrete in residential construction . International scientific-practical conference. Cellular concrete in modern construction (collection of reports), Saint-Petersburg, 2004, p.53.
18. New type of super-lightweight magnesium phosphate cement foamed concrete Yue L., Bing C. *Journal of Materials in Civil Engineering.* 2015, vol. 27, no.1, pp.401-412.
19. Models for prediction the strength and stiffness of foamed concrete at ambient temperature. Mydin Md.A.O. *European researcher. series a.* 2014, vol.67, no.1-2, pp. 124-129.
20. Influence of size factor on creep deformation of fine-grain foam concrete for repair. Bataev D.K.S., Mazhiev Kh.N., Gaziev M.A., Salgiriev R.R., Mazhiev K.Kh., Mazhieva A.Kh. *Life science journal.* 2014, vol. 11, no.12, pp. 995-997.
21. Disperse reinforcing role in producing non-autoclaved cellular foam concrete Vesova L.M. *Procedia Engineering.* 2016, vol.150, pp.1587-1590.
22. Miryuk O.A. Formation of structure of cellular concrete magnesia. International scientific and practical conference world science. 2016, vol.1, no.3(7), pp. 62-66.

23. Improving technology of non-autoclave foam concrete. Krasinikova N.M., Khozin V.G., Morozov N.M., Borovskikh I.V., Eruslanova E.V. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2014, vol. 9, no.22, pp.16735-16741.

24. Sokov V.N, Zhabin D.V., Beglyarov A.E, Zemlyanushnov D.Y. Theoretical fundamentals of cellular concrete from penomass activated gidroteplosilovym field. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. [Industrial and civil construction]. 2012, no.12, pp. 18-19. (In Russian)

Сведения об авторах.

Джалалов Шамиль Гусейнович – кандидат технических наук, кафедра строительных материалов и инженерных сетей.

Оцоков Камиль Алиевич - кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра строительных материалов и инженерных сетей.

Authors information.

Shamil G.Dzhalalov – candidate of technical sciences, Department of construction materials and engineering networks.

Kamil A. Otsokov–candidate of technical science, senior lecturer, Department of construction materials and engineering networks.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 26.06.2016.

Принята в печать 29.08.2016.

Conflict of interest

Received 26.06.2016.

Accepted for publication 29.08.2016.

Для цитирования: Курбанов Р.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. ЖАРОСТОЙКОЕ АКТИВИЗИРОВАННОЕ ВЯЖУЩЕЕ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):175-182. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-175-182

For citation: Curbanov R.M., Hadzhishalapov G.N., Hezhev T.A. INTENSIFY HEAT-RESISTANT BINDER BASED ON PORTLAND CEMENT. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 175-182. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-175-182

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.34

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-175-182

Курбанов Р.М.³, Хаджишалапов Г.Н.¹, Хежев Т.А.².

^{1,3}Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
¹e-mail: yarus-x@mail.ru

²Кабардино-Балкарский государственный университет им Х.М.Бербекова,
г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.

²e-mail:hejev_tolya@mail.ru

³e-mail:osstikk@mail.ru

ЖАРОСТОЙКОЕ АКТИВИЗИРОВАННОЕ ВЯЖУЩЕЕ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Аннотация. Цель. В статье приводятся результаты исследования жаростойкого вяжущего на основе портландцемента с тонкомолотой добавкой из местного минерального сырья. **Методы.** Активация вяжущего осуществляется на планетарной мельнице «Активатор – 4М». Активация вяжущего повышает прочность жаростойкого бетона за счет повышения химической активности связки «портландцемент – тонкомолотая добавка» до механохимической добавки. **Результат.** Определено, что тонкомолотые добавки приводят к образованию легкоплавких и, тем самым, снижают температуру применения жаростойких бетонов на портландцементе. **Выход.** Доказано, что высокая механохимическая прочность образцов жаростойкого бетона на активированном вяжущем обуславливается процессами повышения химической активности материалов, входящих в связку «портландцемент – тонкомолотая добавка», что создает благоприятные условия для твердения жаростойкого бетона.

Ключевые слова: активация, мельница, активатор, вяжущее, добавка, реакция, бетон

Ramazan M. Curbanov³, Gadzhimagomed N. Hadzhishalapov¹, Tolia A. Hezhev²

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
¹e-mail: yarus-x@mail.ru

Kabardino-Balkarian State University H.M.Berbekova,
173, Chernyshevskogo Ave, Nalchik.

²e-mail:hejev_tolya@mail.ru,

³e-mail:osstikk@mail.ru

INTENSIFY HEAT-RESISTANT BINDER BASED ON PORTLAND CEMENT

Abstract. Aim. The article presents the results of a study of heat-resistant binder based on Portland cement with the addition of a local mill ground minerals. **Methods.** Activation is carried out on a planetary mill "Activator - 4M". Activation of the binder increases the strength of heat-resistant concrete by increasing the reactivity bundles "Portland is the active fine additive" to the mechano-

chemical additive. Results. It is determined that the mill ground additives result in the formation of low-melting and thereby reduce the temperature of the use of heat-resistant concrete with Portland cement binder. Conclusion. It is proved that high mechanochemical strength refractory concrete samples on activated binder is caused by the process of increasing the chemical activity of the materials included in a bundle of "Portland cement is the active fine additive" which creates favorable conditions for hardening of heat-resistant concrete

Key words: activation, mill, activator, bindle, admixture, reaction, cement, heat-resistant

Введение. Известно, что нагревание образцов из бетона на основе портландцемента до 330°C ведет к снижению прочности почти в два раза по сравнению с начальной. При обезвоживании трехкальциевого гидроалюмината происходит частичное разложение на CaO и C_3A , что влияет на прочность образцов. Чем выше содержание C_3A в образце, тем больше снижается его прочность [1]. При дальнейшем нагревании образцов гидратированный трехкальциевый алюминат продолжает разлагаться (590°C) с выделением свободного оксида кальция. Этот процесс нарушает кристаллическую решетку C_3A , структура камня разрыхляется, и прочность его резко снижается [1].

Цементный камень приобретает жаростойкие свойства благодаря введению в состав тонкомолотых минеральных добавок, к которым предъявляются определенные требования: добавки должны связывать свободный оксид кальция, устранивая вероятность его гашения, не образовывать с минералами портландцемента легкоплавких веществ, быть устойчивым к воздействию высоких температур, уменьшать усадку гидратированного портландцемента при нагревании, повышать жаростойкие свойства портландцемента [3].

Для связывания свободного оксида кальция в цементном камне достаточно вводить 25 – 30% тонкомолотой добавки [6]. Другие исследователи считают, что увеличение количества тонкомолотой добавки до 100% и более приводят к улучшению прочности цементного камня после нагревания до высоких температур. В тоже время известно, что многие тонкомолотые добавки приводят к образованию легкоплавких эвтектик и, тем самым, снижают температуру применения жаростойких бетонов на портландцементе [5].

Изучая и анализируя реакцию синтеза силикатов кальция известные ученые в области материаловедения Бутт и Тимашев [2] применяли в качестве известковых компонентов $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$ и CaO сделали вывод, что наиболее активной формой является CaO , полученный из $Ca(OH)_2$. Именно такая форма оксида кальция присутствует в нагретом камне. Взаимодействие CaO с кремнеземистыми и глинистыми компонентами начинается только при температуре 400 - 600 °C, активно протекая при более высоких температурах [5]. При длительном нагревании появление свободного оксида может наблюдаться и при температуре 250°C и выше. В связи с этим возникает необходимость применения более активных добавок.

По данным Тарасовой [3] в работах, посвященных составам жаростойкого бетона на основе силикат-глыбы и жидкого стекла, указывается, что твердение последних происходит при взаимодействии со многими веществами, в том числе с $Ca(OH)_2$, двухкальциевым силикатом и портландцементом. Отмечая высокую активность взаимодействия жидкого стекла и твердых его растворов (силикат - глыбы) с силикатными материалами, Тарасова [3] указывает, что при нагревании до 320°C смесей содержащих C_3S шамот и силикат – глыбы появляется экзотермический эффект, связанный с появлением новообразования.

Постановка задачи. В связи с высокой стоимостью жаростойких вяжущих материалов, таких как глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, жидкое стекло, фосфатная связка и другие, особый интерес представляет жаростойкое вяжущее, полученное на основе портландцемента марки 500 с тонкомолотой добавкой из боя обыкновенного глиняного кирпича Каспийского кирпичного завода.

Методы исследования. Анализ литературных данных [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11] показал, что свободный оксид кальция может находиться в цементном камне при длительном нагревании до 250°C. При температуре до 250°C CaO может взаимодействовать лишь с активными ми-

неральными добавками, которые признаны нежелательными для жаростойкого бетона из-за большой водопотребности и значительной усадки цементного камня. Для обеспечения устойчивости цементного камня при температурах выше 250°C считается целесообразным использование добавки, содержащей силикат натрия.

Из-за нежелательности использования активных минеральных добавок, связанных большой водопотребностью и значительной усадкой цементного камня, для обеспечения устойчивости цементного камня при температуре выше 250°C авторами предлагается механохимическая активация связки «портландцемент – тонкомолотая добавка» на планетарной мельнице «Активатор – 4М».

В предложенный нами состав жаростойкого вяжущего входит портландцемент производства завода «Серебряковцемент» Волгоградской области ГОСТ 31108 – 2003 минералогический и химический состав которого приведен в таблицах 1 и 2, и тонкомолотая добавка на основе боя обыкновенного глиняного кирпича Каспийского кирпичного завода Республики Дагестан, минералогический и химический состав которой приведен в таблицах 3 и 4 [10].

Таблица 1 - Химический состав портландцемента

| SiO ₂ | SO ₃ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | ппп |
|------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------------------|------------------|------|
| 20,72 | 2,60 | 5,07 | 4,71 | 63,42 | 1,19 | 0,33 | 0,55 | 1,41 |

Таблица 2 - Минералогический состав портландцемента

| Минералы | C ₃ S | C ₂ S | C ₃ A | C ₄ AF |
|---------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Количество, % | 64,9 | 12,0 | 5,3 | 15,0 |

Таблица 3- Химический состав боя глиняного кирпича

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | Fe ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | SO ₃ | CO ₂ | Ba | TiO ₂ |
|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|------|------------------|
| 43,02 | 16,20 | 7,40 | 8,41 | 1,36 | 1,54 | 4,01 | 0,77 | 5,25 | 0,66 |

Таблица 4 - Минералогический состав боя глиняного кирпича

| SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | H ₂ O |
|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| 48,9 | 2,7 | 15 | 8,8 | 6,4 | 0,2 | 5,1 | 8,4 | 2,3 | 0,7 | 0,3 | 0,75 |

Минералогический состав базальтового заполнителя для жаростойкого бетона Дагестанского месторождения приведен в таблице 5.

Таблица 5 - Минералогический состав базальтового гравия

| Название минералов | Ферримонтмориллит | Гипс | Каолинит | Кварц | Галит | Гидрослюдя |
|--------------------|-------------------|-------|----------|-------|-------|------------|
| Содержание в % | 51,4% | 21,9% | 5,7% | 4,5% | 4,0% | 1,3% |

Для получения активированного вяжущего применяли планетарную мельницу Активатор-4М (производство Новосибирского завода ЗАО «Активатор»).

Активатор-4М (мельница), которая приведена на рис.1, управляется от персонального компьютера при помощи программы «Активатор» через конвекторы RS485/RS232.

На мельнице установлен электродвигатель, 1450 об/мин, 15 Квт, включаемый, через комплект контроля скорости вращения (инвертор Toshiba VF11-4150PL, 400В, 3ф.), который обеспечивает плавное регулируемое повышение оборотов двигателя до номинального, предо-

храняет от перегрузки при старте, что позволяет производить помол материала при различных ускорениях мелких тел. Мельница снаряжена четырьмя стальными барабанами по 1300 мл. каждый.



Рисунок 1 - Планетарная мельница «Активатор-4М» с инвертором Toshiba VF11-415OPL.400B,3Ф

Преимущества Активатора-4М перед другими мельницами для помола твердых веществ заключаются в возможности помола до механохимических реакций.

Для механохимической активации нами предложен следующий состав вяжущего, который приведен в таблице 6.

В научно-исследовательской лаборатории строительных материалов Центра «Экспертиза и аудит в строительстве» были изготовлены образцы-кубики жаростойкого бетона размер 7*7*7 см из вяжущего крупного и мелкого заполнителя базальтового гравия, состав которого приведен также в таблице 6.

Таблица 6 - Состав заполнителя базальтового гравия

| № | Наименование компонентов | Расход кг/м ³ | Тонкость помола г/см ² | Крупность зерен мм. | % от вяжущего |
|---|--|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------|
| 1 | Активированное вяжущее | 400 | 6500+6700 | — | — |
| 2 | Цемент | 280 | 6500+6700 | — | 70 |
| | Добавка | 120 | 6500+6700 | — | 30 |
| 3 | Крупный заполнитель базальтовый гравий | 350 | — | 3 – 5 | — |
| 4 | Мелкий заполнитель базальтовый песок | 300 | — | 0,2 – 1,0 | — |
| 5 | Пластифицирующая добавка СП – 1 | 2 | — | — | 8 |

Результаты испытания образцов вяжущего и жаростойкого бетона на прочность на основе активированного вяжущего при нагреве до 200, 400, 600 и 800°C приведен на рисунках 2 и 3.

Показатели прочности бетона на 52 ÷ 54% выше, чем образцов бетона вяжущего без активации.



Рисунок 2. Зависимость прочности образцов вяжущего от температуры нагрева и количества тонкомолотой добавки, после механохимической активации (добавка суперпластификатор СП-1)



Рисунок 3. Зависимость прочности образцов жаростойкого бетона от температуры нагрева

Обсуждение результатов. Увеличение прочности образцов более 50% объясняется тем, что механохимическая активация вяжущей связки «портландцемент – тонкомолотая добавка» влечет за собой увеличение плотности растворной части бетона. Это связано с повышенной активностью тонкомолотой добавки и доведения её до механохимической реакции.

При измельчении вяжущего характерно аккумулирование энергии на поверхности раздела фаз, связанное с отсутствием связей между частицами. Это приводит к ускорению протекания химических реакций. Увеличение поверхностной энергии вызывается, прежде всего, разрывом межатомных связей структуры. Разрыв межатомных связей происходит при помоле, дроблении и истирании твердых тел [10,11,12,13,14,15].

По данным Г.С. Ходакова, при механохимической активации золы – уноса в планетарной центробежной мельнице в течении 5 – 15 минут, удельная поверхность золы увеличивается в 3 раза, а механохимическая прочность образцов жаростойкого бетона на активированном вяжущем обуславливается процессами повышения химической активности материалов, входящих в связку «портландцемент – тонкомолотая добавка», разрушение оболочки частиц цемента и тонкомолотой добавки при которой материал диспергируется, при этом возрастает способность CaO к взаимодействию с добавкой и создаются благоприятные условия для твердения жаростойкого бетона начиная с температуры разогрева 200°C, при этом не наблюдается сильной усадки бетона.

Анализ зависимости прочности образцов вяжущего от температуры нагрева (рис.2) с различным соотношением тонкомолотой добавки показал, что при температуре 105 °С наблюдается наибольший рост прочности бетона у составов от 20% до 40% тонкомолотой добавки.

При увеличении температуры до 700°С наблюдается снижение прочности образцов, за исключением с тонкомолотой добавкой до 40%, а при температуре 800°С прочности показателя образцов вяжущего находится в пределах до 80МПа, при дальнейшем увеличении температуры наблюдается снижение прочности образцов вяжущего до 60%.

Анализ зависимости прочности образцов жаростойкого базальтового бетона на основе активированного вяжущего показывает, что образцы бетона с механохимической активацией имеют высокие показатели прочности по сравнению с образцами без активации вяжущего. Максимальную прочность образцы бетона имеют при температуре сушки 105°С. В дальнейшем при увеличении температуры происходит падение прочности бетона. В температурном диапазоне от 700 до 800°С прочность бетона находится от 10 до 15 МПа, что вполне удовлетворяет эксплуатационным требованиям.

Бетон обеспечивает требования к газоходам туннельной печи по физико-механическим и теплофизическим показателям с температурой эксплуатации до 800°С в соответствии со СНиП. Падение прочности бетона в температурном диапазоне от 400°С до 800°С обусловлен образованием плавня в связи с наличием в составе крупного и мелкого заполнителя минералов кремнезема до 50 – 54%.

Расход воды по удобоукладываемости при осадке стандартного конуса не более 2 см. Образцы изготавливали методом вибропрессования. Сушку образцов производили после естественного твердения бетона в течение 7 суток (температура наружного воздуха 15-20°С, относительная влажность до – 100%) при 105-120°С до постоянной массы. Остаточная прочность (контрольное) после 650°С – 700°С и 60%, средняя плотность бетона естественной влажности 2400кг/м³.

Вывод. Использование активированного вяжущего на основе местного минерального сырья и базальтового заполнителя Дагестанского месторождения позволяет получить жаростойкий бетон с классом по прочности при температуре эксплуатации до 800 °С В15. Активация вяжущего снижает водопотребность растворных и бетонных смесей на 20 – 25% и сокращает время набора прочности бетона.

Библиографический список:

1. Некрасов К.Д. Влияние высоких температур на физико-химические свойства гидротированных клинкерных минералов.//сб. трудов «Физико-химические и технологические основы жаростойких цементов и бетонов»/ Академия наук СССР-М., -1986, -238с.
2. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Портландцементный клинкер. М.:Стройиздат, 1967.-303 с.
3. Некрасов К.Д. Тарасова А.П. Жаростойкий бетон на портландцементе. М.: Стройиздат, 1969. - 190 с.
4. Некрасов К.Д. Жароупорный бетон. М.: Промстройиздат, 1975.- 283с.
5. Жданова Н.П. Особо легкий жаростойкий бетон на быстротвердеющем портландцементе и силикат – глыбе. // сб.трудов «Физико – химические и технологические основы жаростойких цементов и бетонов/Академия наук СССР – М.:1986.- 85 с.
6. Sahmaran M., Yucel H.E., Demirhan S., Arik M.T., Li V.C. Combined Effect of Aggregate and Mineral Admixtures on Tensile Ductility of Engineered Cementitious Composites. *ACI Journal Search.* 2012, vol.109, no. 6, pp.627 – 638.
7. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Стройиздат, 1972.- 239с.
8. Бикбау М.Я., Мочалов В.Н., Чень Л. Производство механо – химически активированных цементов (вязущих) низкой водопотребности // Цемент и его применение. 2008. -№ 3.- С. 80 – 89.

9. Болдырев В.В., Аввакумов Е.Г., Болдырева Е.В. Фундаментальные основы механохимической активации, механосинтеза и механических технологий. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009.- 343 с.
10. Сиденко М.П. Измельчение в химической промышленности. М.: Химия, 1977. -368 с.
11. Glazer B., Gruber C., Roose C., Syrett P., Youssef C. Fly Ash in Concrete. *Perkins + Will*. 2011, 52 p.
12. Michael T., R. Hooton D., Rogers C., Fournier B. 50 Years Old and Still Going Strong *Concrete International*. 2012, vol. 34, no.1, pp. 35- 40.
13. Nishant G., Kejin W., Martin S.W. Raman spectroscopic study of the evolution of sulfates and hydroxides in cement – fly ash pastes. *Cement and Concrete Research*. 2013, vol. 53, pp.91-103.
14. Chaunsali P., Peethamparan S. Novel Cementitious Binder Incorporating Cement Kiln Dust: Strength and Durability *ACI Journal Starch*. 2013, vol.110, no.3, pp.297 – 304.
15. Garcia – Mate M., De la Torre A.G., Leon – Reina L., Aranda M. Santacruz Hydration studies of calcium sulfoaluminate cements blended with fly ash. *Cement and Concrete Research*. 2013, vol. 54, pp. 13-12.

References:

1. Nekrasov K.D. The effect of high temperatures on the physico-chemical properties of hydrating clinker minerals. *Akademija nauk SSSR* [Collection of work Academy of Sciences of the USSR, the Physico-chemical and technological bases of refractory cements and concretes]. Moscow, 1986, 238p. (In Russian)
2. Butt J.M., Timashev M.V. Portland cement clinker. *Moscow:Stroyizdat*, 1967, 303p. (In Russian)
3. Nekrasov K.D., Tarasova A.P. Heat-resistant cement. *Moscow:Stroyizdat*, 1969, 190 p. (In Russian)
4. Nekrasov K.D., Heat-resistant concrete. *Moscow:Promstroyaudit*, 1975. 283p. (In Russian)
5. Zhdanova N. P. Super-lightweight heat-resistant concrete fast-hardening Portland cement and silicate rocks. *Akademija nauk SSSR* [Collection of work Academy of Sciences of the USSR, the Physico-chemical and technological bases of refractory cements and concretes]. Moscow, 1986, 85p. (In Russian)
6. Sahmaran M., Yucel H.E., Demirhan S., Arik M.T., Li V.C. Combined Effect of Aggregate and Mineral Admixtures on Tensile Ductility of engineered Cementitious Composites. *ACI Journal Search*. 2012, vol.109, no. 6, pp.627 – 638.
7. Hodakov G.S. Fine grinding of construction materials. *Moscow: Stroyaudit*. 1972, 239 p. (In Russian)
8. Bikbau M.Y., Mochalov V.N., Chen L. The production of mechano – chemically activated cements (binders) with low water demand. *Cement i ego primenenie*.[Cement and its applications]. 2008, no. 3, pp. 80 – 89. (In Russian)
9. Boldyrev V.V., Avvakumov E.G., Boldyrev E.V. The fundamental bases of mechanochemical acti-pushed, mechanosynthesis and mechanical technologies. *Novosibirsk: Publishing house SB RAS*, 2009. 343 p. (In Russian)
10. Sidenko M. P. Grinding in chemical industry. *Moscow: Himija [Chemistry]* 1977, 368p. (In Russian)
11. Glazer B., Gruber C., Roose C., Syrett P., Youssef C. Fly Ash in Concrete. *Perkins + Will*. 2011, 52 p.
12. Michael T., R. Hooton D., Rogers C., Fournier B. 50 Years Old and Still Going Strong *Concrete International*. 2012, vol. 34, no.1, pp. 35- 40.
13. Nishant G., Kejin W., Martin S.W. Raman spectroscopic study of the evolution of sulfates and hydroxides in cement – fly ash pastes. *Cement and Concrete Research*. 2013, vol. 53, pp.91-103.
14. Chaunsali P., Peethamparan S. Novel Cementitious Binder Incorporating Cement Kiln Dust: Strength and Durability *ACI Journal Starch*. 2013, vol.110, no.3, pp.297 – 304.

15. Garcia – Mate M., De la Torre A.G., Leon – Reina L., Aranda M. Santacruz Hydration studies of calcium sulfoaluminate cements blended with fly ash. *Cement and Concrete Research*. 2013, vol. 54, pp.13-12.

Сведения об авторах.

Курбанов Рамазан Магомедович – соискатель, кафедра технологии и организации строительного производства.

Хаджишалапов Гаджимагомед Нурмагомедович – доктор технических наук, профессор кафедры организации строительства, современных технологий и контроля качества, декан архитектурно-строительного факультета.

Хежев Толя Амирович – доктор технических наук, профессор, кафедры строительного производства, действительный член Адыгской (Черкесской) Международной академии наук.

Authors information.

Ramazan M. Kurbanov – applicant, Department of technology and organization of construction production.

Gadzhimagomed N. Hadzhishalapov – doctor of technical science, Professor of the Department of construction management, modern technologies and quality control, the Dean of the faculty of architecture and construction.

Tolia A. Hezhev – doctor of technical science, Professor, Department of building production, member of Adyghe (Circassian)

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

Поступила в редакцию 05.06.2016.

Received 05.06.2016.

Принята в печать 20.08.2016.

Accepted for publication 20.08.2016.

Для цитирования: Мантуров З.А., Омаров А.О., Тотурбиев А.Б., Тотурбиева У.Д. АРБОЛИТОБЕТОН НА СИЛИКАТНАТРИЕВОМ КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ И ОБРЕЗКАХ ВИНОГРАДНОЙ ЛОЗЫ. *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2016; 42(3):183-192. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-183-192

For citation: Manturov Z.A., Omarov A. O., Toturbiev A. B., Toturbieva U. D. ARBOLITCONCRETE ON SILICATESODIUM COMPOSITE BINDER AND SCRAPS OF VINE. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2016;42 (3):183-192. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-183-192

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.335

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-183-192

Мантуров З.А.¹, Омаров А.О.², Тотурбиев А.Б.³, Тотурбиева У.Д.⁴

^{1,2,4}Дагестанский государственный технический университет,

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

³Белгородский государственный технологический университет, 308012, г.

Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

¹e-mail: zagir9@mail.ru

²e-mail: o.arif@mail.ru

^{3,4}e-mail: totbat@mail.ru

АРБОЛИТОБЕТОН НА СИЛИКАТНАТРИЕВОМ КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ И ОБРЕЗКАХ ВИНОГРАДНОЙ ЛОЗЫ

Аннотация. Цель. Обобщить результаты экспериментальных исследований получения силикатнатриевого композиционного вяжущего из карбонатных отходов камнепиления, безводного силиката натрия и на их основе арболитобетона с применением в качестве органического заполнителя обрезков виноградной лозы для производства теплоизоляционного, теплоизоляционно-конструкционного и конструкционного стенового материала. Методы. Применены основные технологические операции разработанного арбалитобетона: получение композиционного вяжущего; изготовление органического заполнителя из виноградной лозы; приготовление арболитовой массы; формование арболитовой массы; низкотемпературная обработка (сушка). Результаты. Установлено, что композиционное вяжущее, получаемое из отходов камнепиления и безводного силиката натрия при их совместном тонком помоле ($S_{y\delta} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$), приобретает вяжущие свойства и при соответствующем уплотнении и термообработке твердеет, приобретает высокие прочностные характеристики, достаточные для изготовления арболитобетона с использованием дробленой виноградной лозы. Вывод. Доказано, что арболитобетон, полученный на основе дробленой виноградной лозы и силикатнатриевого композиционного вяжущего, по прочности превышает арболитобетон из других видов вяжущих веществ и органических заполнителей растительного происхождения.

Ключевые слова: арболит, безводный силикат натрия, силикат-глыба, композиционное вяжущее, отходы производства, обрезки виноградной лозы.

Zagir A. Manturov¹, Arif O. Omarov², Adilbiy B. Toturbiev³, Umuu D. Toturbieva⁴

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

Belgorod State Technological University, 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012.

¹e-mail: zagir9@mail.ru,

²e-mail: o.arif@mail.ru,

^{3,4}e-mail: totbat@mail.ru

ARBOLITCONCRETE ON SILICATESODIUM COMPOSITE BINDER AND SCRAPS OF VINE

Abstract. Aim. The results of experimental studies produce silicatesodium composite binder of calcareous stone sawing waste, anhydrous sodium silicate, and based on them wood concrete using as

*an organic filler vine cuttings for the production of heat-insulating, heat-insulating, structural and structural wall material. **Methods.** The main technological operations of the developed arbolitconcrete are given: preparation of a composite binder; production of organic filler from the vine; preparation of arbolit concrete mass; formation of arbolit concrete mass; low-temperature treatment (drying). **Results.** It is found that the composite binder derived from waste stone sawing and anhydrous sodium silicate at their joint fine grinding ($Ssp = 3000 \text{ cm}^2 / \text{g}$), acquires binding properties and with the appropriate seal and heat treatment hardens and gains strength characteristics sufficient for making arbolitconcrete using crushed vine. **Conclusion.** It was determined that arbolitobeton obtained on the basis of the crushed vine and silikatnatrievogo composite binder strength exceeds arbolitobetona from other types of binders and organic fillers of vegetable origin.*

Key words: arbolit, anhydrous sodium silicate, silicate-block, composite binders, waste production, pruning the vines

Введение. В настоящее время с расширением индивидуального строительства в различных регионах России возрастаает потребность в строительных материалах, разработанных на основе местных ресурсов и отходов производств. В современных условиях актуально, чтобы каждый регион имел ресурсы для получения местных вяжущих и на их основе строительных материалов, отвечающих высоким техническим требованиям и способствующих сохранению окружающей среды.

Постановка задачи. В настоящее время главная задача, стоящая перед производителями строительных материалов - это увеличение объемов выпуска теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов, обусловленное необходимостью снижения массы современных зданий и сооружений. Поэтому научно-исследовательские работы, направленные на создание конструкционно-теплоизоляционных бетонов с применением вторичных ресурсов, являются наиболее перспективными и отвечают требованиям сегодняшнего дня.

Использование вторичных ресурсов, являющихся богатым источником дешевого и часто уже подготовленного сырья в производстве легких конструкционно-теплоизоляционных бетонов, позволяет расширить сырьевую базу, снизить стоимость бетонов. А это в свою очередь приведет к экономии капитальных вложений, повышению уровня их рентабельности, высвобождению значительных площадей земельных угодий и снижению степени загрязнения окружающей среды.

Актуальность и необходимость переработки вторичного сырья связано не только с усиливающимся загрязнением природной среды, но и с ограниченностью традиционных природных ресурсов. Поэтому последовательное повышение уровня их использования становится важнейшей общегосударственной задачей, так как объемы побочных и попутных продуктов различных отраслей промышленности постоянно возрастают.

В этой связи немаловажное значение имеет использование отходов промышленной переработки лесного и сельского хозяйства.

Методы исследования. Проведенный нами анализ применения органических отходов лесного и сельского хозяйства показывает [1,2,4-10,13,14], что одним из наиболее перспективных направлений утилизации - расширение применения их при производстве строительных материалов и изделий. Согласно ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него» к таким строительным материалам относится арболитобетон, состоящий из подобранный смеси вяжущего, органических заполнителей растительного происхождения, воды и различных химических добавок. В качестве органических заполнителей используются отходы деревообрабатывающей отрасли, лесозаготовок и однолетних сельскохозяйственных культур: солома и шелуха риса, отходы сахарного тростника, костра льна, отходы хлопчатника и др.

Арболит как легкий и эффективный строительный материал широко применяется в строительстве в разных странах и имеет различные названия. В настоящее время на рынке Рос-

ции наиболее широко представлены зарубежные аналоги арболита – бризолит, велокс, дюрисол.

Из арболита изготавливают теплоизоляционные и конструкционно-теплоизоляционные изделия: плиты перекрытия и покрытия, стеновые блоки и панели. Изделия из арболита применяются в малоэтажном (до 3-х этажей) индивидуальном строительстве домов и коттеджей, частном и коммерческом строительстве малоэтажных зданий и сооружений (жилые, хозяйствственные и производственные постройки). Главным преимуществом изделий из арболита является его низкая цена.

Производство арболита обходится недорого, так как используются доступные и дешевые материалы. Кроме того арболит обеспечивает хорошую теплоизоляцию и звукоизоляцию в зданиях и сооружениях, экологичен и не токсичен, безопасен как для людей, так и для окружающей среды.

Благодаря способности поддерживать нормальный микроклимат в помещении, исключая образование конденсата на поверхности ограждающих конструкций, арболит является одним из лучших стеновых материалов. Арболит и изделия из него относятся к группе легких бетонов-конгломератов с композитной волокнистой структурой [5,7,14].

Как уже было отмечено, органические заполнители, применяемые для получения арболитовой смеси, могут быть в виде низкокачественной древесины и отходов переработки лесоматериалов [5-7, 14], а также отходов сельского хозяйства (костра льна, рисовой соломы, стеблей хлопчатника, тростника и т.п.) [1,4,9,10,13].

Отходы сельского хозяйства используются в основном в районах, где отсутствуют промышленные запасы леса. Так, например, на плантациях виноградников, где на больших площадях выращивают виноград, после ежегодной обрезки используются обрезки виноградной лозы. В Северо Кавказских республиках ежегодно сжигается более одного миллиона кубометров обрезков виноградной лозы. Только в Дагестане сжигается около 300 тысяч тонн виноградной лозы. Хозяйства, занимающиеся выращиванием винограда, осуществляют поиск путей её рационального применения.

Попытки использовать виноградную лозу в строительстве предпринимали в разные периоды в России, а также в странах ближнего и дальнего зарубежья [4,6,8,9,10].

Издавна лозу использовали как армирующий материал в саманных постройках в Средней Азии, на юге Одесской и Николаевской областей, Молдавии и в Крыму. В 20-ых годах прошлого века во Франции была получена удовлетворительного качества бумага, состоящая на 2/3 из древесины лозы. Аналогичные исследования проводились в СССР и Германии.

Наиболее активно проводились исследования по промышленному использованию обрезков виноградной лозы в 60-х годах прошлого века. Так, в Грузии была исследована возможность использования виноградной лозы для производства древесноволокнистых плит мокрым способом, тарного и кровельного картонов и строительных плит; во Франции апробирован процесс получения плит из лозы, облицованной шпоном или пластиком; в Болгарии изучено влияние режимов прессования на некоторые физико-механические свойства древесностружечных плит из обрезков виноградной лозы. Позже (1971-1977гг.) научно-исследовательские работы по применению в качестве сырья обрезков виноградной лозы выполнены в Молдавии для производства ДВП и ДСП; в России для изготовления лигноуглеводных древесных пластиков (ЛУДП) без добавления связующих с оптимизацией условий [8].

Наиболее значимые научно-исследовательские работы, проведенные как в лабораторных, так и в производственных условиях, были выполнены Стояновым В.В. и его учениками [4, 9, 10]. Переработка обрезков виноградной лозы рекомендована тремя способами, сухое горячее прессование без добавления связующих, прессование с использованием в качестве связующих полимеров и изготовление изделий из различных минеральных вяжущих веществ.

На основе использования этих способов переработки лозы были изготовлены и исследованы различные строительные материалы и изделия.

Однако проблемы по использованию переработанной виноградной лозы при производстве строительнодукции до конца не решены. Возникает целый ряд вопросов по применению минеральных вяжущих, одной из основных составляющих арболита, их совместимость с органическим заполнителем обладающим химической активностью, так как в их составе имеются растворимые вещества, снижающие эффективность применяемого вяжущего вещества.

Для этого в состав арболитовой смеси дополнительно вводят химические добавки с целью их нейтрализации, либо выдерживают как минимум 3 месяца на открытом воздухе. Поэтому в современных условиях для каждого региона актуально иметь свои ресурсы для получения местных вяжущих и материалов на их основе, отвечающих высоким техническим требованиям, и способствующих сохранению окружающей среды.

Комплексные научные исследования, выполняемые в Дагестанском государственном техническом университете на кафедре «Технологии конструкционных материалов», в основном направлены на создание теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов с использованием местных минеральных ресурсов, отходов промышленности и сельского хозяйства.

Актуальность данного научного направления обосновывается во-первых, практически полным отсутствием в Дагестане эффективных местных теплоизоляционных материалов и необходимостью их ввоза из других регионов, а во-вторых, неудовлетворенностью привозными утеплителями на полимерной основе, имеющими высокую стоимость и ряд других недостатков (токсичность, низкая огнестойкость).

С целью создания местного эффективного теплоизоляционного материала, в частности, был исследован арболитовый бетон на основе силикатнатриевого композиционного вяжущего и органического заполнителя - обрезков виноградной лозы.

В данной статье приводятся результаты исследования по разработке оптимального состава и свойств силикатнатриевого вяжущего из местных карбонатных отходов производства камнепиления для получения арболитобетона с использованием обрезков местной виноградной лозы как органического заполнителя.

Фундаментальными исследованиями академика Тотурбиева Б.Д. [11,12] установлена возможность получения силикатнатриевых вяжущих для производства строительных материалов с использованием необожженных карбонатных пород (доломит, известняк, мел). Откуда следует, что процесс структурообразования силикатнатриевого композиционного вяжущего зависит от многих факторов. Важнейшим можно считать приобретение безводным силикатом натрия (его тонкодисперсными частицами) адгезионных свойств, определяющих клеящую способность этого компонента и когезионную прочность kleевых контактов, обеспечивающих механическую прочность композиции.

Прочные kleевые контакты в силикатнатриевой композиции могут быть созданы при следующих основных условиях: равномерном распределении тонкоизмельченных частиц безводного силиката натрия в порошке минерального составляющего; обводнении этих частиц для образования тончайших kleевых пленок на их поверхности; уплотнении при формировании образцов; тепловой обработке с обезвоживанием и твердением системы. Важными составляющими силикат-натриевого композиционного вяжущего являются минеральные наполнители, совместно молотые с безводным силикатом натрия. Большое значение в этом случае имеет возможность совместного использования безводного силиката натрия и необожженных карбонатных пород для получения композиционного вяжущего. Карбонатные породы в основном применяются в обожженном и полуобожженном виде. Их используют в производстве цементов, извести, огнеупорных и автоклавных материалов, а в последнее время в необожженном виде –

в качестве тонкомолотых добавок при производстве некоторых строительных материалов. Использование природных необожженных карбонатных пород, особенно отходов производств, в создании строительных материалов даёт новый импульс в их развитии.

Опираясь на ранее проведенные исследования в этом направлении, нами предположено, что совместный тонкий помол отходов камнепиления и силикат-глыбы (отходы стекольного производства) позволит получить вяжущее, твердение которого будет происходить при соответствующей сушке или в автоклавной обработке. При этом предполагалось, что упрочнение контактов между тонкодисперсными частицами будет происходить, не только за счет приобретения безводным силикатом-натрия (его тонкодисперсными частицами) адгезионных свойств, но и за счет химического взаимодействия между силикатом натрия и оксидом кальция, образованного на поверхности тонкодисперсных карбонатных частиц отходов камнепиления при их помоле. Возможность такого процесса приводится и в работе [11].

Наиболее подробно нами изучено совместно молотое силикатнатриевое композиционное вяжущее ($S_{уд} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$) на основе карбонатных отходов камнепиления и силикат глыбы с кремнеземистым модулем 2,7..3,0.

Для исследования влияния количественного соотношения композиционного вяжущего на физико-механические свойства изготавливались образцы-кубы из различных составов с размером ребра 7,07 см. Уплотнение смеси производилось вибратором на виброплощадке при частоте 3000 кол/мин. и амплитуде - 0,35 мм в течение 45 с. При этом использовались смеси с $B/B = 0,19$. Твердение образцов осуществлялось в различных условиях (естественное твердение, сушка, автоклавная обработка).

Обсуждение результатов. Результаты испытаний образцов вяжущего разных составов (отходы камнепиления: силикат-глыба = 90 : 10, 80 : 20 и 70 : 30) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость прочности образцов силикатнатриевого композиционного вяжущего от условий твердения

| Состав вяжущего- отходы камнепиления: силикат-глыба, % | Прочность на сжатие, МПа, после твердения | | |
|--|---|-------------------|----------------------------|
| | в естественных условиях | сушка, 90...200°C | автоклавная обработка, МПа |
| 90 : 10 | 4,25 | 19,03 | 25,4 |
| | 4,31 | 18,95 | 26,08 |
| | 4,44 | 17,86 | 24,91 |
| 80 : 20 | 11,8 | 35,04 | 39,41 |
| | 12,4 | 33,45 | 40,18 |
| | 11,9 | 34,62 | 41,6 |
| 70 : 30 | 17,6 | 40,66 | 45,34 |
| | 25,3 | 41,05 | 46,70 |
| | 21,3 | 40,72 | 47,32 |

Они свидетельствуют о том, что в естественных условиях процесс твердения сильно растянут во времени, прочность образцов повышалась медленно и достигла 11..21 МПа после 240-суточной выдержки. Естественно предположить, что в таких условиях низкая скорость твердения вяжущего объясняется малой растворимостью силикат-глыбы в воде и, следовательно, замедленной коагуляцией геля кремниевой кислоты из раствора, образующего силикат натрия под действием углекислого газа воздуха. Невысокие прочности образцов даже при длительных сроках твердения объясняются видимо тем, что образующаяся на поверхности образцов жидкостекольная пленка препятствует дальнейшему проникновению углекислого газа в

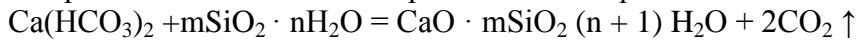
более глубокие слои и полной коагуляции геля кремниевой кислоты. Из-за невысокой температуры замедляется также обезвоживание геля и его дальнейшее структурирование.

Автоклавную обработку образцов осуществляли по режиму: подъем давления до 1 МПа – 2 ч, изобарическая выдержка – 4 ч, спуск давления – 2 ч.

Поскольку автоклавная обработка вяжущего обеспечивает нормальное твердение образцов и их высокие прочностные характеристики (табл.1) было высказано предположение о решающем влиянии повышенной температуры и каталитического действия водяного пара на твердение. Поэтому процесс исследовали также в режиме сушки, соблюдая условия, позволяющие осуществлять интенсивную паровлажностную обработку материала. Для этого образцы сушили при температуре 90-200°C по специально разработанному режиму: 4ч – самозапаривание при 90–110°C, 2 ч- сушка при 200°C. Образцы, твердевшие по этому режиму, показали высокие прочности и мало уступали образцам, подвергнутым автоклавному твердению.

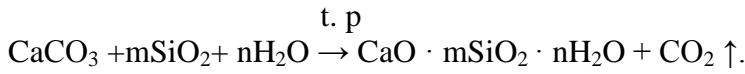
Исходя из полученных экспериментальных данных, можно предположить возможность протекания физико-химических процессов при автоклавной обработке разработанного силикатнатриевого вяжущего. При нагревании ускоряется гидратация тонкоизмельченной силикатглыбы и ее растворение в небольшом количестве воды. Получаемый раствор под действием повышенных температур гидролизуется с выделением свободной щелочи и геля кремниевой кислоты.

В условиях гидротермальной обработки ($T = 170\text{--}200^\circ\text{C}$, $p = 1 \text{ МПа}$) карбонатный компонент отхода камнепиления остается инертным и с ним могут происходить некоторые превращения, т.е. переход CaCO_3 в раствор в виде $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который способен реагировать в автоклаве с кремниевой кислотой с образованием гидросиликата кальция-

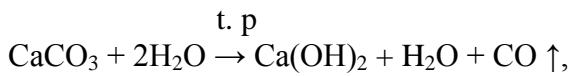


Наличие которого подтверждается данными рентгенофазового анализа приведенного в работах [1, 2].

В присутствии щелочи, связывающей часть углекислоты в соде, этот процесс можно представить следующим образом:



Реакция образования гидросиликатов кальция обязательно предполагает гидролиз карбонатов кальция,



в результате которого появляется $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующий с гелем кремнекислоты гидросиликаты.

Образованию гидросиликатов кальция может также способствовать наличие в тонкоизмельченном вяжущем свободных оксидов кальция в результате частичной декарбонизации в условиях термомеханического воздействия при совместном помоле с силикатглыбой в шаровой мельнице. О возможности такого процесса указывалось в ряде работ [3,11]. Присутствие хотя бы незначительных количества свободных оксидов кальция может обуславливать образование гидросиликатов кальция как в процессе автоклавной обработки, так и в менее жестких условиях. Композиционное вяжущее, получаемое из отходов камнепиления и безводного силиката натрия при соответствующей термообработке (тврдении), приобретает высокие прочностные характеристики, достаточные для изготовления арболита с использованием дробленой виноградной лозы. Проведенными исследованиями установлено, что для получения конструкционно-теплоизоляционного арболита средней плотности 600...800 кг/м³ и для достижения при этом необходимой прочности предлагается использовать следующие оптимальные содержания компонентов: виноградной лозы - 180...240 кг/м³, композиционного вяжущего - 400...540 кг/м³.

Арболитосиликатнатриевую смесь изготавливали вручную. С этой целью в чашу для перемешивания арболитосиликатнатриевой смеси одновременно засыпали отмеренные порции нарезанных длиной 5-45мм обрезков виноградной лозы с естественной влажностью и готового силикатнатриевого композиционного вяжущего оптимального состава 80-20 (отходов камнепиления-силикат-глыба).

После тщательного сухого перемешивания 4-5мин. добавляли воду затворения $B/B=0,19-0,25$ и тщательно перемешивали до 6 минут, после чего свежеприготовленную арболитосиликатнатриевую смесь загружали в стандартные формы для изготовления опытных образцов-кубов. Заполненные арболитобетонной смесью формы размерами 10x10x10 после уплотнения путем вибрирования с пригрузом 0,015 МПа на стандартной лабораторной виброплощадке в закрытых формах помещали в сушильную камеру и сушили по вышеприведенному режиму. Изготовленные образцы подвергались различным физико-механическим испытаниям.

При изучении структуры разработанного арболита установлено, что использование в качестве органического заполнителя виноградной лозы, применение в качестве вяжущего тонкодисперсных продуктов карбонатных отходов камнепиления и безводного силиката натрия приводит к снижению объема открытых пор и к увеличению объема условно закрытых пор, что способствует повышению прочности и теплотехнических характеристик конструкционно-теплоизоляционного арболита.

Изучено влияние влажности на коэффициент теплопроводности λ арболита на виноградной лозе. Установлено, что в начальный период сорбционного увлажнения при влажности массы 6% λ меняется незначительно с 0,09 до 0,12 Вт/(м·°C). При дальнейшем увеличении количества влаги на каждые 5% коэффициент теплопроводности возрастает на 20-30%, достигая значения 0,48 Вт/(м·°C) при 25% влажности арболита.

Усадка арболита при высыхании (сушке) не наблюдается на всем протяжении процесса удаления влаги из материала [15,16,17,18].

В результате проведенных исследований было установлено, что морозостойкость арболита на виноградной лозе достаточно высока: после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания потеря прочности составляет 9,2%, после 25 циклов – 15, 3%, а после 35 циклов – 20, 4%, т.е. не превышает нормы (не более 25%). Основные физико-механические свойства арболитового бетона на основе силикатнатриевого композиционного вяжущего и дробленной виноградной лозы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства арболитобетона на основе силикатнатриевого композиционного вяжущего и дробленной виноградной лозы

| № п/п | Характеристики свойств | Единицы измерения | Показатели свойств | | | | |
|----------|--------------------------------|----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| 1. | Средняя плотность | кг/м ³ | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| 2. | Теплопроводность | Вт/м.ч°C | 0,085 | 0,097 | 0,124 | 0,146 | 0,164 |
| 3. | Предел прочности при сжатии | МПа | 1,95 | 3,23 | 4,35 | 5,27 | 6,75 |

Технологический процесс получения арболита на виноградной лозе включает следующие основные операции: получение композиционного вяжущего; подготовка затворителя; приготовление заполнителя из виноградной лозы; приготовление арболитовой массы; формование арболитовой массы; тепловая обработка (сушка).

Вывод. Разработано композиционное силикатнатриевое вяжущее путем совместного помола ($S_{уд} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$) карбонатных отходов производства камнепиления и силикат глыбы с кремнеземистым модулем 2,7..3,0.

Установлено, что разработанное композиционное вяжущее при совместном помоле приобретает вяжущие свойства и при соответствующем уплотнении путем вибрирования и термообработке по специальному режиму твердеет и приобретает высокие прочностные характеристики, достаточные для изготовления арболита с использованием дробленой виноградной лозы [19,20,21].

Применение виноградной лозы совместно с композиционным вяжущим для получения арболита способствует улучшению структуры, повышению теплотехнических свойств и снижению усадочных деформаций арболита. Арболитобетон, полученный на основе дробленой виноградной лозы и силикатнатариевого композиционного вяжущего, по прочности превышает арболитобетона из других видов вяжущих веществ и органических заполнителей растительного происхождения.

Из разработанных составов арболитобетона можно получать, как теплоизоляционные, так и конструкционно-теплоизоляционные изделия плотностью 400...800кг/м³ с достаточно высокой прочностью. Разработанный арболитобетон изготавливается без введения в состав минерализаторов, ускорителей твердения; нет необходимости предварительного вымачивания органического заполнителя; в структуре преобладает объем закрытых пор, который способствует повышению прочности и улучшению теплотехнических характеристик материала.

Опытно-промышленное внедрение изделий из разработанного арболитобетона на основе дробленой виноградной лозы и силикатнатариевого композиционного вяжущего планируется на производственных площадях ООО «НПО Шамхальский завод железобетонных изделий».

Библиографический список:

1. Галебуй Сара. Поризованный арболит на местных отходах сельскохозяйственного производства в Республике Чад // Приволжский научный журнал. 2011.- № 4. - С.79 – 85.
2. Корохов В.Г., Бурова И.В. Методика расчета производительности и потребляемой мощности измельчителя для сыпучих стройматериалов. Симферополь: НАПКС. 2005. - вып.10, С.10-30.
3. Лавринев П.Г. Утилизация промышленных отходов предприятий Крыма.- Симферополь: Бизнес-Информ. 2005.- 440с.
4. Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины. М., 2002.- 234 с.
5. Руководство по проектированию и изготовлению изделий из арболита. М.: Стройиздат, 1974. 88 с.
6. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. Л., 1990.
7. Петри Б.Н. Разработка метода и основ технологии производства плитных пластиков из дробленной виноградной лозы без добавления связующих. Уральский лесотехнический институт. Свердловск, 1977, -184 с.
8. Стоянов В.В. Лозолитовые материалы и конструкции. - Издательство «Город мастеров». Одесса. 2001.- 134 с.
9. Стоянов В.В., Черненький И.В., Мазурик В.И., Яхонтова Н.Е. и др. Экспериментальное исследование деформативности стеновых панелей с утеплителем из лозолита // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1986. - №5.
10. Тотурбиеев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат-натриевых композиций. М.: Стройиздат, 1988. 208 с.
11. Тотурбиеев Б.Д., Керимов Г.К. Бесцементные жаростойкие бетоны на основе природного и техногенного сырья / Академия наук СССР. Дагестанский филиал. Институт геологии. Сборник статей, вып. 36., Махачкала. 1987.- 175 с.
12. Удербаев С.С., Карабаев Е.К, Курманаева Ж.М. Исследование адгезии рисовой лузги с золоцементными вяжущими смесями//Молодой ученый. 2014. - №12. С. 113-114.

13. Щербаков А.С. Технология композиционных древесных материалов: Учебное пособие для вузов. - М.: Экология. 1992. – 192 с.
14. Крутов П.И., Наназашвили И.Х., Склизков Н.И., Савин В.И. Справочник по производству и применению арболита. – М.: Стройиздат, 1987. – 208 с.
15. Удербаев С.С. Технология арболита на вяжущем, активированном механо-электрополяризационным способом: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Кызылорда, 2000.– 18 с.
16. Asdrubali F., D'Alessandro F., Schiavoni S. A Review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*. 2015; 4:1–17.
17. Jelle B.P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions: properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*. 2011. 43:2549–2563.
18. Papadopoulos A.M., Giama E. Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building. *Building and Environment*. 2007; 42:2178–2187.
19. Al-Homoud M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*. 2005. 40:353–366.
20. Korjenic A., Petranek V., Zach J., Hroudova J. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*. 2011. 43:2518–2523.
21. Papadopoulos A.M.: State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*. 2005. 37:77–86.

References:

1. Salebuy S. Aerated arbolit at a local agricultural waste in the Republic of Chad. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal* [Privolzhsky scientific journal]. 2011, no. 4, pp. 79 – 85.
2. Korobov G., Burova I.V. The method of calculation performance and power consumption of the chipper for bulk materials. *Simferopol: NAPCS*. 2005, vol.10, pp.10-30. (In Russian)
3. Lavrinov P.G. Utilization of industrial waste of enterprises of the Crimea. *Simferopol: Business-Inform*. 2005, 440p. (In Russian)
4. Melnikova L.V. Technology of composite materials made of wood. *Moscow*, 2002, 234 p. (In Russian)
5. Guide for the design and manufacturing of products from arbolita. *Moscow: Stroizdat*, 1974, 88p. (In Russian)
6. Nanazashvili I.H. Building materials from wood-cement compositions. *Leningrad*, 1990. (In Russian)
7. Petri B.N. Development of a method and the basics of production technology of plate plastics from crushed vines without the addition of binders. *Ural'skij lesotekhnicheskij institut*. [Ural Forestry Institute], *Sverdlovsk*, 1977, 184 p.(In Russian)
8. Stojanov V.V. Localitie materials and designs. *Izdatel'stvo «Gorod masterov»* [Publisher "the City of masters"]. *Odessa*. 2001, 134 p. (In Russian)
9. Stojanov V.V., Chernenn'kij I.V., Mazurik V.I., Jahontova N.E. etc. Experimental investigation of the deformability of the wall panels with insulation from Rosalita, *Izvestija vuzov*.[Proceedings of the universities. Building and architecture]. 1986, no.5. (In Russian)
10. Toturbiev B.D. Building materials for silicate-sodium compositions based. *Moscow: Stroyizdat*, 1988, 208p. (In Russian)
11. Toturbiev B.D., Kerimov G.K. Cement-free refractory concretes on the basis of natural and technogenic raw materials. *Akademija nauk SSSR. Dagestanskij filial. Institut geologii*. [Academy of Sciences of the USSR, Dagestan branch. Geology Institute]. A collection of articles, *Makhachkala*. 1987, vol.36, 175 p. (In Russian)
12. Uderbayev S.S., Karibaev E.K, Kurmanaeva J.M. Study of adhesion of rice husk with zolotsementnymi cementitious mixtures. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2014, no.12, pp.113-114. (In Russian)
13. Shcherbakov A.S. The technology of composite wood materials: Textbook for high schools. *Moscow: Ecology*. 1992, 192 p. (In Russian)

14. Krutov P.I., Nanazashvili I.X., Sklizkov N.I., Savin V.I. Handbook of manufacturing and use arbolita. *Moscow:Stroizdat*, 1987, 208 p. (In Russian)
15. Uderbayev S.S. Technology arbolita with a binder, activated mechano-electropolarization way: author. Diss. kand. tech. Sciences: 05.23.05. Kyzylorda, 2000, 18p. (In Russian)
16. Asdrubali F., D'Alessandro F., Schiavoni S. A Review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*. 2015; 4:1–17.
17. Jelle B.P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions: properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*. 2011. 43:2549–2563.
18. Papadopoulos A.M., Giama E. Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building. *Building and Environment*. 2007; 42:2178–2187.
19. Al-Homoud M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*. 2005. 40:353–366.
20. Korjenic A., Petranek V., Zach J., Hroudova J. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*. 2011. 43:2518–2523.
21. Papadopoulos A.M.: State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*. 2005. 37:77–86.

Сведения об авторах.

Мантуров Загир Абдунасирович - кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов.

Омаров Ариф Омарович – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных материалов и инженерных сетей.

Тотурбиеев Адильбий Батырбиеевич – кандидат технических наук, докторант.

Тотурбиеева Умуй Джакаевна – кандидат технических, доцент.

Authors information.

Zagir A. Manturov - candidate of technical science, associate Professor of materials science and technology of structural materials.

Arif O.Omarov – PhD in economic science, associate Professor, Department of construction materials and engineering networks.

Adilbiy B.Toturbiev – candidate of technical science, doctoral.

Umuy D.Toturbieva – candidate of engineering, Associate Professor.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 04.06.2016.

Conflict of interest

Received 04.06.2016.

Принята в печать 29.07.2016.

Accepted for publication 29.07.2016.

Для цитирования: Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Хубаев М.С. РЕЦЕПТУРА САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):193-202. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-193-202

For citation: Murtazaev S.- A. Y., Salamanova M. Sh., Hubaev M. S. FORMULATION OF SELF-COMPACTING CONCRETE USING RAW MATERIALS OF THE NORTH CAUCASUS. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 193-202 . (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-193-202

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.32

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-193-202

Муртазаев С.-А.Ю.¹, Саламанова М.Ш.², Хубаев М.С.³

¹⁻³Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова,

г. Грозный, ул. Х.А.Исаева, 100

¹e-mail: s.murtazaev@mail.ru

²e-mail: madina_salamanova@mail.ru

³e-mail: mokhmad.ggntu@gmail.com

РЕЦЕПТУРА САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Аннотация. Цель. Исследование проблем, связанных с разработкой рецептур самоуплотняющихся бетонов. Методы. В основу получения самоуплотняющихся бетонов положено использование эффективных современных модификаторов, улучшающих реологические свойства бетонных смесей и способствующие повышению его физико - механических показателей, и тонкодисперсных минеральных порошков природного происхождения. Особое внимание уделяется заполнителю, приведены результаты получения фракционированного заполнителя, полученного смешиванием крупного Алагирского и мелкого Червленского песка. Результаты. Исследованы цементы различных производителей, были выделены наиболее оптимальные из них, это портландцементы ЦЕМ I 42,5Н «Чеченцемент» и «Новороссцемент». Щебень применялся из гранит-диабазовых пород фракции 5-20 мм, который приобретался для испытаний из РСО-Алания. Разработаны рецептуры самоуплотняющихся бетонов, характеризующиеся интенсивным набором прочности бетона в ранние сутки его твердения: в возрасте 7 суток $R_{СЖ}$ бетона достигает до 80 % от проектной прочности. Вывод. Результаты проведенных исследования в этом направлении показали, что сырьевой потенциал СКФО позволяет получать самоуплотняющиеся бетоны класса В 25 до В90 и выше для монолитного строительства, в том числе и высотного.

Ключевые слова: самоуплотняющиеся бетоны, минеральные порошки, химические модификаторы, фракционированный заполнитель, кварцевый порошок, высокопрочный бетон, проницаемость, уникальные здания, высотное строительство, долговечность бетона, гранулометрический состав

Side - Alvi. Y. Murtazaev¹, Madina Sh. Salamanova², Magomed S. Hubaev³
Grozny State Oil Technical University Academician M.D.Millionshtchikov,

100 H.A. Isayev str., Grozny,

e-mail: s.murtazaev@mail.ru,

e-mail: madina_salamanova@mail.ru,

e-mail: mokhmad.ggntu@gmail.com

FORMULATION OF SELF-COMPACTING CONCRETE USING RAW MATERIALS OF THE NORTH CAUCASUS

Abstract. Aim. The paper considers the issues associated with the development of formulations of self-compacting concrete. **Methods.** The basis of the preparation of such concrete is necessary to use effective modern modifiers that improve the rheological properties of the concrete mix and promote enhancement of its physical - mechanical parameters, and fine mineral powders of natural origin. Particular attention is paid to aggregate the results of obtaining graded aggregate obtained by mixing large and small Alagir Chervlensk sand. **Results.** Cements studied various manufacturers have been allocated the most appropriate of them, it is Portland cement CEM I 42,5N «Chechensem» and «Novoroscement». Crushed granite was used from diabase rock fractions of 5-20 mm, which was purchased for testing of the RNO-Alaniya. Developed formulations self-compacting concrete, characterized by an intensive set of concrete strength in the early days of its hardening: at the age of 7 days RSZH concrete reaches up to 80% of project strength. **Conclusion.** The results of the research in this area showed that the raw material potential of North Caucasus Federal District produces self-compacting concrete class B 25 and B90 and later for monolithic construction, including high-rise.

Key words: self-compacting concrete, mineral powder, chemical modifiers, graded aggregate, quartz powder, high-strength concrete, permeability, unique buildings, high-rise construction, durability of concrete, the granulometric composition

Введение. Как известно, вследствие возведения высотных и уникальных зданий и сооружений, массового строительства объектов специального назначения и расширения использования пространственных густоармированных конструкций из тонкостенных элементов, объемы применения самоуплотняющихся бетонов в строительстве ежегодно возрастают. Самоуплотняющийся бетон (Self-Compacting Concrete- SCC) является наиболее революционным развитием в технологии бетона в течение нескольких десятилетий подряд. Разработанный в Японии для компенсации растущего дефицита квалифицированной рабочей силы, в настоящее время SCC оказался экономически полезным из-за целого ряда факторов, в том числе [4,5,6,10]: сокращение сроков строительства; сокращение трудовых ресурсов; улучшение отделки поверхности; повышение долговечности; полная свобода в дизайне; тонкостенные бетонные секции различной конфигурации; снижение уровня шума, отсутствие вибрации; безопасные условия труда.

Постановка задачи. Для получения высококачественной самоуплотняющейся бетонной смеси необходимо жестко придерживаться принятых требований к сырьевому материалу, и, в частности, нужен принципиально новый подход к соотношению и гранулометрии заполнителей (примерное одинаковое соотношение мелкого и крупного заполнителей, выравненный обогащением гранулометрический состав заполнителя), обязательное присутствие в смеси минеральных наполнителей (чаще всего рекомендуется микрокремнезем), правильный выбор вида и дозировки пластифицирующей добавки (как правило, это гиперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров, количество которого на порядок превосходит стандартный расход для обычного бетона) [1,2,3,5,10].

При дозировках минерального наполнителя от 15 до 20%, суперпластификатора от 1,5 до 2%, расходе портландцемента от 350 до 550 кг/м³, водоцементном отношении 0,20-0,40 и использовании кварцевого песка и щебня из изверженных горных пород возможен быстрый набор SCC высокой (55 - 80 МПа) или сверхвысокой (выше 80 МПа) прочности, при этом достигаются низкая проницаемость, повышенная коррозионная стойкость. Обязательным условием является также выдерживание нормальных условий твердения, для того чтобы обеспечить гидратацию бетона при низких расходах воды [13,15,18]. В виду того, что в Чеченской Республике начались грандиозные работы по возведению башни «Ахмат-Тауэр» высотой более 400 метров в лабораториях коллективного пользования ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова в последние несколько лет проводятся исследования с целью разработки рецептур высокопрочных бетонов с линейкой классов бетонов от B40 до B100.

Методы исследования. Для решения поставленных задач авторами рассматривался в основном высококачественный сырьевой потенциал Северного Кавказа.

Изучались портландцементы от различных производителей, но учитывая логистические параметры и основные характеристики исследуемых цементов выбор остановился на портландцементах ГУП «Чеченцемент» Чири-Юртовского завода и ОАО «Новороссцемент» завода «Первомайский», основные характеристики которых приведены в таблице 1. Установлено, что в SCC высокая прочность цементного камня достигается за счет модифицирования системы «портландцемент – заполнитель» минеральным наполнителем и суперпластификатором, на основе поликарбоксилатных эфиров, механизм действия которых основан на совокупности электростатического и стерического эффекта, который достигается с помощью боковых гидрофильных полиэфирных цепей.

Нужно отметить, что именно за счет этого длительность разжижающего действия этих добавок в 3-4 раза выше, по сравнению с сульфомеланиновым, сульфонафталиновым формальдегидом или лигносульфонатом [11,13,14].

Таблица 1 – Цементы и их основные характеристики

| Наименование цемента и его марка | $S_{уд}$, $\text{см}^2/\text{г}$ | НГ, % | Истинная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ | Сроки схватывания, час-мин. | | Активность, МПа |
|--|-----------------------------------|-------|--|-----------------------------|-------|-----------------|
| | | | | начало | конец | |
| «Чеченцемент» ПЦ500-Д0 ЦЕМI 42,5Н | 3252 | 25,5 | 3095 | 2-15 | 3-40 | 56,2 |
| «Новороссцемент» ПЦ500-Д0 ЦЕМI 42,5Н | 3125 | 26,2 | 3142 | 2-25 | 3-45 | 48,4 |

В качестве химических модификаторов для проведения исследований применялись добавки ведущих мировых производителей:

- SikaViscoCrete 5-600 SK – жидкий суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров производства концерна SIKA (Швейцария);
- Glenium115 жидкий суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров производства концерна BASF (Германия).

Все эти добавки являются универсальными, применяются при производстве товарного бетона, сборных и монолитных железобетонных конструкций из тяжелого, легкого и ячеистого бетона в гражданском, промышленном, транспортном и дорожном строительстве, и рекомендуются применять для производства самоуплотняющихся бетонов (при использовании заданного количества микронаполнителей) [14].

Для модифицирования цементной составляющей применяли тонкодисперсный минеральный порошок, который получили измельчением в роликовой мельнице в течение 30 минут мелкого кварцевого песка Веденского месторождения $M_{kp} = 1,1$, истинная плотность и удельная поверхность которого представлена в таблице 2 [8-9].

Приготовленный порошок добавлялся в процессе приготовления бетонной смеси в соотношении портландцемент: минеральный порошок 80:20 % (дозировка наполнителя определялась экспериментальным путем). Так как прочность цементного камня, модифицированного с помощью минеральных наполнителей и суперпластификатора, превосходит прочность заполнителя, зерна заполнителей рассматриваются как слабые включения в бетоне, влияние которых возрастает с увеличением абсолютных размеров зерен. Поэтому в SCC сокращен расход щебня на кубометр бетона в сравнении с обычными бетонами, а его наибольшая крупность не должна превышать 10-20 мм [2,7,12,15].

Таблица 2– Свойства тонкодисперсного минерального порошка

| № | Наименование минерального компонента | Истинная плотность, кг/м ³ | S _{уд} , см ² /г |
|---|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Кварцевый порошок | 2600 | 6600 |

Для получения высокопрочных SCC использовался кубовидный щебень из гранит-диабазовых пород фракции 5-20 мм, который приобретался для испытаний из РСО-Алания. Основные свойства щебня Алагирского месторождения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные свойства крупного заполнителя

| Щебень Алагирского месторождения фракции 5-20 мм | | | | | | |
|--|--------------------|---------------------|-----|------|------|------|
| Наименование показателя | | Значение показателя | | | | |
| Зерновой состав щебня | Размер сит, мм | 12,5 | 10 | 7,5 | 5 | <5 |
| | Частные остатки, % | 0,0 | 9,2 | 38,6 | 42,5 | 9,3 |
| | Полные остатки, % | 0,0 | 9,2 | 47,8 | 90,3 | 99,6 |
| Определение прочности щебня | | М1200 | | | | |
| Содержание пылевидных и глинистых частиц, % | | 0,8 | | | | |
| Истинная плотность зерен, кг/м ³ | | 2700 | | | | |
| Насыпная плотность, кг/м ³ | | 1450 | | | | |
| Содержание дробленых зерен, % | | 85,2 | | | | |
| Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % | | 12,2 | | | | |
| Пустотность щебня, % | | 44,9 | | | | |

Для получения высококачественной самоуплотняющейся бетонной смеси необходимо применять мелкий заполнитель, имеющий выравненный гранулометрический состав.

Наряду с Северным Кавказом большинство регионов нашей страны испытывают трудности в связи с их отсутствием и, поэтому для выравнивания зернового состава нами использовался фракционированный заполнитель, полученный смещиванием мелкого песка Червленского месторождения $M_{kp} = 1,7$ и кварцево-полевошпатового песка Алагирского месторождения $M_{kp} = 3,2$. Соотношение песков определялось по данным рассева заполнителей и расчета полных остатков на стандартных ситах, далее выстраивался график зернового состава.

Были исследованы различные варианты смещивания песков, в результате чего было установлено, что наиболее оптимальным является соотношение Алагирского и Червленского песков 55:45 % (табл.4).

Таблица 4 – Основные физико-механические характеристики полученного фракционированного песка

| | | | | | | | |
|---|-----|------|-------|------|-------|------|-----|
| Размер сит, мм | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | дно |
| Частные остатки, % | 0,9 | 13,9 | 6,6 | 16,0 | 44,3 | 15,8 | 2,5 |
| Полные остатки, % | 0,9 | 14,8 | 221,4 | 37,4 | 81,7 | 97,5 | |
| Модуль крупности | | | | 2,5 | | | |
| Содержание пылевидных и глинистых частиц, % | | | | 1,2 | | | |
| Истинная плотность зерен, кг/м ³ | | | | 2650 | | | |
| Средняя насыпная плотность, кг/м ³ | | | | 1471 | | | |
| Пустотность песка, % | | | | 46,4 | | | |

График зернового состава применяемых заполнителей очень близко расположен к идеальной кривой (рис.1).

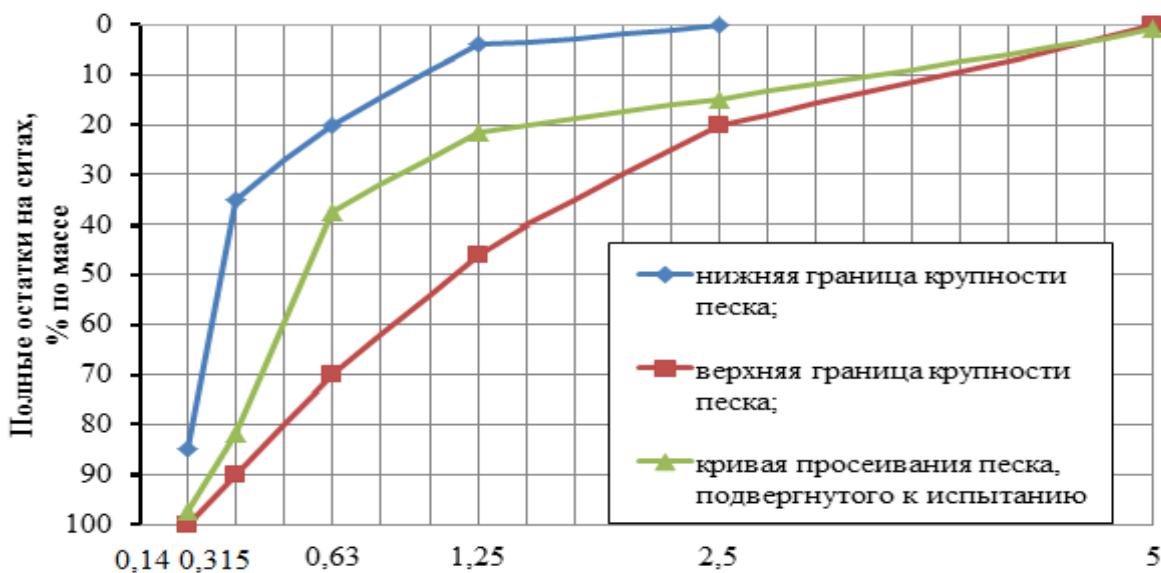


Рисунок 1 – Кривая просеивания исследуемого фракционированного песка

С использованием предложенных материалов были разработаны рецептуры SCC на основе природного тонкодисперсного минерального компонента с расходом порошка 70–80 кг на 1 м³ бетона. Анализ показателей таблицы 5 свидетельствует, что полученные составы SCC - бетонов характеризуются интенсивным набором прочности бетона в ранние сутки его твердения, а в возрасте 7 суток $R_{СЖ}$ бетона достигает до 80 % от проектной прочности (рис. 2).

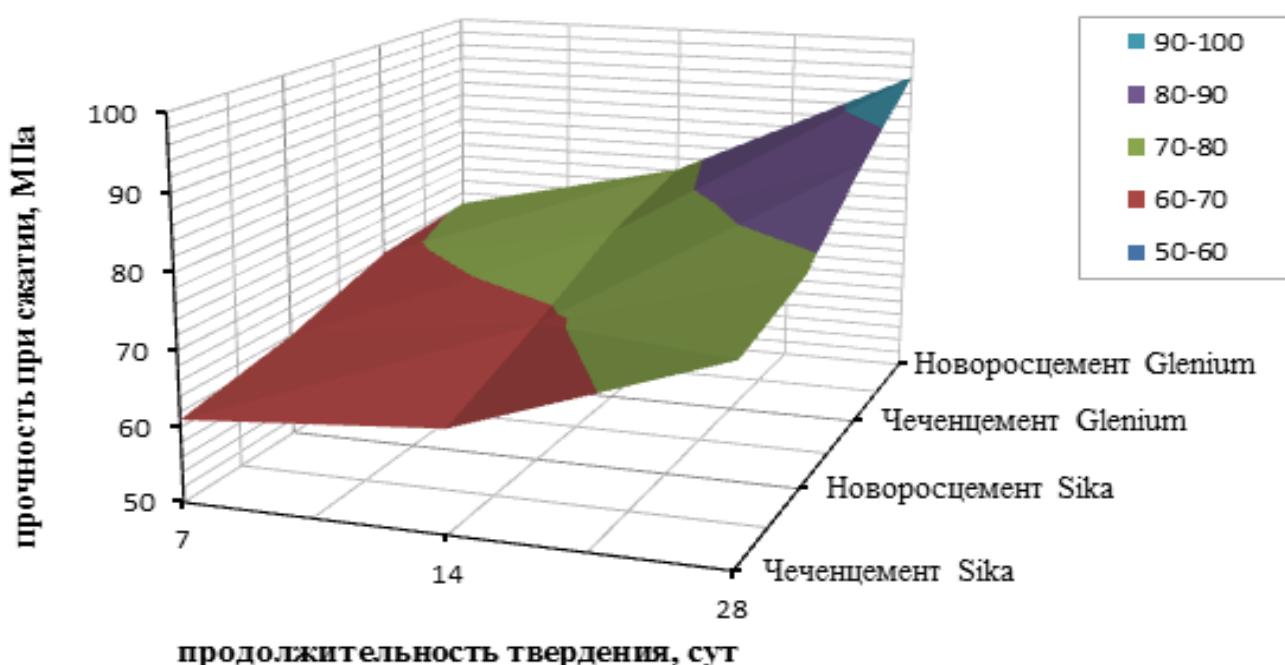


Рисунок 2 – Кинетика набора прочности SCC

При проектировании рецептуры бетонов, в соответствии с требованиями к SCC-бетонам, варьировались дозировка сырьевых компонентов и добавок, в результате чего были определены наиболее рациональные составы (табл. 5).

Таблица 5 – Составы и свойства SCC

| составы | Кол-во добавки | В/Ц | Расход, кг на 1 м ³ бетона | | | | | ρ _б , кг/м ³ | R _{СЖ} в возрасте, сут., МПа | | | РК, см |
|--|--------------------------------|------|---------------------------------------|-----|-----|------|----|---------------------------------------|--|------|-------|-----------|
| | | | Ц | В | Щ | П | Н | | 7 | 14 | 28 | |
| Класс бетона В35 «Чеченцемент» ЦЕМ I 42,5Н | | | | | | | | | | | | |
| 1 | SikaViscoCrete 5-600 SK, 0,9 % | 0,55 | 380 | 210 | 930 | 825 | 70 | 2330 | 34,9 | 37,6 | 45,2 | 65 |
| 2 | Glenium 115, 0,9 | 0,54 | 380 | 205 | 930 | 845 | 70 | 2360 | 33,6 | 39,9 | 47,7 | 68 |
| Класс бетона В 40 «Чеченцемент» ЦЕМ I 42,5Н | | | | | | | | | | | | |
| 3 | SikaViscoCrete 5-600 SK, 1,6 % | 0,41 | 480 | 195 | 860 | 865 | 80 | 2442 | 42,5 | 47,0 | 59,3 | 69 |
| 4 | Glenium 115, 1,6 % | 0,44 | 460 | 195 | 920 | 850 | 80 | 2428 | 41,5 | 56,9 | 60,7 | 72 |
| Класс бетона В 75-80 «Чеченцемент» ЦЕМ I 42,5Н | | | | | | | | | | | | |
| 5 | SikaViscoCrete 5-600 SK, 2,0 % | 0,36 | 500 | 180 | 685 | 1035 | 80 | 2455 | 61,0 | 83,6 | 95,6 | 74 |
| 6 | Glenium 115, 2,0 % | 0,34 | 500 | 170 | 860 | 820 | 80 | 2475 | 68,8 | 94,8 | 107,2 | 75 |
| Класс бетона В 35 «Новороссцемент» ЦЕМ I 42,5Н | | | | | | | | | | | | |
| 7 | SikaViscoCrete 5-600 SK, 0,8 % | 0,53 | 380 | 201 | 930 | 825 | 70 | 2320 | 26,9 | 41,6 | 49,9 | 66 |
| 8 | Glenium 115, 0,7% | 0,52 | 380 | 197 | 930 | 845 | 70 | 2340 | 28,6 | 44,9 | 50,8 | 69 |
| Класс бетона В 40 «Новороссцемент» ЦЕМ I 42,5Н | | | | | | | | | | | | |
| 9 | SikaViscoCrete 5-600 SK, 1,5 % | 0,40 | 480 | 192 | 860 | 865 | 80 | 2400 | 44,5 | 57,7 | 60,3 | 71 |
| 10 | Glenium 115, 1,4 % | 0,39 | 460 | 179 | 920 | 890 | 80 | 2430 | 46,1 | 59,7 | 64,7 | 72 |
| Класс бетона В 75-90 «Новороссцемент» ЦЕМ I 42,5Н | | | | | | | | | | | | |
| 11 | SikaViscoCrete 5-600 SK, 2,0 % | 0,34 | 510 | 173 | 685 | 935 | 80 | 2350 | 64,0 | 88,9 | 98,7 | 73 |
| 12 | Glenium 115, 2,0 % | 0,32 | 510 | 163 | 860 | 820 | 80 | 2430 | 70,3 | 98,2 | 112,5 | 75 |

Примечание: Ц – цемент; В – вода; Щ – щебень; П–песок; Н – наполнитель; R_{СЖ} – прочность на сжатие; РК – расплыв конуса; ρ_б – плотность бетона

Использование добавки Glenium 115 приводит к увеличению прочности, а составы с применением «Новороссцемента», имеют прирост прочности на 10% больше в сравнении с «Чеченцементом». Кварцевый порошок, применяемый в качестве микронаполнителя, позволяет

повышать водоудерживающую способность и стойкость к седиментации бетонной смеси [16-17]. Показатель расплыва конуса (РК) бетонных смесей при использовании добавки SikaViscoCrete 5-600 SK составил 65-73 см, а Glenium 115 РК - 72-75 см (рис. 3), следовательно, последняя добавка обладает лучшими пластифицирующими свойствами, при ее использовании гарантируется отсутствие расслоения и водоотделения смеси.



Рисунок 3 – Определение диаметра растекания конуса SCC смесей

Для подтверждения гипотезы об увеличении жизнеспособности бетонной смеси при использовании добавок на основе поликарбоксилатных эфиров был приготовлен экспериментальный состав с применением добавки Glenium 115 (2,0 % от массы цемента) с диаметром расплыва 75 см. С соблюдением нормальных условий твердения (температура окружающей среды 20–22 °C) через определенные промежутки времени на постоянной пробе смеси замерялся диаметр расплыва конуса (рис. 4) [19,20].

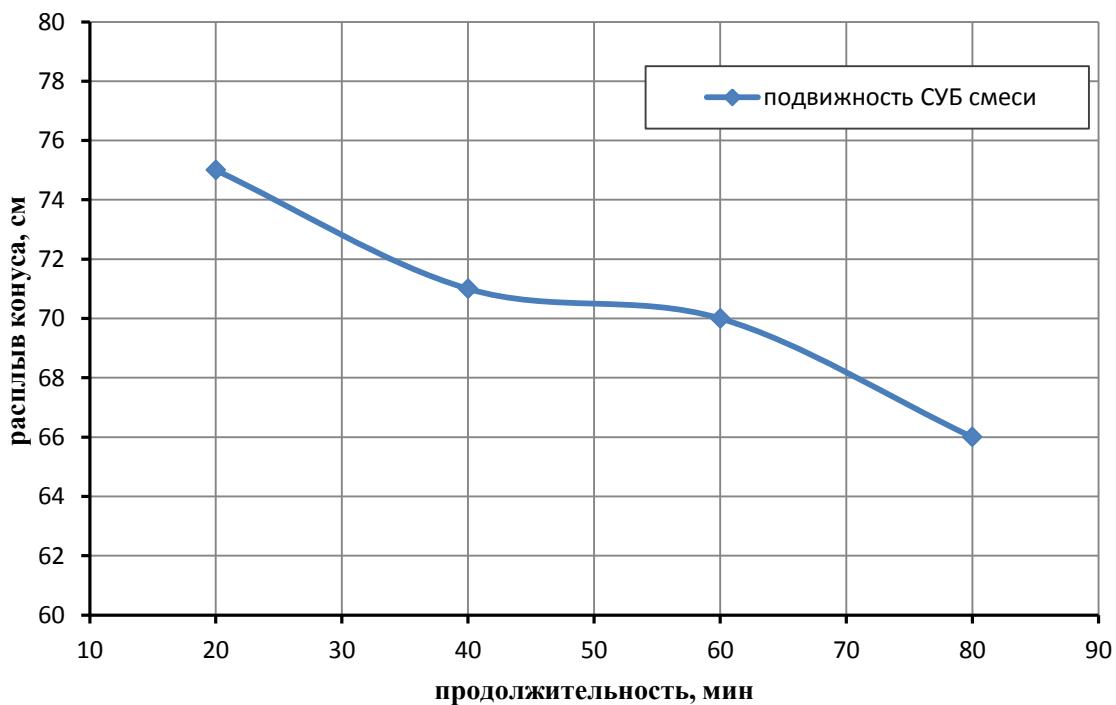


Рисунок 4 – Динамика изменения подвижности SCC смеси во времени

Анализ полученных результатов показывает, что Glenium 115 обладает высокой пластифицирующей способностью. На исследуемом промежутке времени наблюдается незначительное снижение подвижности смеси, что значительно увеличивает срок транспортировки и создает возможность использовать SCC смеси в сложных условиях производства работ (на высоте при невозможности проведения вибруплотнения).

Вывод. Получены SCC-бетоны классов от В35 до В90 с использованием сырьевых ресурсов Северного Кавказа с улучшенными физико-механическими и реологическими характеристиками, которые могут успешно применяться при возведении конструктивных элементов уникальных зданий и сооружений, а также при решении сложных логистических и технологических задач бетонирования.

Библиографический список:

1. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш. Высокопрочные бетоны с использованием фракционированных заполнителей из отходов переработки горных пород // Устойчивое развитие горных территорий, 2015, Т.23, vol.1, pp.23-28.
2. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2006 – 289 с.
3. Баженов Ю.М. Бетон: технологии будущего// Строительство: новые технологии – новое оборудование. М.: ИД "Панорама", 2009. - № 8. - С.29-32.
4. Муртазаев, С-А. Ю., Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Бисултанов Р.Г. Горные породы вулканического происхождения как заполнители для получения легких бетонов// Научное обозрение. 2015. - №7 - С.105-113
5. Hillemeier B., Buchenau G., Herr R., Hutt R., Klubendorf St., Schubert K. Spezialbetone, Betonkalender. *Ernst & Sohn*, 2006, no.1., pp.534-549.
6. Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Муртазаева, Т.С-А., Хубаев М. С-М. Высококачественные модифицированные бетоны на основе минеральных добавок и суперпластификаторов различной природы//Инновации и инвестиции. 2015.- №8 - С.159-163
7. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов//Строительные материалы. 2008.- №3 – С. 20-24.
8. Гаркави М.С., Якубов В.И. Отсевы дробления – эффективный способ повышения качества бетонов// Строительные материалы. 2006. - №11.- С.13-17
9. Муртазаев С-А.Ю., Саламанова М.Ш., Сайдумов М.С., Гишилакаева М.И. Использование в мелкозернистых бетонах отходов переработки горных пород// Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука и образование в Чеченской республике: состояние и перспективы». Грозный: 2011.- С.181-184.
10. Yoshio Kasai. Studies into the reuse of demolished concrete in Japan. EDA/RILEM Conference “Re-use of concrete and brick materials”, June, 1985, pp.17-25.
11. Dosho Y. Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System «Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method». *Journal of Advanced Concrete Technology*. Japan Concrete Institute. Scientific paper. 2007, vol.5, no.1, pp.27-42.
12. Kikuchi M., Dosho Y., Narikawa M., Ohshima Y., Koyama A., Miura T. Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. Proceeding; of Fourth CAKMET ACUCI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Tokushima. Japan. 1998, pp.1073-1101.
13. Yanagibashi K., Yonezawa T., Iwashimizu T., Tsuji D., Arakawa K., Yamada M. A new recycling process for coarse aggregate to be used concrete structure. Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development. Proceedings of RILEM International Symposium. Tokyo. 2004, pp.137-143.
14. Pazhani K., Jeyaraj R. Study on durability of high performance concrete with industrial wastes. ATI - Applied Technologies & Innovations. Department of Civil Engineering, Anna University Chenna. India. 2010, vol.2, no.8,pp.19-28.

15. Zashkova L., Spirov K., Penkova N., Iliev V. Utilization of industrial wastes in the compositions of fireproof concrete and mortars. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. Bulgaria. 2008, no.43, pp.277-279.
16. Ахматов М.А. Применение отходов камнепиления туф карьеров и рыхлых пористых пород в качестве заполнителей легких бетонов и конструкций из них. Нальчик, 1981.- 128р.
17. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Эффективность цементов с минеральными добавками в бетонах // Цемент. 2002. - №2 - С.41-43.
18. Каприлов С.С. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II//Строительные материалы. 2008. - №3. - С. 9-13.
19. Баженов Ю.М. Новому веку - новые эффективные бетоны и технологии. М.: ИД "Панорама", №1. - С. 12-13.
20. Липина С.А. Чеченская республика: экономический потенциал и стратегическое развитие. М.: ЛКИ, 2007. – 320 с.

References:

1. Murtazaev S-A.Y., Salamanova M. Sh. High Strength concrete using graded aggregates from waste rocks. *Journal of Sustainable development of mountain territorie*. 2015, vol.23, no.1, pp. 23-28. (In Russian)
2. Bazhenov Y.M. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-quality concrete. *Moscow: ASV*. 2006, p.289.(In Russian)
3. Bazhenov Y.M. Concrete: future technologies. *Construction: new technologies – new equipment*. Moscow: publishing house "Panorama", 2009, no.8, pp. 29-32. (In Russian)
4. Murtazaev S-A.Y., Salamanova M.Sh., Aliev S.A., Bisultanov R.G. Rocks of volcanic origin as aggregates to obtain light weight concrete. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific obozrenie]. 2015, no.7, pp.105-113. (In Russian)
5. Hillemeier B., Buchenau G., Herr R., Hutt R., Klubendorf, St., Schubert, K. Spezialbetone, Betonkalender, *Ernst & Sohn*, 2006, no.1, pp.534-549.
6. Salamanova M.Sh., Sajdumov M.S., Murtazaeva, T.S-A., Hubaev M. S-M. High Quality modified concrete based on mineral additives and superplasticizers of different nature. *Innovation and investment*. 2015, no.8, pp.159-163. (In Russian)
7. Kalashnikov V.I. The Industry of non-metallic building materials and the future of concrete. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2008, no.3, pp.20-24. (In Russian)
8. Garkavi M.S., Jakubov V.I. Eliminations of crushing – effective way to improve the quality of concrete. *Stroitel'nye materialy* [Building materials] 2006, no.11, pp.13-17 (In Russian)
9. Murtazaev S-A.Ju., Salamanova M.Sh., Sajdumov M.S., Gishlakaeva M.I. Ispol'zovanie v melkozemistyh betonah othodov pererabotki gornyh porod. *Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauka i obrazovanie v Chechenskoj respublike: sostojanie i perspektivy»*. [The use of fine-grained concrete waste rock. Materials of all-Russian scientific-practical conference "Science and education in the Chechen Republic: status and prospects"], Groznyj, 2011, pp.181-184. (In Russian)
10. Yoshio Kasai. Studies into the reuse of demolished concrete in Japan. EDA/RILEM Conference "Re-use of concrete and brick materials", June, 1985, pp.17-25.
11. Dosho Y. Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System «Application of Recycled Aggregate Concrete Produced by Aggregate Replacing Method». *Journal of Advanced Concrete Technology*. Japan Concrete Institute. Scientific paper. 2007, vol.5, no.1, pp.27-42.
12. Kikuchi M., Dosho Y., Narikawa M., Ohshima Y., Koyama A., Miura T. Application of Recycled Concrete for Structural Concrete. Experimental Study on the Quality of Recycled Aggre-

gate and Recycled Aggregate Concrete. Proceeding; of Fourth CAKMET ACUCI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Tokushima. Japan. 1998, pp.1073-1101.

13. Yanagibashi K., Yonezawa T., Iwashimizu T., Tsuji D., Arakawa K., Yamada M. A new recycling process for coarse aggregate to be used concrete structure. Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development. Proceedings of RILEM International Symposium. Tokyo. 2004, pp.137-143.

14. Pazhani K., Jeyaraj R. Study on durability of high performance concrete with industrial wastes. ATI - Applied Technologies & Innovations. Department of Civil Engineering, Anna University Chennai. India. 2010, vol.2, no.8, pp.19-28.

15. Zashkova L., Spirov K., Penkova N., Iliev V. Utilization of industrial wastes in the compositions of fireproof concrete and mortars. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. Bulgaria. 2008, no.43, pp.277-279.

16. Akhmatov M.A. *Primenenie othodov kamnepilenija tuf kar'erov i ryhlyh poristyh porod v kachestve zapolnitelej legkih betonov i konstrukcij iz nich*. [Application of waste campbellriver-charters loose and porous rocks as fillers of light concretes and constructions of them]. Nalchik;, 1981, 128 p. (In Russian)

17. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Jeffektivnost' cementov s mineral'nymi dobavkami v betonah. [Effectiveness of cements with mineral additives in concrete]. *Cement*. 2002, no. 2, pp.41-43. (In Russian)

18. Kapriev S.S. Modificirovannye vysokoprochnye betony klassov V80 i V90 v monolitnyh konstrukcijah. Ch. II [Modified high strength concrete class B80 and B90 in the monolithic structures]. Part II. *Stroitel'nye materialy*. [Building materials]. 2008, no.3, pp.9-13. (In Russian)

19. Bazhenov Y.M. Novomu veku - novye jeffektivnye betony i tehnologii. [Building materials, equipment, technologies of XXI century]. Moscow: publishing house "Panorama", 2001, no. 1. pp. 12-13. (In Russian)

20. Lipina S.A. Chechenskaja respublika: jekonomiceskij potencial i strategicheskoe razvitiye [Chechen Republic: economic potential and strategic development]. Moscow: LKI, 2007, 320 p. (In Russian)

Сведения об авторах.

Муртазаев Сайд-Альви Юсупович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства.

Саламанова Мадина Шахидовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства.

Хубаев Магомед Сайд-Магомедович – ассистент кафедры технологии строительного производства.

Authors information.

Side-Alvi Y. Murtazaev – doctor of technical science, Professor of the Department of technology of building production.

Madina S. Salamanova –candidate of technical science, associate Professor of the Department of technology of building production.

Magomed S. Hubaev – assistant of the Department of technology of building production.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 30.05.2016.

Принята в печать 01.07.2016.

Conflict of interest

Received 30.05.2016.

Accepted for publication 01.07.2016.

Для цитирования: Абдуллаева Т.К., Гамидуллаев Б.Н., Гамидуллаев Р.Б. КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПЛЕКСА ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ РЕИНЖИНИРИНГА ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016; 42 (3):203-210. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-203-210

For citation: Abdullaeva T.K., Gamidullaev B.N., Gamidullaev R.B. THE MAIN FACTORS COMPLEX CLASSIFICATION OF THE ENTERPRISE MANAGEMENT PROCESSES REENGINEERING. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 203-210. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-203-210

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338.242.2

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-203-210

Абдуллаева Т.К.¹, Гамидуллаев Б.Н.², Гамидуллаев Р.Б.³

¹⁻³Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

¹e-mail:reli65@mail.ru

^{2,3}fgimu-management@mail.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПЛЕКСА ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ РЕИНЖИНИРИНГА ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Аннотация. Цель. Выявить и сгруппировать факторы, влияющие на реинжиниринг процессов управления на предприятии. **Методы.** Исследование основано на методах группировки, системного и логического анализа. **Результат.** Систематизирован комплекс основных факторов реинжиниринга, которые играют определяющую роль в обеспечении эффективности реинжиниринга процессов управления на предприятии. Факторы представлены в виде четырех блоков по различным направлениям деятельности с обоснованием обеспечения высокой эффективности и динамики развития предприятия, при любых коренных преобразованиях и совершенствовании процессов управления. Особое значение в обеспечении эффективности реинжиниринга процессов управления уделяется кадровым факторам успеха реинжиниринга. Предложена форма обучения как инновационно-ориентированная индивидуальная переподготовка специалистов и руководителей предприятия с соответствующими рекомендациями по ее организации. Разработана форма обучения как инновационно-ориентированная индивидуальная переподготовка специалистов и руководителей предприятия с соответствующими рекомендациями по ее организации. Разработана форма обучения как инновационно-ориентированная индивидуальная переподготовка специалистов и руководителей предприятия с соответствующими рекомендациями по ее организации. Разработана форма обучения как инновационно-ориентированная индивидуальная переподготовка специалистов и руководителей предприятия с соответствующими рекомендациями по ее организации. **Вывод.** Классификация комплекса основных факторов реинжиниринга процессов управления на предприятии создает концептуальную основу для обеспечения эффективности методов совершенствования процессов управления на предприятии.

Ключевые слова: реинжиниринг, факторы, управление, эффективность, процесс, предприятие

Tamara K. Abdullaeva¹, Bukan N. Gamidullaev², Ramin B. Gamidullaev³

¹⁻³Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

¹e-mail:reli65@mail.ru,

^{2,3}fgimu-management@mail.ru

THE MAIN FACTORS COMPLEX CLASSIFICATION OF THE ENTERPRISE MANAGEMENT PROCESSES REENGINEERING

Abstract. Aim. The aim is to disclose and group the factors influencing the management processes reengineering at the enterprise. **Methods.** The paper is based on the methods of grouping, survey, system and logic analysis. **Result.** The complex of main factors reengineering which play a defining role in the management processes reengineering efficiency at the enterprise is systematized. The factors are given as four blocks on different activity directions stipulating high efficiency and enterprise development dynamics at any root reforms and management processes improvement. Special attention of the management processes reengineering efficiency is paid to personnel factors of reengineering success. A form of teaching as innovative-oriented individual retraining of specialists and

executives of the enterprise with corresponding recommendations on the organization is proposed. The questionnaire has been worked out and the survey has been held to reveal the department manager's work content. Conclusion. The main factors complex classification of the management processes reengineering at the enterprise creates a conceptual basis to provide efficiency of the management processes improvement methods at the enterprise.

Key words: reengineering, factors, management, efficiency, process enterprise

Введение. В современных условиях реинжиниринговый подход представляет собой более глубокую перестройку системы управления на предприятии, чем все другие способы модернизации управленческих процессов [1]. Реинжиниринг бизнес-процессов представляет фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование деловых процессов для достижения резких улучшений в решающих современных показателях деятельности компании, таких, как стоимость, качество, сервис и т.д. [3, 4, 5]. Ключевыми понятиями в указанном определении являются «процесс» и «радикальное перепроектирование процессов» [6,7,8].

Постановка задачи. Для обеспечения эффективной реализации реинжиниринга процессов управления на предприятии необходимо учитывать комплекс факторов, действующих на него. Конечные результаты на любом уровне управления определяются тем, насколько правильно руководство предприятия оценивает реальное значение факторов реинжиниринга процессов управления.

Под комплексом основных факторов понимаются инновационные изменения, движущие силы, причины, условия или пути, которые обеспечивают эффективную реализацию реинжиниринга процессов управления на предприятии и влияют на его результаты [2].

Методы исследования. При формировании состава комплекса основных факторов реинжиниринга процессов управления методом анкетного опроса и анализа деятельности предприятия были выявлены наиболее существенные факторы, явно выраженные, непосредственно связанные с реинжинирингом, постоянно действующие, то есть, отличающиеся долговременным влиянием и не требующие больших финансовых и материальных затрат [1].

Обсуждение результатов. Проведенные нами исследования и анализ полученных результатов позволили определить, что при реинжиниринге, кроме представленной нами ранее [2] классификации факторов интенсификации и развития реинжиниринга процессов управления на предприятии, необходим учет множества других, не менее существенных факторов [9,10]. Поэтому для широкого всестороннего и комплексного обеспечения реинжиниринга процессов управления на предприятии нами предлагается учет факторов, оказывающих воздействие на реинжиниринговые процессы управления, прежде всего, факторов внутренней и внешней среды предприятия, а также и косвенных факторов (рис.1).

Представляется, что в результате обеспечения реализации предлагаемого комплекса основных факторов реинжиниринга процессов управления на предприятии экономический эффект может быть существенным.

В комплекс основных факторов реинжиниринга процессов управления на предприятии входят четыре основных блока факторов, в частности:

Первый блок – факторы интенсификации и развития реинжиниринга процессов управления на предприятии;

Второй блок – факторы рационализации труда руководителя (факторы внутренней среды);

Третий блок – косвенные факторы (факторы внешней среды).

Четвертый блок – экстенсивные факторы (когда результаты достигаются путем количественного увеличения или дополнительных ресурсов);

Реализация такого комплекса основных факторов реинжиниринга процессов управления на предприятии позволит, особенно в условиях кризиса, значительно совершенствовать не только управленческие циклы на предприятиях, но и систематизировать в целом их работу с ориентацией на высокие результаты.

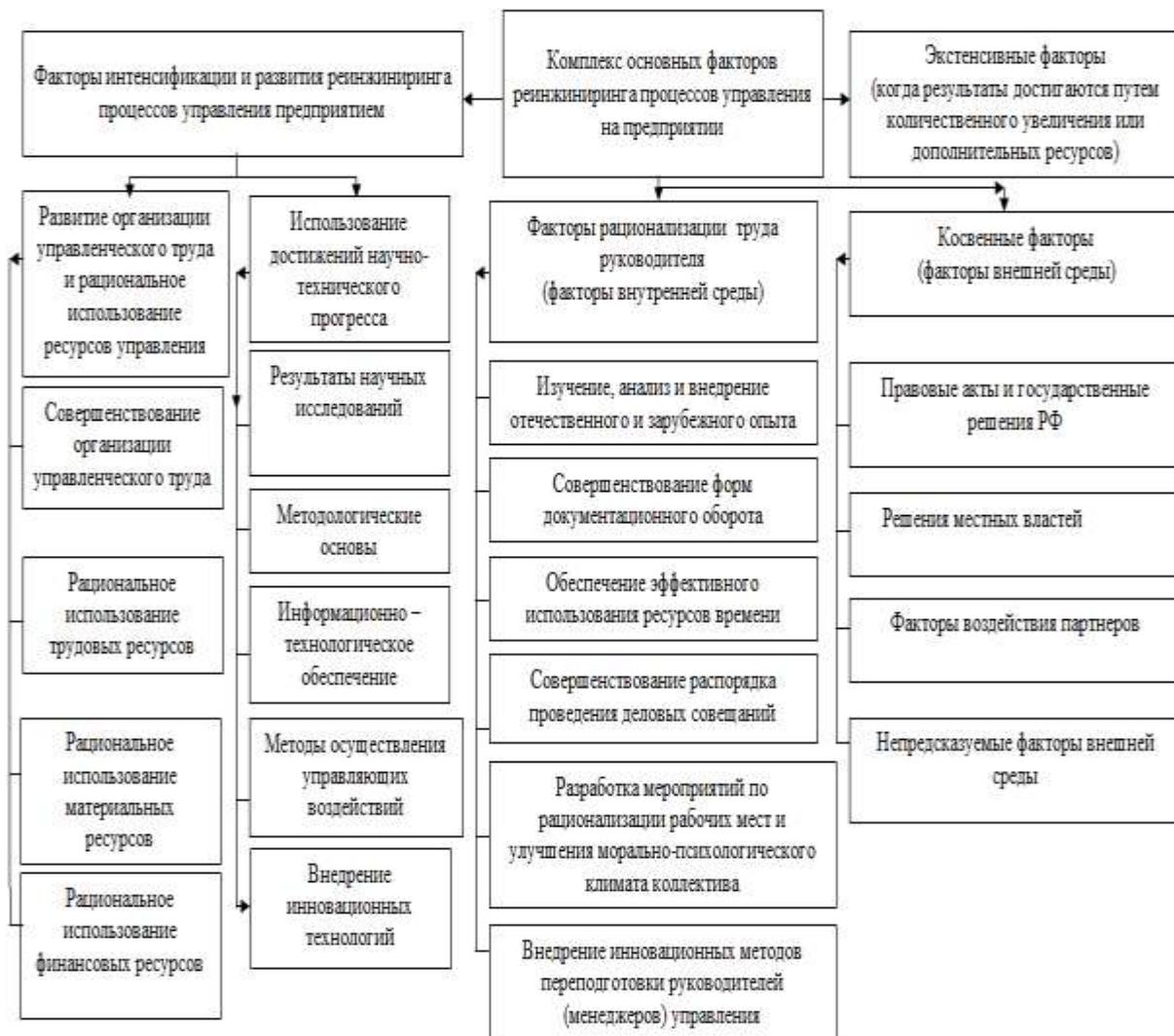


Рисунок 1– Комплекс основных факторов реинжиниринга процессов управления на предприятии

Возрастающая динамичность современного производства требует ускорения процессов управления, что естественно вызывает в определенной мере его усложнение [11]. Следовательно, все пути обеспечения и осуществления реинжиниринга процессов управления на предприятии могут быть успешно реализованы и дадут значительный эффект лишь при активном участии хорошо подготовленных кадров управления и, это направление должно быть определяющим.

Следует отметить, что особое место среди прочих факторов при реинжиниринге процессов управления занимают профессионализм кадров предприятия и их настрой на коренные преобразования, ориентированные на успех компании. Кадровые факторы успеха реинжиниринга приведены на рисунке 2.

Проведенное исследование показало, что значительным резервом реинжиниринга процессов управления на предприятии является улучшение использования управленческих кадров (менеджеров) с учетом их квалификации, знаний, опыта, и т.д.

В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть наиболее существенные характеристики управленческих кадров, определяющие эффективность реинжиниринга процессов управления на предприятии. К сожалению, следует особо подчеркнуть, что в современных условиях системность подготовки и переподготовки управленческих кадров на предприятиях практически не наблюдается, за некоторым исключением и, как результат, снижается эффективность управления на предприятии. Полагаем, что в условиях модернизации экономики, пе-

рехода предприятий преимущественно на экономические методы управления и, особенно, при реализации реинжиниринга процессов управления на предприятии роль повышения квалификации и переподготовки управленческих кадров (менеджеров) должна возрасти и стать определяющим фактором эффективного развития.

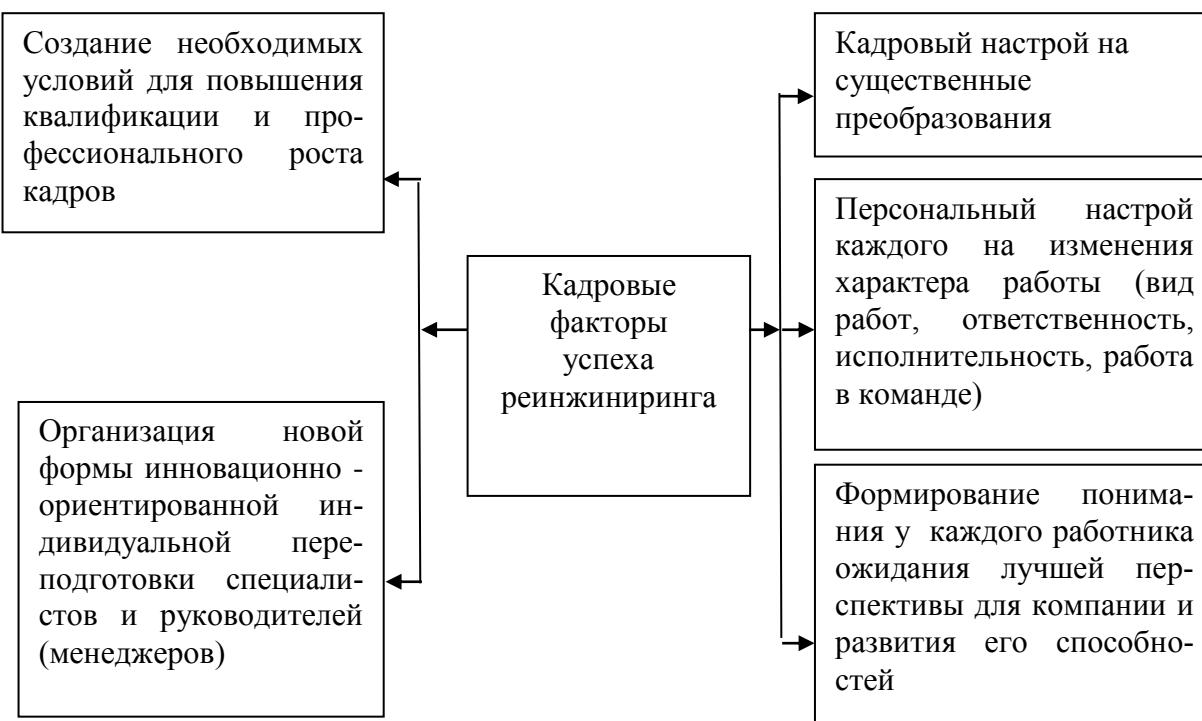


Рисунок 2 - Кадровые факторы успеха реинжиниринга

Результаты исследования и практика управления показывают, что на предприятиях приходится часто сталкиваться с такими явлениями, когда специалист (менеджер), вовлеченный в процессное управление при реализации реинжиниринга, или назначенный на должность руководителя подразделения, испытывает большие трудности при решении многих вопросов, связанных с новыми обстоятельствами. Специалисты, как правило, обладают знаниями преимущественно в определенной сфере и испытывают нехватку знаний, умений и навыков, которыми должен владеть современный менеджер или руководитель в процессах инновационного развития предприятия, в том числе и при реинжиниринге процессов управления. Поэтому наряду с такими существующими формами подготовки и переподготовки специалистов и руководящих работников на предприятиях, как например, повышение квалификации кадров, современные требования вовлечения молодых кадров в управленческую деятельность вызывает необходимость организации такой принципиально новой формы обучения как инновационно-ориентированная индивидуальная переподготовка специалистов и руководителей (менеджеров).

Индивидуальная форма переподготовки своей целью должна предусмотреть освоение обучающимися за короткий срок инновационных знаний, навыков и умений [15]. Знания должны быть ориентированы на реализацию и обеспечение реинжиниринга процессов управления и инновационного развития предприятия, что должно исключить в практике их работы методы проб и ошибок.

Такая форма должна предусматривать развитие у специалистов и руководителей:

- навыков реинжинирингового подхода в управлении предприятием;
- знаний инновационного развития управления объектами;
- способностей связывать теорию с практическими нуждами при выборе наиболее эффективных путей решения возникающих проблем;

- умения использовать системный подход при выработке решений;
- умения среди множества управленческих проблем выделять важные и находить пути решения этих проблем;
- навыков в работе с людьми, включая навыки учета индивидуальных особенностей работников, их характера, склонностей, привычек;
- умения использовать передовые методы управления для поощрения личной и коллективной инициативы, творчества;
- умения организации индивидуальной работы.

Индивидуальные программы переподготовки и повышения квалификации специалистов и руководителей на предприятиях должны составляться с учетом современных преобразований в экономике, технике и технологии, предусматривать широкое использование научно обоснованных и наиболее эффективных форм повышения квалификации [12,13].

В процессе индивидуальной переподготовки особое внимание должно уделяться обучению навыкам принятия решений на всех этапах деятельности специалиста и руководителя, от формулировки проблемы до выработки решения и определения исполнителей (цикл управленческих решений).

Перед составлением индивидуальной программы должна быть проведена определенная работа с обучающими по выявлению именно тех пробелов в знаниях, которые имеют конкретный специалист или руководитель. Для этого рекомендуем тщательно изучить личное дело специалиста; провести анкетный опрос и тестирование специалиста – потенциального обучающегося; провести опрос коллег и вышестоящих руководителей о деловых качествах и знаниях обучающегося; провести с обучающимся профессиональную беседу.

После сбора и анализа информации о специалисте (руководителе) отдел обучения предприятия (управление кадров) совместно с обучающимся составляет индивидуальную программу переподготовки или повышения квалификации.

Для составления индивидуальных программ преимущественно должны привлекаться главные специалисты, руководители предприятия, а при необходимости и преподаватели вузов, которые компетентны в вопросах реинжиниринга процессов управления и инновационного развития предприятия. Консультанты из числа главных специалистов или высококвалифицированных работников назначаются приказом руководителя предприятия. Программа обязательно предусматривает название темы, сроки сдачи зачетов, источники информации и утверждается руководителем предприятия с указанием сроков обучения.

На предприятиях при переподготовке обучающихся должна действовать определенная система моральных и материальных стимулов, способствующая повышению квалификации работника. Например, продвижение по службе после учебы, представление определенных льгот и др. Только при таком подходе можно рассчитывать на формирование высококвалифицированного состава специалистов руководителей, способных успешно реализовывать инновационные подходы эффективного управления на предприятии в современных условиях.

Организация такой формы обучения и ее стимулирование позволит предприятиям стабилизировать коллектив управленческих кадров и создать их перспективный резерв. С этой целью нами разработана анкета по выявлению содержания труда руководителя (менеджера) подразделения. В нее были включены необходимые инструментарии для исследования, которые обеспечили определенные удобства в работе и позволили получить многоаспектные сведения.

Анкета «Содержание труда руководителя» состоит из двух частей, содержание которых позволяет выявить проблемы, связанные с многосторонней деятельностью руководителя. Первая часть охватывает вопросы, связанные со знаниями, навыками, умением, причинами, затрудняющими работу руководителя, должностными обязанностями, выстраиванием отношений с подчиненными и вышестоящим руководителем, затратами рабочего времени и т.д. Вторая часть включает в себя вопросы, касающиеся разработки прогнозов, программ, целей, планов, производственных заданий, правил управления и принятия решений, организации работы с информацией и перепиской, личные контакты, организации рабочих мест. Такой опрос позволяет выявить множество проблем, как предприятия, так и руководителей.

Систематизация и обработка данных анкетирования позволили получить интересные результаты. На ожидаемую эффективность индивидуальной формы переподготовки на предприятии при исследовании указали их руководители, работники отделов обучения и кадров, а также сами потенциальные кандидаты на переподготовку. Более того, как отметили респонденты, такая форма позволила бы овладеть навыками самообразования, что в значительной мере способствовало повышению уверенности в работе и вниманию к своим потенциальным возможностям.

Процесс индивидуальной переподготовки находится в тесной взаимосвязи с самообразованием, поэтому обучающимся по такой форме рекомендуем следующее:

1. Определить мотивацию и стимулы к учебе;
2. Провести тщательный анализ и достаточно четко определить период и продолжительность учебы;
3. Определить проблемы и приоритет в изучении материала;
4. Определить формы и методы обучения (чтение литературы, беседы и консультации со специалистами, посещение занятий в вузе, на курсах и т.д.).

Путь самообразования является практически приемлемым для всех желающих повысить знания. Однако опыт показывает, что на практике - это тяжелая задача [13]. Необходимо уметь правильно определить направление учебы, выбрать из массы литературы именно то, что необходимо, выделить время для регулярных занятий и т.д.

При составлении программы самообразования представляется необходимым рекомендовать следующее:

1. Разработать программу с учетом тех вопросов, которые приходится решать в процессе текущей деятельности;
2. Учесть при ее выборе позитивные изменения, происходящие в последнее время в экономике, науке, технике, а также современные методы управления;
3. Учесть аспекты практической реализации приобретаемых знаний;
4. Ориентировать программу на уровень знаний, необходимых руководителю не только на данном уровне, но и с учетом возможного продвижения по службе.

Расширение и усложнение круга задач, которые встают перед специалистами и руководителями в современных условиях динамического и конкурентного развития предприятий требуют постоянного пополнения знаний, развития навыков и умений, что, в конечном счете, позитивно отражается на процессах управления предприятием и их карьерном продвижении [14]. Следует обратить внимание на то, что какой бы хорошей не была формальная организация процесса управления на предприятии, как бы хорошо при этом не было организовано использование современной техники, только в соединении с хорошо подготовленными и образованными кадрами, их знаниями, опытом, квалификацией и мировоззрением можно обеспечить реализацию реинжиниринга процессов управления на предприятии.

Вывод. Разработанная и представленная классификация основных факторов реинжиниринга процессов управления на предприятии обеспечит высокую эффективность и динамичность ее развития при любых коренных преобразованиях и совершенствовании процессов управления. Такой подход позволяет в дальнейшем разработать комплекс мероприятий и предложений для практической реализации реинжиниринга процессов управления на предприятии. Особое место среди факторов обеспечения реинжиниринга процессов управления занимает профессионализм кадров управления предприятием.

Предложенный подход к индивидуальной подготовке кадров ориентирован на повышение профессиональной квалификации специалистов и руководителей; углубление их знаний в области процессного управления, экономики, нормирования, организации производства, а также способствует развитию творческих способностей в поиске резервов производства, учете изменяющихся потребностей и спроса, что позволит качественно и эффективно обеспечить реализацию реинжиниринга процессов управления на предприятии.

Библиографический список:

1. Анискин Ю. П. Корпоративное управление инновационным развитием. – М.: Омега-Л, 2007.- С.230- 300.
2. Гамидуллаев Р.Б. Рейнжириинг организационных циклов управления на промышленных предприятиях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. ПГУ. Пенза - 2011. - 135 с.
3. Hammer M. Reengineering work: don't automate, obliterate. *Harvard aBusiness Review July-August*.1990, pp.104-112.
4. Karl T., Steven U., Eppinger D. Produrt Design and Development. *Irwin McGraw-Hill*. 2000, pp.26-30.
5. Hammer M., Champy J. Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution. New York, NY: *Harper Business*, 1993, 223p.
6. Davenport T.H. Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology. *Boston: Harvard Business School Press*. 1993, pp.46-60.
7. Morris D., Brandon, J. Reengineering Your Business. *London: McGraw Hill*, 1993, pp.89-100.
8. Drucker P. Innovation and Entrepreneurship: practice and principles. *Pan Books*, 1986, pp.34 - 46.
9. Белоконская А.Г., Гаврилов П.И. Организация эффективности управленческого труда. – М.: Стройиздат, 1994. – 351 с.
10. Берд Полли. Тайм-менеджмент: Планирование и контроль времени / Пер. с англ. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2003. – 288 с.
11. Бинкин Б.А., Черняк В.И. Эффективность управления: наука и практика. – М.: Наука, 1992. – 144 с.
12. Бурьян Т.И., Коржева Э.М. Прогнозирование бюджета времени: возможности и проблемы. – М.: Экономика, 1980.
13. Веснин В.Р. Менеджмент.– М.: ТК Велби, Проспект, 2004. – 504 с.
14. Виногоров А.В. Информационно-аналитические комплексы поддержки процессов разработки управленческих решений и их использование в обосновании управляющих альтернатив//Стандарты и качество.- 2007.- №1.-С.101.
15. Войтик И.М. Управление персоналом.Учебно методический комплекс для дистанционного обучения. Новосибирск.: СиБАГС,2003.- С.127-200.

References:

1. Aniskin Y.P. Corporate governance of innovative development. *Moscow: Omega-L*, 2007, pp.230- 300. (In Russian)
2. Gamidullaev R.B. Reengineering of organizational management cycles on pro-industrial enterprises. The thesis for the degree of candidate of economic sciences. PGU. Penza, 2011, 135 p. (In Russian)
3. Hammer M. Reengineering work: don't automate, obliterate. *Harvard aBusiness Review July-August*,1990, pp.104-112.
4. Karl T., Steven U., Eppinger D. Produrt Design and Development. *Irwin McGraw-Hill*, 2000, pp.26-30.
5. Hammer M., Champy J. Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution. New York, NY: *Harper Business*, 1993, 223p.
6. Davenport T.H. Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology. *Boston: Harvard Business School Press*, 1993, pp.46-60.
7. Morris D., Brandon, J. Reengineering Your Business. *London: McGraw Hill*, 1993, pp.89-100.
8. Drucker P. Innovation and Entrepreneurship: practice and principles. *Pan Books*, 1986, pp.34 - 46.
9. Belokonskaya A.G., Gavrilov P.I. Organization of the effectiveness of administrative work. *Moscow: Stroyizdat*, 1994, 351 p. (In Russian)

10. Polly Byrd. Time Management: Planning and control of time. *Moscow: FAIR PRESS, 2003, 288 p. (In Russian)*
11. Binkin B.A., Chernyak V.I. Jeffektivnost' upravlenija: nauka i praktika [Performance Management: Science and Practice]. *Moscow: Nauka, 1992 - 144 p. (In Russian)*
12. Burian T.I., Korzheva E.M. Prediction time budget: opportunities and challenges. - *Moscow: Economics, 1980. (In Russian)*
13. Vesnin V.R. Management. *Moscow: TK Welby, Publishing Prospect, 2004, 504 p. (In Russian)*
14. Vinogradov A.V. The information-analytical system support processes, owls development management solutions and their use in the justification control alternatives. *Standart i kachestvo [The standard and quality], 2007, no.1, pp.101. (In Russian)*
15. Voystik I.M. Personnel Management. *Uchebno metodicheskij kompleks dlja distancionnogo obuchenija. [Educational methodical complex for distance learning.]. Novosibirsk : SAPA, 2003, pp.127-200. (In Russian)*

Сведения об авторах.

Абдуллаева Тамара Курбановна – доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой менеджмента.

Гамидуллаев Букар Нагметуллаевич – доктор экономических наук, профессор кафедры менеджмента.

Гамидуллаев Рамин Букарович – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры менеджмента.

Authors information.

Tamara K. Abdullaeva – Doctor of Economics, Professor, Head of Department of management.

Bukar N.Gamidullaev – Doctor of Economics, Professor, Department of management.

Ramin B. Gamidullaev – candidate of economic sciences, senior lecturer, Department of management.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 06.06.2016.

Conflict of interest

Received 06.06.2016.

Принята в печать 20.07.2016.

Accepted for publication 20.07.2016.

Для цитирования: Исмаилова Ш.Т., Эмирбекова Д.Р. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):211-219. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-211-219

For citation: Ismailova Sh. T., Emirbekova D. R. METHODICAL ASPECTS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF MANAGEMENT RESOURCE POTENTIAL OF A CONSTRUCTION ENTERPRISE. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3): 211-219. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-211-219

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 332.144

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-211-219

Исмаилова Ш.Т.¹, Эмирбекова Д.Р.²

Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

¹e-mail:shani717@mail.ru

²e-mail:audit.dgtu@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация: Цель. Целью исследования является повышение и поддержание уровня конкурентоспособности предприятия на основе оптимизирующего менеджмента. Методы. При разработке методики управления ресурсным потенциалом применен системный подход, позволяющий рассматривать его как многоаспектную систему, обеспечивающую взаимодействие предприятия посредством стратегий управления со средой, включающей в себя рыночную, экологическую и социальную составляющие. Результат. Раскрыты основные проблемы и тенденции развития строительства и обоснована необходимость повышения эффективности использования ресурсного потенциала строительного предприятия в условиях динамично меняющейся внешней среды. Разработаны мероприятия по повышению качества управления ресурсным потенциалом с использованием современных методик и принципов. Предложена модель повышения конкурентоспособности ресурсного потенциала строительного предприятия, основанная на методике планирования развития ресурсного потенциала и стратегическом управлении ресурсным потенциалом. Вывод. Повышение эффективности использования материально-технических ресурсов заложено в повышении их качественного уровня и степени вовлеченности в производственные процессы.

Ключевые слова: ресурсный потенциал, управление ресурсным потенциалом, ресурсоотдача, конкурентоспособность ресурсного потенциала, ресурсно-затратный подход, оптимизирующий менеджмент

Shani T. Ismailova¹, Djaminat R. Emirbekova²

^{1,2}Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

¹e-mail:shani717@mail.ru,

²e-mail:audit.dgtu@mail.ru

METHODICAL ASPECTS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF MANAGEMENT RESOURCE POTENTIAL OF A CONSTRUCTION ENTERPRISE

Abstract. Aim. The research is aimed at increase and support of competitive level of the enterprise on the basis of optimizing management. **Methods.** The measures on the resource potential management quality increase with the use of modern methods and principles are considered in the article. While working out the resource potential management methodology it is considered as a multi-aspect system, providing interaction of the enterprise by means of the environment management strat-

egies including market, ecological and social components. **Results.** The main problems and development tendencies of building are revealed in the paper by the authors as well as the necessity of efficiency increase of the building enterprise resource potential use in the conditions of dynamically changing environment is stipulated. The model of increase of the building enterprise resource potential competitiveness based on the methods of resource potential development planning and strategic resource potential management is proposed. **Conclusion.** The efficiency increase of material and technical resources lies in the rise of the quality level and its involvement into production process.

Key words: resource potential, resource potential management, resource output, resource potential competitiveness, resource and expense approach, optimizing management

Введение. Особенности строительного производства и специфика взаимодействия строительной отрасли с экономической системой в целом порождают сложности в управления строительным предприятием, связанные с необходимостью связывать воедино многоплановые и значительно отличающиеся друг от друга технологические и организационные процессы [4]. Эффективность строительной деятельности, как и эффективность раскрытия и реализации ресурсного потенциала во многом зависят от оптимизации структуры затрат непосредственно на строительное производство (таблица 1).

Таблица 1 - Структура затрат на производство строительных работ в РФ
(по фактической себестоимости; в процентах к итогу) [13]

| Всего затраты | 2005г. | 2010г. | 2011г. | 2012г. | 2013г. | 2014г. |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| в том числе по элементам: | | | | | | |
| материальные затраты | 57,4 | 56,3 | 57,4 | 55,2 | 55,5 | 58,3 |
| затраты на оплату труда | 21,1 | 20,2 | 19,1 | 18,8 | 18,5 | 20,0 |
| единий социальный налог ¹⁾ | 5,0 | 4,2 | 5,0 | 4,8 | 4,7 | 5,2 |
| амортизация основных средств | 2,4 | 2,9 | 2,6 | 2,8 | 2,7 | 3,1 |
| прочие затраты | 14,1 | 16,4 | 15,9 | 18,4 | 18,6 | 13,4 |

1) С 2010 г. - страховые взносы в Пенсионный фонд, ФСС, ФФОМС, ТФОМС

Детальное изучение ситуации приводит к выводу о необходимости структурных изменений на отраслевом уровне, результатом которых должно стать укрупнение субъектов хозяйствования и создание холдингов, способных аккумулировать ресурсы и перенаправлять их в рамках объединения, максимально эффективно раскрывая заложенный в ресурсной базе потенциал. Что же касается оценки системы управления ресурсами в строительной отрасли Республики Дагестан, то ее нельзя признать эффективной в силу ряда причин:

- организационно-управленческие методы долгое время не обновляются, оставаясь продуктом устаревших представлений о системе управления и практике руководства;
- менталитет и степень профессиональной подготовки управленческих кадров не ориентированы на современные методы управленческой работы и менеджмента;
- строительные предприятия находятся в состоянии, когда спрос на их продукт продолжает опережать предложение, при этом ценовая политика заказчиков сводится к уменьшению стоимости объекта, что отрицательно сказывается на практике организации капитала

ловлений;

- доля устаревшей техники и привлечения ручного труда в заменяемых операциях продолжает оставаться весьма высокой;
- строительные компании привычно не ориентированы на инновационные решения, а заказчики не стимулируют этого интереса [10].

Постановка задачи. Необходимо проведение мероприятий по повышению качества управления ресурсным потенциалом с использованием современных методик и принципов:

- формирование направленности управленческих импульсов на изменение состояния ресурсного потенциала в сторону повышения эффективности его использования;
- формирование систем управления, рассчитанных на учет факторов внешних воздействий;
- формирование методов управления потенциалом спроса, рыночного ресурса;
- внедрение в управленческую практику инновационных методов воздействия на ресурсный потенциал.

Методы исследования. При исследовании ресурсного потенциала, как динамической системы, нас интересуют ресурсы, обладающие дополнительным внутренним потенциалом, реализация которого через организацию ресурсосбережения позволяет повысить эффективность деятельности и внести инновационные подходы в структуру и функционирование строительных организаций и предприятий [5,6].

Актуальность внедрения инновационных подходов и технологий ресурсосбережения объясняется комплексом причин:

1. Понимание ограниченности ресурсов на уровне глобального мышления, диктующее необходимость формирования рациональных подходов к их использованию.

2. Активное воздействие человека на экосистемы, и как следствие, их значительные изменения, несущие опасность самому человечеству.

3. Стремление к устойчивому сбалансированному развитию с сохранением среды обитания и организацией взаимосвязи с ней на равноправных началах нашло отражение в понимании необходимости бережного отношения к естественным ресурсам и экосистемам. [7]

4. Перечисленные сдвиги привели к пересмотру экономических концепций и моделей развития, что требует от отечественной строительной отрасли соответствия этим параметрам.

5. Российские показатели затрат сырья и ресурсов существенно превосходят показатели западных затрат, что приводит к необходимости применять резерв экономии в масштабах от 40 до 50 % от существующего уровня потребления.

6. Зарубежный опыт показывает, что достижение эффекта ресурсосбережения и использования потенциала связано с необходимостью привлечения инвестиций и дополнительных капиталовложений в развитие инновационных технологий и методов рационального использования ресурсов [16, 17].

Эффективность управления ресурсным потенциалом напрямую связана с конкурентоспособностью предприятия, которую можно определить как комплексную характеристику, отражающую сравнительную эффективность использования ресурсного потенциала, преимущество, создаваемое рациональным привлечением и использованием, как самих ресурсов, так и эффектов их взаимодействия в определенный временной промежуток [12]. Объектами сравнения являются совокупности показателей эффективности деятельности аналогичных предприятий [18].

С целью повышения конкурентоспособности ресурсного потенциала нами разработана модель, позволяющая идентифицировать проблемы его использования, и комплекс управленческих воздействий, направленных на обеспечение ресурсной устойчивости строительного предприятия (рис.1).

Эффективность использования ресурсного потенциала необходимо оценивать с помощью следующих показателей: ресурсоотдача и ресурсоемкость [11]. Ресурсоотдача выражает отношение объема строительной продукции к сумме совокупных затрат, связанных с потреблением ресурсов на строительно-монтажные работы [7]. Ресурсоемкость характеризует степень

эффективности использования ресурсов предприятия (материалов, энергии, сырья, топлива и т.д.) при производстве единицы продукции [9]. Данный показатель может выражаться как в натуральном выражении, так и в денежном и представляет собой отношение затраченных ресурсов на объем произведенной (проданной) продукции [15].



Рисунок 1- Модель повышения конкурентоспособности ресурсного потенциала строительного предприятия (авторская разработка)

Обсуждение результатов. Используя ресурсно-затратный подход, в рамках реализации конкретного проекта строительства показатель ресурсоотдачи можно рассчитать по следующей формуле:

$$PO = \frac{Воп}{Зсм + Зэм + Зэ + Зот + Знр} \quad (1)$$

где РО – ресурсоотдача;

Воп – объем производства строительной продукции (работ, услуг), руб.;

Зсм - затраты на использованные в производстве строительные материалы, сборные конструкции и детали, руб.;

Зэм - затраты на содержание и эксплуатацию строительных машин и механизмов, включая амортизационные расходы;

Зэ - электроэнергия и другие материальные ресурсы

Зот – расходы на оплату труда с отчислениями на социальные нужды, руб.;

Знр – накладные расходы, руб.

На этапе планирования развития ресурсного потенциала хозяйствующий субъект должен определить стратегию его развития и выбрать между экстенсивным и интенсивным путями развития ресурсного потенциала. Оценить влияние экстенсивности и интенсивности использования ресурсного потенциала на его конкурентоспособность можно, используя метод факторного анализа.

В качестве основы для анализа можно использовать факторную модель:

$$Воп = РЗ \times РО, \quad (2)$$

где РЗ = Зсм + Зэм + Зэ + Зот + Знр;

РЗ – совокупные ресурсозатраты на реализацию отдельного проекта;

РО – ресурсоотдача;

Расчет влияния экстенсивности ($\Delta ОП_Э$) и интенсивности ($\Delta ОП_И$) использования ресурсов на приращение выпуска продукции определяется по формулам:

$$\Delta ОП_Э = (РЗ_1 - РЗ_0) \times РО \quad (3)$$

$$\Delta ОП_И = РЗ_1 \times (РО_1 - РО_0) \quad (4)$$

где РЗ₀, РО₀ - это значения показателей ресурсозатрат и ресурсоотдачи соответственно, запланированные в рамках реализации проекта строительства;

РЗ₁, РО₁ - это фактические значения показателей ресурсозатрат и ресурсоотдачи соответственно, полученные после реализации проекта строительства.

Результатом факторного анализа является коэффициент экстенсивности использования ресурсного потенциала, который определяется отношением темпа прироста соответствующего набора ресурсов к темпу прироста объема выпуска или продажи продукции. Коэффициент интенсивности использования ресурсов можно определить путем вычитания из 100% значения коэффициента экстенсивности. Таким образом, рассчитываются комплексные показатели экстенсивности и интенсивности использования ресурсного потенциала [14].

Процедуры, включаемые в процесс управления качеством: оценка перспективы преобразований ресурсного потенциала; выявление способов наиболее оптимального раскрытия и использования компонентов потенциала; создание представления об имеющемся уровне развития; создание представления о необходимом - желаемом уровне развития; разработка способов сокращения разрыва между этими уровнями; разработка и реализация конкретных методов воздействия на ресурсный потенциал для достижения желаемого уровня.

Прохождение перечисленных этапов имеет признаки схожести со стратегическим пла-

нированием, которое учитывает не только сами ресурсы, но и степень их взаимодействия и взаимосвязи [18]. Поскольку ресурсный потенциал включает в себя все нераскрытые и раскрытые возможности, то именно его можно считать главной основой стратегического развития - управленические решения при планировании естественным образом оказываются компонентами ресурсного потенциала как управленический и организационный ресурс.

В системе управления предприятием роль стратегического планирования невозможно переоценить - оно является основой целеполагания и формирования концепции достижения цели, учитывающей совокупность ресурсов в количественном и качественном выражении - их общий системный потенциал [3]. С учетом перечисленных особенностей и этапов, стратегическое управление можно определить как разработку и реализацию системы, включающей правила и алгоритмы взаимодействия структуры предприятия при возникновении вызовов со стороны внешней среды для достижения намеченных целей развития. Ресурсная база предприятия должна быть организована таким образом, чтобы ресурсный потенциал соответствовал разработанной концепции развития

Следует отметить, что в процессе реализации стратегии развития возможны тактические корректировки, связанные с неучтенными при прогнозировании новыми вызовами извне при изменении среды. Также, обратить внимание на состояние баланса ресурсов: сбалансированность компонентов ресурсного потенциала приводит к возникновению продуктивного синергетического эффекта роста потенциала.

Отсутствие сбалансированности приводит к деструктивному синергетическому эффекту, который выражается в быстром и значительном снижении ресурсного потенциала. Поскольку задача управления состоит в достижении максимальной эффективности в реализации ресурсного потенциала, то задача достижения сбалансированного состояния обретает особую актуальность [8]. Баланс достигает за счет оптимизирующего менеджмента, который должен учитывать, что в реальности привлечение неоправданного излишка, например, материальных ресурсов, приводит к снижению потенциала финансовых ресурсов, что непременно сказывается на прочих компонентах совокупного потенциала - в этом выражается связность ресурсов и возможность возникновения синергетического эффекта, направленного на развитие как положительной, так и отрицательной динамики состояния предприятия и его ресурсного потенциала. [2]

Вывод. Поддержание уровня конкурентоспособности строительного предприятия связано с воздействием факторов, формирующих рыночный спрос на его продукцию, соответствие которому требует смен состояний предприятия. Следование за потребительской ценностью продукта определяет характер деятельности в рыночных условиях. Российская строительная отрасль пребывает в состоянии, когда спрос остается достаточно высоким, но предприятия и компании, стремящиеся к изменению собственного положения, переходят на упомянутый нами ранее пятый уровень конкуренции: создают продукт, стимулирующий спрос и развивающий новое направление в общей деятельности. Повышение эффективности использования материально-технических ресурсов заложено в повышении их качественного уровня и степени вовлеченности в производственные процессы. Необходимо проведение мероприятий по повышению качества управления ресурсным потенциалом с использованием современных методик и принципов:

- формирование направленности управленических импульсов на изменение состояния ресурсного потенциала в сторону повышения эффективности его использования;
- формирование систем управления, рассчитанных на учет факторов внешних воздействий;

- формирование методов управления потенциалом спроса, рыночного ресурса;
- внедрение в управляемую практику инновационных методов воздействия на деятельность строительных предприятий и состояние их ресурсного потенциала.

Библиографический список:

1. Антипов А.А. Разработка и реализация стратегии развития строительных организаций. Экономический анализ: теория и практика. - 2007. - № 3. - С.58-60.
2. Бадриева Л.Д. Современные тенденции и закономерности эффективного использования ресурсного потенциала// Российское предпринимательство. - 2011. - № 12- С.20-25.
3. Бобков, А.А. Стратегическое и тактическое управление ресурсами предприятия инвестиционно-строительного комплекса. СПб: СПбГИЭУ, 2009. – 200 с.
4. Дикман Л.Г. Организация строительного производства. М.: Ассоциация строительных вузов. – 2010. –С.12-46.
5. Забаева М.Н. Оценка конкурентоспособности ресурсного потенциала строительного предприятия // Российское предпринимательство. - 2012. - № 19 - с. 67-71.
6. Кузьмич Н.П. Потенциал конкурентоспособности строительных организаций в современных условиях // Перспективы науки. - 2012. – Т.34 - № 7 - С. 90–94.
7. Лукманова Н.Г. Методический подход к оценке эффективности системы управления качеством в строительстве // Экономика строительства. – 2001. – № 4 –С.13-28.
8. Мухаррамова Э.Р. Формирование ресурсного потенциала строительного предприятия // Российское предпринимательство. - 2013. - № 14 (236). - с. 45-52.
9. Перухин А.М. Критерии и показатели оценки конкурентоспособности строительных организаций. // Экономика строительства. - 2004. - №10, - С.1-4.
10. Росстат. Российский статистический ежегодник. Официальное издание [Электронный ресурс] // Информационно-издательский центр «Статистика России». – Режим доступа: www.infostat.ru.
11. Сериков А. Особенности ресурсного обеспечения управления//Проблемы теории и практики управления. - 2006. - №8 - С. 95 - 101.
12. Симонов, Р. Анализ конкурентных преимуществ строительного предприятия в рыночной среде// Проблемы теорий и практики управления. - 2006. - №12. - С.8-9.
13. Статистический сборник «Строительство в России 2014». Режим доступа: www.infostat.ru.
14. Степанов И.С., Шайтанов В.Я. Маркетинг в строительстве. – М.: Юрайт-Издат, 2003. – С.23-56.
15. Эсетова А.М., Эскерханова Л.Т. Организационно-экономический механизм формирования конкурентной стратегии строительного предприятия. Махачкала.: Формат, 2006. – С.47-68.
16. 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
17. 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
18. Correia R.A.F., Territorial marketing: Interaction between industrial and regional networks. *International Review on Public and Nonprofit Marketing*, 2011, vol.8, no.1, pp.93-95.

References:

1. Antipov A.A. Development and realization of the building organization development strategy. *Jekonomicheskij analiz: teorija i praktika* [Economic analysis: theory and practice], 2007, no.3, pp.58-60. (In Russian)
2. Badrieva L.D. Modern tendencies and rules of effective resource potential use. *Rossijskoe predprinimatel'stvo* [Russian entrepreneurship]. 2012, no.12, pp.20-25. (In Russian)
3. Bobkov A.A. Strategical and tactical resource management of the enterprise of the investment and construction complex. *St. Petersburg: SPbGIJeU*, 2009, 200 p. (In Russian)
4. Dickman L.G. Building production organization. *Moscow: Association of building higher schools*. 2010, pp.12-46. (In Russian)
5. Zabaeva M.N. Assessment of the building enterprise resource potential competitiveness. *Rossijskoe predprinimatel'stvo* [Russian entrepreneurship]. 2012, no.19, pp.67-71. (In Russian)
6. Kuzmich N.P. Potential of the building enterprises competitiveness in modern conditions. *Perspektivy nauki* [Prospects of science]. 2012, vol.34, no.7, pp.90-94. (In Russian)
7. Lukmanova N.G. Methodical approach to efficiency assessment of the quality management system in building. *Jekonomika stroitel'stva* [Economy of building]. 2001, no.4, pp.13-28. (In Russian)
8. Mukharramova E.R. Resource potential formation of the building enterprise. *Rossijskoe predprinimatel'stvo* [Russian entrepreneurship]. 2013, no.14, pp. 45-52. (In Russian)
9. Perukhin A.M. Criteria and indices of assessment of the building enterprises competitiveness. *Jekonomika stroitel'stva* [Economy of building]. 2004, no.10, pp.1-4. (In Russian)
10. Russian statistic yearbook. Official edition. [Electronic resource] Information and publishing center "Russian statistics". Access mode: WWW.infostat.ru (In Russian)
11. Serikov A.. Peculiarities of resource management provision. *Problemy teorii i praktiki upravlenija* [Problems of the theory and practice of management]. 2006, no.8, pp.95-100. (In Russian)
12. Simionov R. Analysis of competitive advantages over building and surprise in the market sphere. *Problemy teorii i praktiki upravlenija* [Problems of the theory and practice of management]. 2006, no.12, pp.8-9. (In Russian)
13. Statistical collection "Construction in Russia 2014" Режим доступа: www.infostat.ru (In Russian)
14. Stepanov I.S., Shaitanov V.Y. Marketing in building. *Moscow: Urait*, 2003, pp.23-56. (In Russian)
15. Esetova A.M., Eskerkhanova L.T. Organization and economic mechanism of formation of the building enterprise competitive strategy. *Makhachkala: Format*, 2006, pp. 47-68. (In Russian)
16. 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
17. 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
18. Correia R.A.F., Territorial marketing: Interaction between industrial and regional networks. *International Review on Public and Nonprofit Marketing*. 2011, vol.8, no.1, pp.93-95.

Сведения об авторах.

Исмаилова Шани Тагировна – доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой экономической теории.

Эмирбекова Джаминат Рамидиновна – старший преподаватель, кафедры аудита и финансового контроля.

Authors information.

Shani T.Ismailova – Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of economic theory.

Djaminat R.Emirbekova – senior lecturer, Department of Audit and financial control.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 05.07.2016.

Conflict of interest

Received 05.07.2016.

Принята в печать 20.08.2016.

Accepted for publication 20.08.2016.

Для цитирования: Мейланов И.М., Эсетова А.М. РАЗВИТИЕ ФОРМ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):220-230. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-220-230

For citation: Meilanov I. M., Esetova A.M. DEVELOPMENT OF THE STATE SUPPORT FORMS PROJECTS IN INDUSTRIAL BUILDING. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):220-230. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-220-230

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 69.003

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-220-230

Мейланов И.М.¹, Эсетова А.М.²

^{1,2}Дагестанский государственный технический университет,

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

¹e-mail:derbent_dstu@rambler.ru,

²e-mail:aidaesetova@rambler.ru

РАЗВИТИЕ ФОРМ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. Цель. Актуальность исследования обусловлена объективной потребностью в совершенствовании организационно-экономического механизма государственной поддержки проектов промышленного строительства. Целью исследования является развитие концептуальных положений и методических основ финансирования проектов, создающих условия для экономического роста России на основе строительства и ввода в действие промышленных объектов. Методы. В ходе исследования применялись системный, предметно-функциональный и структурный методы, расширяющие сферу применения комплексного подхода к оценке действующего механизма государственной финансовой поддержки проектов и объемов финансирования; обоснованию критерии конкурентного отбора наиболее эффективных проектов; поиску инструментов аккумулирования инвестиционных ресурсов в промышленное строительство. Результат. Обосновано, что механизм государственной инвестиционной политики в промышленном строительстве ориентирован на определение целесообразных объемов инвестиций и их отраслевой, воспроизводственной, технологической, территориальной структуры; выбор приоритетов развития строительной отрасли; повышение эффективности реализации инвестиционных проектов. Аналитически обобщена динамика государственной поддержки в форме субсидий и бюджетных инвестиций в создание объектов промышленного строительства. Установлено, что особенностью современной государственной поддержки проектов промышленного строительства является переход от распределения бюджетных ассигнований между отраслями и регионами к избирательному частичному финансированию конкретных инвестиционных проектов на конкурсной основе. Определены тактические приемы государственно-частного партнерства, привлекающего частный капитал без потери стратегического государственного контроля над важными системами и объектами. В качестве эффективной формы поддержки проектов промышленного строительства предложено использовать форму концессионной модели: «проектирование – строительство – финансирование – владение – эксплуатация». Вывод. Развитие форм государственной поддержки проектов промышленного строительства обеспечивает реализацию экономических интересов всех заинтересованных лиц на стадиях создания, реализации и внедрения проектов, начиная от финансирования, кредитования, заключения договоров и сдачи объекта. Концессионная модель поддержки проектов позволяет государству получить ряд преимуществ, решая проблему снижения бюджетной нагрузки за счет привлечения частного капитала. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ № 2916 «Разработка организационно-экономического механизма эффективного развития отраслей экономики».

Ключевые слова: бюджетные инвестиции; капитальные вложения; промышленное строительство; проект; государственная поддержка; конкурсный отбор; государственно-частное партнерство; концессия

Izmet M. Meilanov¹, Aida M. Esetova²

^{1, 2}Daghestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

¹e-mail:derbent_dstu@rambler.ru,

²e-mail:aidaesetova@rambler.ru

DEVELOPMENT OF THE STATE SUPPORT FORMS PROJECTS IN INDUSTRIAL BUILDING

Abstract. Aim. The topicality of the research is stipulated by the objective necessity of the organizational and economic mechanism improvement of the state support projects of the industrial building. The aim of the research is the development of conceptual provisions and methodological foundations of financial projects creating conditions for economic growth of Russia based on the construction and putting into effect industrial objects. **Methods.** In the course of the research the system, subject-functional and structural approaches were implemented to solve the problems set widening the scope of the complex approach to assessment of the current operating mechanism of the state financial support of the projects and financial volume; to criteria stipulation of the most effective projects contest selection: to the search of the investment resources accumulation instrument into industrial building. **Results.** It is stipulated that state investment policy in industrial building mechanism oriented to define rational investment volumes and their branch, reproductive, technological and territorial structure; option of the building branch development priority; increase of the investment projects efficiency realization. The dynamics of the state support in the form of subsidies and budget investments into creation of the industrial building objects is analytically summarized. It is determined that the peculiarity of the modern state support projects of industrial building is transition from budget allocations distribution between branches and regions to selective and partial financing of specific investment projects on competitive basis. Some tactics of state and private partnership attracting private capital without losing strategic state control under systems and objects are defined. As an effective form of the industrial building support projects it is proposed to use a concession model form: projecting - building- financing- ownership - exploitation. **Conclusion** The state support projects system of the industrial building provides the realization of all concerned people's economic interests at all stages of creating, realizing, crediting, contracts concluding and objects commissioning. The concession support model allows the state to get a number of advantages solving the problem of budget load reduction by attracting private capital. The state support forms development of industrial building promotes the competitive industrial base forming the prospect of the stable economic growth in Russia. The work has been done in the frameworks of the state order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 2916 «Development of the organizational-economic mechanism of effective development of economic sectors».

Key words : budget investments, capital investments, industrial building, project, state support, selective contest, state and private partnership, concession

Введение. Одной из основополагающих задач управления инвестиционными проектами в строительстве является организация их финансирования, что подразумевает обеспечение инвестиционными ресурсами, в состав которых входят не только денежные средства, но и основные средства, нематериальные активы, кредиты, займы, права землепользования.

Государство заинтересовано в инвестициях в реальный сектор экономики, каким и является строительство [16]. Прямое участие государства в инвестиционной деятельности осуществляется в форме капитальных вложений [15]. Для реализации инвестиционных проектов предусмотрено создание благоприятных условий на основе прямого участия государства в их поддержке. [14].

Постановка задачи. Основными направлениями бюджетной политики РФ на 2015-2017 годы в качестве одной из важных государственных задач определено повышение эффективности расходования бюджетных ассигнований на осуществление капитальных вложений, что требует создания условий, обеспечивающих реконструкцию и техническое перевооружение объектов капитального строительства.

В соответствии со ст. 21 Бюджетного кодекса РФ в группе расходов «Капитальные вложения в объекты государственной (муниципальной) собственности» выделяются подгруппы «Бюджетные инвестиции», «Субсидии бюджетным и автономным учреждениям, государственным (муниципальным) унитарным предприятиям на осуществление капитальных вложений в объекты капитального строительства государственной (муниципальной) собственности или приобретение объектов недвижимого имущества в государственную (муниципальную) собственность» и «Бюджетные инвестиции иным юридическим лицам» [1,5].

Объекты капитального строительства, созданные в результате осуществления бюджетных инвестиций, или объекты недвижимого имущества, приобретенные в государственную (муниципальную) собственность в результате осуществления бюджетных инвестиций, закрепляются в установленном порядке на праве оперативного управления или хозяйственного ведения за государственными (муниципальными) учреждениями, государственными (муниципальными) унитарными предприятиями с последующим увеличением стоимости основных средств, находящихся на праве оперативного управления у государственных (муниципальных) учреждений и государственных (муниципальных) унитарных предприятий, или уставного фонда указанных предприятий, основанных на праве хозяйственного ведения, либо включаются в состав государственной (муниципальной) казны.

В Бюджетном кодексе закреплены следующие способы государственной поддержки строительства или покупки недвижимого имущества: в виде предоставления государственному (муниципальному) учреждению бюджетных инвестиций; субсидии на осуществление капиталовложений [1].

В соответствии с п. 1 ст. 79 БК РФ орган государственной власти осуществляет бюджетные инвестиции, а учреждению передается в оперативное управление готовый объект [1]. На основании заключений государственной экспертизы государственные заказчики и главные распорядители средств федерального бюджета принимают окончательное решение о целесообразности выделения средств на реализацию соответствующих проектов [8].

В целях повышения эффективности государственных бюджетных инвестиций необходимо осуществлять проверку достоверности сметной стоимости объектов после принятия решения о необходимости их строительства, но до принятия решения о выделении конкретных объемов бюджетного финансирования.

Методы исследования. По данным Росстата в 2015 году наибольший объем средств из федерального бюджета в 2015 г. был направлен в регионы Центрального федерального округа (28,8% всех инвестиций, финансируемых за счет средств федерального бюджета), Северо-Западного федерального округа (17,9%), Приволжского федерального округа (10,9%) [2].

Более 30% средств из федерального бюджета были освоены на территории пяти субъектов Российской Федерации: Москвы (12,8%), Краснодарского края (4,8%), Воронежской (4,5%) и Московской областей (4,4%), Санкт-Петербурга (4,3%).

Наибольшая доля бюджетных средств в общем объеме инвестиций в основной капитал приходилась на республики Ингушетия (91,7%), Северная Осетия (Алания) (63,6%) и Дагестан (62,2%); 50-54% - Республика Алтай, Кабардино-Балкарская и Карачаево-Черкесская республики, Калининградская область.

На территории 4 субъектов Российской Федерации доля бюджетных средств составляла не более 5%, среди них: Республика Коми, Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский – Югра автономные округа.

В 2015 году инвестиции из федерального бюджета направлялись на выполнение Федеральной адресной инвестиционной программы, целью которой являлась поддержка социальной сферы и систем жизнеобеспечения, развитие инфраструктуры Российской Федерации.

Основным инструментом реализации указанных направлений являлись федеральные целевые программы. Лимит бюджетных ассигнований на капитальные вложения, выделенных на реализацию Федеральной адресной инвестиционной программы в 2015 г., был установлен в объеме 919,7 млрд.рублей [2].

В соответствии с федеральной адресной инвестиционной программой, утвержденной Минэкономразвития России на 2016г. (с уточнениями на 1 сентября 2016г.), выделены ассигнования в размере 643,5 млрд.рублей, из них из федерального бюджета - 621,7 млрд.рублей на строительство 1715 объектов капитального строительства, приобретение объектов недвижимости и реализацию укрупненных инвестиционных проектов.

Из общего количества объектов по 482 объектам было намечено провести только проектные и изыскательские работы. Из 508 объектов, намеченных к вводу в 2016г., в январе-августе 2016г. введено в эксплуатацию 22 объекта, из них 20 - на полную мощность, 2 объекта – частично.

На 1 сентября 2016г. на 393 объектах (без объектов, по которым проводятся проектные и изыскательские работы для строительства будущих лет) техническая готовность составляла от 51,0% до 99,9% [3].

Большая часть инвестиций в основной капитал (41,4%) в 2015 г. направлена на строительство промышленных зданий и сооружений.

Доля инвестиций на развитие активной части основных фондов составила 34,7% против 36,3% в 2014 г., по сравнению с 2005 г. она сократилась на 6,4 процентного пункта (табл.1).

Таблица 1 -Видовая структура инвестиций в основной капитал [2,3]

| Показатели | 2015г. | | Справочно в % к итогу | | |
|--|-----------------|----------------|-----------------------|--------|--------|
| | млрд. рублей | в % к итогу | 2005г. | 2010г. | 2014г. |
| Инвестиции в основной капитал | 14555,9 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| в том числе: жилища | 2188,8 | 15,0 | 12,0 | 12,2 | 14,5 |
| здания (кроме жилых) и сооружения | 6027,8 | 41,4 | 40,4 | 43,3 | 40,8 |
| машины, оборудование, транспортные средства | 5051,5 | 34,7 | 41,1 | 37,9 | 36,3 |
| прочие | 1287,8 | 8,9 | 6,5 | 6,6 | 8,4 |

Основным источником финансирования инвестиций в основной капитал в 2015 г. являлись собственные средства организаций (51,1%), на долю привлеченных средств приходилось 48,9% инвестиций (табл.2).

Средства бюджетов всех уровней составили 16,5% от общего объема инвестиций в основной капитал, доля федерального бюджета за 2015 г. по сравнению с 2014 г. увеличилась на 0,7 процентного пункта, доля бюджетов субъектов Российской Федерации снизилась на 0,9 процентного пункта.

Доля банковской сферы в финансировании реального сектора экономики невелика, в 2015 г. она составила 7,8% в общем объеме инвестиций в основной капитал, что на 2,8 про-

центного пункта меньше, чем в предыдущем году, удельный вес кредитов иностранных банков составил 1,9% против 2,6% в 2014 году.

Таблица 2 - Структура инвестиций в основной капитал по источникам финансирования [9]

(без субъектов малого предпринимательства и объема инвестиций, не наблюдаемых прямыми статистическими методами)

| Показатели | 2015г. | | в % к итогу | | |
|---|-----------------|----------------|-------------|--------|--------|
| | млрд. рублей | в % к итогу | 2005г. | 2010г. | 2014г. |
| Инвестиции в основной капитал | 10277,1 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| в том числе по источникам финансирования: | | | | | |
| собственные средства | 5256,5 | 51,1 | 44,5 | 41,0 | 45,7 |
| привлеченные средства | 5020,6 | 48,9 | 55,5 | 59,0 | 54,3 |
| в том числе: | | | | | |
| кредиты банков | 805,3 | 7,8 | 8,1 | 9,0 | 10,6 |
| из них кредиты иностранных банков | 197,5 | 1,9 | 1,0 | 2,3 | 2,6 |
| заемные средства других организаций | 585,4 | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 6,4 |
| иностранные инвестиции | 95,5 | 0,9 | ... | ... | 0,9 |
| бюджетные средства | 1699,4 | 16,5 | 20,4 | 19,5 | 17,0 |
| в том числе: | | | | | |
| из федерального бюджета | 1000,3 | 9,7 | 7,0 | 10,0 | 9,0 |
| из бюджетов субъектов РФ | 577,9 | 5,6 | 12,3 | 8,2 | 6,5 |
| из местных бюджетов | 121,2 | 1,2 | ... | ... | 1,5 |
| средства внебюджетных фондов | 26,8 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| средства организаций и населения, привлеченные для долевого строительства | 307,2 | 3,0 | 3,8 | 2,2 | 3,5 |
| в том числе: | | | | | |
| средства населения | 246,4 | 2,4 | ... | 1,2 | 2,7 |
| прочие | 1501,0 | 14,7 | 16,8 | 21,9 | 15,7 |

Как показало проведенное исследование, наблюдается высокая инвестиционная активность в промышленном строительстве, создающим основные фонды промышленности, включая выполнение комплекса строительно-монтажных работ, связанных с возведением новых, а также расширением, модернизацией и реконструкцией существующих промышленных предприятий.

По данным Росстата за 6 месяцев 2016 года были введены в эксплуатацию промышленные здания площадью более 16 тыс. кв. м, общим строительным объемом свыше 16,5 тыс. куб. м. [3]. К крупнейшим проектам промышленного строительства, реализованным за тот же период 2016 года, можно отнести следующие: завод по производству холодильников китайской компании Haier, построенный в Набережных Челнах с общим объемом инвестиций в проект 64 млн. долл., включая Центр разработок; завод по производству насосных агрегатов для транспортировки нефти и нефтепродуктов в Челябинске, построенный совместно с предприятием ОАО «АК Транснефть», итальянской компании Термотессаника S.p.A. и компанией ЗАО «КО-НАР», с объемом инвестиций в проект 82 млн. долл.; комплекс глубокой переработки нефти на базе гидрокрекинга вакуумного газоля в Волгограде, на нефтеперерабатывающем заводе ООО «Лукойл – Волгограднефтепереработка», с объемом инвестиций в проект 2,2 млрд. долл.; цех по обслуживанию поездов на базе моторвагонного депо Санкт-Петербург – Московское («Металлострой»), объем инвестиций в проект составила 65 млн. долл.; завод по производству ка-

менной ваты компании «ТехноНИКОЛЬ» в Ростовской области, объем инвестиций составил 65 млн. долл. [11].

Обсуждение результатов. Государственная поддержка в форме субсидий и бюджетных инвестиций на софинансирование инвестиций в создание объектов промышленного строительства осуществляется в порядке, установленном бюджетным законодательством, на основании государственных контрактов, заключаемых:

а) государственными заказчиками, являющимися получателями средств федерального бюджета (казенные учреждения);

б) организациями, которым орган-учредитель передал полномочия государственного заказчика (бюджетные и автономные учреждения) [6,7].

Государственная поддержка промышленного строительства может осуществляться из федерального бюджета в рамках финансирования мероприятий по созданию индустриального (промышленного) парка в целях подведения к границе частного промышленного парка сетей инженерной инфраструктуры, технологического присоединения (подключения) к объектам электросетевого хозяйства, строительства объектов инфраструктуры, инженерной подготовки в границах земельного участка [7].

В этом случае, особенностью государственной инвестиционной политики финансирования проектов промышленного строительства является переход от распределения бюджетных ассигнований между отраслями и регионами к избирательному частичному финансированию конкретных инвестиционных проектов на конкурсной основе [20]. Конкурс проводится по двум категориям заявителей проектов:

1 категория: претендующие на получение государственной поддержки в форме субсидий;

2 категория: претендующие на получение государственной поддержки в форме бюджетных инвестиций.

Основные рекомендуемые критерии для отнесения проекта к первой категории:

1. Земельный участок будущей застройки находится в частной собственности;

2. Имеется документальное подтверждение фактической заполненности парка субъектами малого и среднего предпринимательства (резидентами промышленного парка) в виде представленных соглашений (договоров) с субъектами малого и среднего предпринимательства (резидентами промышленного парка), подтверждающих, что: не менее чем на 60% общей площади зданий (помещений) территории промышленного парка предполагается размещение производств указанных резидентов промышленного парка; либо не менее чем на 60% общей площади земельных участков промышленного парка предполагается размещение производств указанных резидентов промышленного парка.

Критериями для отнесения проекта ко второй категории являются:

1. Земельный участок индустриального парка находится в государственной и/или муниципальной собственности и не имеет обременений в виде договоров аренды и/или заключенных инвестиционных договоров, по которым рассматриваемый участок является объектом инвестиционного соглашения;

2. Имеется подтверждение заполненности парка резидентами промышленного парка в виде представленных предварительных соглашений (договоров) с субъектами малого и среднего предпринимательства (резидентами промышленного парка), подтверждающих, что: не менее чем на 20% общей площади зданий (помещений) территории промышленного парка предполагается размещение производств указанных резидентов промышленного парка; либо не менее чем на 20% общей площади земельных участков промышленного парка предполагается размещение производств указанных резидентов промышленного парка.

Конкурсная документация, утверждаемая уполномоченным органом, должна включать: требования к составу и структуре документов, представляемых в составе конкурсной заявки; состав критериев оценки конкурсных заявок, требования к их значениям и порядок их оценки; проект инвестиционного соглашения, заключаемого между победителем конкурса и уполномоченным органом субъекта РФ (для инициаторов проектов парков во 2-й категории).

При оценке проектов создания объектов промышленного строительства и выборе наилучшей территории их размещения рекомендуется учитывать [19]: стратегию социально-экономического развития субъекта РФ, Генеральный план развития субъекта РФ, особенности размещения производительных сил на территории субъекта РФ посредством нового строительства или развития застроенных территорий.

Значимость проекта создания объектов промышленного строительства, предлагаемого на конкурс, рекомендуется оценивать по следующим критериям [18].

- актуальность проекта и его соответствие стратегии развития инвестиционной и инновационной деятельности;
- техническая, технологическая, финансовая, организационная возможность и целесообразность реализации проекта;
- обоснованность инвестиционных затрат по проекту;
- конкурентоспособность производимой продукции (работ, услуг) и перспективность рынков сбыта;
- сравнительные показатели эффективности и устойчивости проекта.

В составе конкурсного предложения участника конкурса должны в обязательном порядке присутствовать: концепция создания объектов промышленного строительства; бизнес-план по созданию объектов промышленного строительства; финансовая модель проекта по созданию объектов промышленного строительства [12].

В настоящее время специфическую форму поддержки проектов промышленного строительства финансирования представляет государственно-частное партнерство, что позволяет обеспечить ряд преимуществ финансового характера по сравнению с бюджетным финансированием. Следует заметить, что использование концессионной формы привлечения инвестиций в промышленное строительство нельзя считать абсолютно новым явлением [4].

Государственно-частное партнерство – это специфическая форма взаимодействия государства и частного сектора в сфере экономики, основополагающей чертой которого является сбалансированность интересов, прав и обязательств сторон в процессе его реализации. В тоже время, это особая форма партнерства, обозначаемая обычно термином Public Private Partnership (PPP) [17]. В российской литературе применяется термин государственно-частное партнерство, исходя из четкого определения ведущей роли государства в российских реалиях.

В случае реализации проекта с помощью механизма государственно-частного партнерства, издержки на проектирование и создание объекта инфраструктуры, включая внеплановые, как правило, берет на себя частный партнер. Кроме того, на него ложатся внеплановые расходы во время эксплуатации объекта. Правительство может избежать необходимости крупных заимствований, распределив часть инвестиционных затрат по всему сроку проекта в виде платежей частному партнеру [10].

Это особенно актуально, когда имеются достаточно жесткие бюджетные ограничения, поскольку реализация концессионных договоров не влечет за собой расходование бюджетных средств. В Российской Федерации наибольшую поддержку со стороны РФ так и со стороны субъектов РФ получила концессионная модель [13].

Закон о концессиях прямо предусматривает строительство и реконструкцию частным инвестором (в терминологии Закона о концессиях - концессионером) автомобильных дорог и инженерных сооружений транспортной инфраструктуры, в том числе мостов, тоннелей; объектов железнодорожного и трубопроводного транспорта; морских и речных портов, аэродромов и аэропортов; коммунальной инфраструктуры и др. [13].

Право собственности на объект сохраняется за государством или муниципалитетом (в терминологии Закона о концессиях - концедентом), который предоставляет концессионеру на срок окупаемости проекта право владения и пользования объектом в целях его эксплуатации для возмещения инвестиционных затрат и извлечения прибыли. Таким образом, концессионная модель, не предусматривающая частной собственности на объект, предоставляет концеденту возможность полностью контролировать проект.

Концессионные договоры позволяют привлекать частный иностранный капитал без потери стратегического контроля над важными системами и объектами.

Концессия может выступать в качестве инструмента уменьшения инвестиционных рисков при сохранении действующей налоговой нагрузки за счет повышения стабильности эконо-

мико-правовой среды в тех временных рамках, в которых иностранные инвесторы реализуют свои проекты, т.е. концессии могут создавать своего рода стабильность в условиях нестабильной среды. В отличие от соглашений о разделе продукции концессионный договор осуществляется не в индивидуализированном, а в общем режиме налогообложения.

В ходе исследования нами определены и систематизированы преимущества концессионной формы поддержки проектов промышленного строительства:

1. Концессии снимают финансовую нагрузку с государства, поскольку концессионер принимает на себя обязательства по осуществлению всех затрат по финансированию, управлению и текущему ремонту сооружений, переданных в концессию.
2. Концессии устанавливают достаточно жесткие, долгосрочные, юридически оформленные отношения между государством и концессионером.
3. Концессионные соглашения позволяют привлекать частный капитал, в том числе иностранный, без потери стратегического контроля над жизненно важными системами и объектами страны.

С учетом данных положений, при реализации проектов промышленного строительства предлагаем использовать форму концессионной модели: «проектирование – строительство – финансирование – владение – эксплуатация».

Вывод. Организационно-экономическая система государственной поддержки проектов промышленного строительства должна обеспечивать органическое «связывание» между собой экономических интересов участников на всех стадиях создания, реализации и внедрения проектов, начиная от финансирования, кредитования, заключения договоров и сдачи объекта.

Привлечение к реализации проектов в промышленном строительстве средств частного бизнеса через механизм государственно-частного партнерства позволяет государству получить ряд преимуществ, которые имеет частная компания, тем самым решая проблему более низкой эффективности государственного финансирования по сравнению с частным, а также сократить долю бюджетного финансирования за счет привлечения частного капитала.

Определяющими мерами государственной поддержки проектов промышленного строительства являются: финансирование за счет средств федерального бюджета научных исследований и экспериментальных разработок, а также сопровождение важнейших инновационных проектов государственного значения; обеспечение эффективного использования средств федерального бюджета, выделяемых на финансирование фундаментальных исследований в области промышленного строительства; целевое выделение бюджетных средств для реализации стратегии развития индустриальных (промышленных) парков; поиск и эффективное использование внебюджетных источников для финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проводимых по заказам федеральных органов исполнительной власти и органов власти субъектов Российской Федерации, а также для вовлечения в хозяйственный оборот научных и научно-технических результатов, полученных за счет бюджетов всех уровней; стимулирование развития малого научно-технического и инновационного предпринимательства, включая поддержку за счет бюджетов всех уровней инфраструктуры малого бизнеса, стимулирование развития венчурного инвестирования, лизинга, кредитования и страхования рисков научно-исследовательских проектов.

Развитие форм государственной поддержки проектов промышленного строительства способствует созданию конкурентоспособной индустриальной базы, формирующей перспективы общего роста экономики России.

Библиографический список:

1. Бюджетный кодекс РФ 2016 года (БК РФ редакция 2016-2017), ст.21, ст.79, ст.78.2, ст.79.
2. Бюллетень «Основные показатели инвестиционной и строительной деятельности в Российской Федерации в 2014 году», Росстат, 2014г. http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_100/Main.htm.
3. Бюллетень «Социально-экономическое положение России. Январь-август 2016 года», Федеральная служба государственной статистики, 2016г. http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016/info/oper-08-2016.

4. Джалилова С.Ф Государственно-частное партнерство как эффективная форма управления инвестиционными проектами в строительстве. Региональные проблемы преобразования экономики.– 2013. – Т.35 - №1- С 170-175.
5. Ниязметов А.К. Государственные капитальные вложения: проблемы и решения// Финансы, N 9, сентябрь 2014 г. <http://www.finexg.ru/>
6. Об отборе субъектов РФ, имеющих право на получение господдержки в форме субсидий на возмещение затрат на создание инфраструктуры индустриальных парков и технопарков. Постановление Правительства РФ от 30 октября 2014 г. N 1119.
7. Правила осуществления капитальных вложений в объекты государственной собственности Российской Федерации за счет средств федерального бюджета. Постановление Правительства РФ от 09.01.2014, № 13.
8. Разживина Д.О., Бовин А.А. Некоторые вопросы совершенствования бюджетного процесса// Сибирская финансовая школа. – 2011. – № 2. – С. 8-12
9. Статистический сборник «Россия в цифрах-2015», Росстат, 2015. http://www.gks.ru/free_doc/doc_2015/rusfig/rus-15.pdf.
10. СибАк. Актуальные проблемы строительства. [Электронный ресурс]. URL: <http://sibac.info/index.php>.
11. http://РБК.Исследования рынков. marketing.rbc.ru/news_research.
12. Федотовский А.Ю. Разработка метода оценки экономической эффективности инновационного проектного управления в строительной отрасли// Проблемы современной экономики. – 2009. – № 1. - С. 5.
13. ФЗ «О концессионных соглашениях», принят Гос.Думой 21.07 2005 г. № 11.
14. Cervantes M., Meissner D. Commercialising Public Research under the Open Innovation Model: New Trends. *Foresight-Russia*, 2014, vol. 8, no 3, pp. 70–81.
15. Dahlgren E., Leung T. An optimal multiple stopping approach to infrastructure investment decisions. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2015; 53:251–267.
16. Greenspan A. Structural changes in the economy and financial markets. *Vital Speeches of the Day*. 2000; 5(67):130–134.
17. Halawa W., Abdelalim A., Elrashed I. Financial evaluation program for construction projects at the pre-investment phase in developing countries: A case study. *International Journal of Project Management*. 2013; 31(6):912–923.
18. Linton J., Vonortas N. From Research Project to Research Portfolio: Meeting Scale and Complexity. *Foresight-Russia*, 2015, vol. 9, no 2, pp. 38–43. DOI: 10.17323/1995-459x.2015.2.38.43
19. Towler G., Sinnott R. Economic Evaluation of Projects. *Chemical Engineering Design*. 2013; 2:389–429.
20. Wren C., Taylor J. Industrial restructuring and regional policy. *Oxford Economic Papers*. 1999; 51(3):487–516.

References:

1. The Budget Code of Russian Federation in 2016 (Russian edition 2016-2017 BC), Article 21, Article 79, st.78.2, Article 79. (In Russian)
2. Basic indicators of investment and construction activities in the Russian Federation in 2014. *The bulletin Federal State Statistics Service*, 2014. Access mode http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_100/Main.htm (In Russian)
3. Socio-economic situation in Russia in January-August 2016 the first-yes.Bulletin Federal State Statistics Service, 2016. Access mode http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016. (In Russian)
4. Jalilova S. Public-Private Partnerships as an effective form of management of investment projects in building. *Regional'nye problemy preobrazovaniya jekonomiki* [Regional problems of the economy transformation]. 2013, no.35, pp.170-175. (In Russian)

5. Niyazmetov A.K. State capital investments: problems and solutions. *Finance*, no. 9, September 2014. Access mode <http://www.finexg.ru/> (In Russian)
6. *Ob otbore subektov RF, imenuyushchih pravo na poluchenie gospodderzhki v forme subsidiy na vozmeshhenie zatrat na sozdanie infrastruktury industrial'nyh parkov i tehnoparkov. Postanovlenie Pravitel'stva RF* [On the selection of subjects of the Russian Federation, entitled to receive state support in the form of subsidies for reimbursement of the cost of building infrastructure of industrial parks and industrial parks]. *RF Government Resolution*, October 30, 2014, no. 1119. (In Russian)
7. *Pravila osushhestvlenija kapital'nyh vlozhenij v obekty gosudarstvennoj sobstvennosti Rossiskoj Federacii za schet sredstv federal'nogo budzhetu. Postanovlenie Pravitel'stva RF* [Terms of the capital investment in state property objects of liability of the Russian Federation at the expense of the federal budget]. *RF Government Resolution* September 1, 2014, no.13. (In Russian)
8. Razzhivina D.O., Bovin A.A. Some issues of improving the budget process. *Sibirskaja finansovaja shkola* [Siberian financial school]. 2011, no.2, pp.8-12. (In Russian)
9. The statistical book "Russia in Figures 2015", Federal State Statistics Service, 2015. Access mode http://www.gks.ru/free_doc/doc_2015/rusfig/rus-15.pdf. (In Russian)
10. Siberian Academy. Actual construction problems. [Electronic resource]. URL: <http://sibac.info/index.php>. (In Russian)
11. <http://RBK.Issledovaniya> markets. marketing.rbc.ru/news_research. (In Russian)
12. Fedotovsky A.Y. Development of a method of valuation of economic efficiency of the innovative project management in the construction industry. *Problemy sovremennoj ekonomiki* [Problems of modern economy]. 2009, no.1, p.5. (In Russian)
13. On Concession Agreements. The Federal Law "Adopted Gos.Dumu 21.07. 2005, no. 11. (In Russian)
14. Cervantes M., Meissner D. Commercialising Public Research under the Open Innovation Model: New Trends. *Foresight-Russia*, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 70–81.
15. Dahlgren E, Leung T. An optimal multiple stopping approach to infrastructure investment decisions. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2015; 53:251–267.
16. Greenspan A. Structural changes in the economy and financial markets. *Vital Speeches of the Day*. 2000; 5(67):130–134.
17. Halawa W., Abdelalim A., Elrashed I. Financial evaluation program for construction projects at the pre-investment phase in developing countries: A case study. *International Journal of Project Management*. 2013; 31(6):912–923.
18. Linton J., Vonortas N. From Research Project to Research Portfolio: Meeting Scale and Complexity. *Foresight-Russia*, 2015, vol. 9, no 2, pp. 38–43. DOI: 10.17323/1995-459x.2015.2.38.43
19. Towler G, Sinnott R. Economic Evaluation of Projects. *Chemical Engineering Design*. 2013; 2:389–429.
20. Wren C, Taylor J. Industrial restructuring and regional policy. *Oxford Economic Papers*. 1999; 51(3):487–516.

Сведения об авторах.

Мейланов Измет Максимович – директор филиала Дагестанского государственного технического университета в г. Дербенте.

Эсетова Аида Махмудовна – доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой мировой экономики.

Authors information.

Izmet M. Meilanov - Director of the Dagestan State Technical University in the city of Derbent.

Aida M. Esetova - Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of World Economy.

Конфликт интересов

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

Поступила в редакцию 27.06.2016.

Received 27.06.2016.

Принята в печать 20.08.2016.

Accepted for publication 20.08.2016.

Conflict of interest

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

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Верстка журнала осуществляется с электронных копий. Используется компьютерная обработка штриховых и полутооновых (в градациях серого) рисунков. Журнал изготавливается по технологии офсетной печати. В редакцию журнала необходимо представить:

- распечатку рукописи (2 экз.); распечатка должна представлять собой твердую копию файла статьи;
- электронную копию (допустима передача по электронной почте);
- экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати (1 экз.);
- справку об авторах и ее электронную копию (1 экз.);
- рекомендацию кафедры (отдела) к опубликованию (следует указать предполагаемую рубрику) (1 экз.);
- две рецензии от докторов наук; подписи рецензентов должны быть заверены по месту их работы;
- сопроводительное письмо (1 экз.) для сторонних авторов.

Правила оформления текста

Текст подготавливается в текстовом редакторе MicrosoftWord. Статья должна предусматривать разделы: «Введение», «Постановка задачи», «Методы исследования», «Обсуждение результатов», «Вывод» или «Заключение». Объем статьи не должен превышать 6-7 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий.

Формулы подготавливаются во встроенным редакторе формул MicrosoftWord или в редакторе MathType.

Шрифтовое начертание обозначений в формулах, в таблицах и в основном тексте должно быть полностью идентичным.

Ссылки на формулы и таблицы даются в круглых скобках, ссылки на использованные источники (литературу) - в квадратных скобках.

Формат бумаги А4. Параметры страницы: поля - левое 3 см, верхнее и нижнее 2 см, правое 1,5 см; колонтитулы отсутствуют.

Элементы заглавия публикуемого материала

- УДК/ББК
- Перечень авторов (разделяется запятыми, инициалы после фамилий, на русском и английском языке); выравнивание справа.
- Название статьи (на русском и английском языке).
- Аннотация (Abstract) – 100 - 250 слов или 850 знаков, характеризующих содержание статьи (на русском и английском языке).
- Ключевые слова (key words) 5-10 слов или словосочетаний, отражающих содержание статьи (на русском и английском языке).

Каждый элемент заглавия приводится, начиная с новой строки; выравнивание проводится по центру.

Основной текст

Шрифт TimesNewRoman 12 pt, выравнивание по ширине, первая строка с отступом 1,25 см, межстрочный интервал - 1.

Библиографический список

Строка с текстом «Библиографический список:». Библиографический список на русском языке выполняется по ГОСТ Р 7.0.5 - 2008.

Библиографический список должен составлять от 20 до 30 наименований источников литературы, среди которых от 40 -70 % ссылок на иностранные источники. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Обязательно цитирование современных работ, изданных по тематике статьи за последние 5 лет. Доля ссылок на статьи авторов рукописи, изданных ранее, не должна превышать 20% от общего количества ссылок.

Библиографический список обязательно должен быть переведен на английский язык. «References» должен быть составлен по стандарту The Harvard system of referencing.

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, краткую научную биографию (не более 5-6 строк), название и полный адрес места работы. Обязательно указывается адрес электронной почты.

Верстка формул

Формулы подготавливаются во встроенным 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.).

Верстка таблиц

Таблица состоит из следующих элементов: нумерационного заголовка (слова «Таблица» и ее номера арабскими цифрами); шапки (заголовочной части), включающей заголовки граф (объясняют значение данных в графах); боковика (первой слева графы) и прографки (остальных граф таблицы).

Требования к рецензированию и хранению рецензий научных статей, поступивших в редакцию журнала

Научная статья, поступившая в редакцию журнала, рассматривается ответственным редактором на соответствие тематике и направлениям журнала, правилам оформления и наличие сопроводительных документов.

Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, с целью их экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в редакции издания в течение 5 лет.

При поступлении соответствующего запроса редакция вправе направлять копии рецензий в Министерство образования и науки РФ.

План-график издания журнала

Выпуск 1 (март) – прием статей до 31 декабря предыдущего года;

Выпуск 2 (июнь) – прием статей до 31 марта текущего года;

Выпуск 3 (сентябрь) – прием статей до 30 июня текущего года;

Выпуск 4 (декабрь) – прием статей до 30 сентября текущего года.

Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются. Рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного текста статьи. Рукописи аспирантов публикуются бесплатно.

Адрес редакционного совета: 367030, РД, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, ФГБОУ ВО «ДГТУ», Учебно-лекционный корпус 2, редакция журнала «Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки». Технические вопросы можно выяснить по электронному адресу: vestnik.dgtu@mail.ru и по телефону 8(8722)62-39-64.

Министерство образования и науки РФ



ВЕСТНИК
ДАГЕСТАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
Махачкала, Том 42 – №3 – 2016.

HERALD
OF DAGESTAN STATE TECHNICAL UNIVERSITY.
TECHNICAL SCIENCES
Makhachkala, Volume 42, No.3, 2016.

Верстка: Исмаилова А.Р.

Адрес редакции:
367015, 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.dstu.ru/>

Layout: Aida R.Ismailova

Editorial address: 70, I. Shamil Ave., 367015, Makhachkala, the Republic of Daghestan
FSBEE HE «DSTU»
Tel./fax (8722)623715
(8722)623964

«БЕСПЛАТНО»

Подписано в печать 26.09.2016г. Сдано в печать 30.09.2016г.
Формат 60x84 1/8. Гарнитура «Times». Бумага офсетная
Тираж 500. Усл. п.л. 27,06 Уч. изд.л. 26,55
Заказ № 359

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Лотос»
367018. Республика Дагестан, г. Махачкала, пр-кт Петра I, 61.