Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»

All-russian public organization
«Russian Engineering Academy»

0+

НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ

(политехнический вестник)

SCIENCE. ENGINEERING. TECHNOLOGY

(polytechnical bulletin)

№ 3

2025

Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»

All-russian public organization
«Russian Engineering Academy»

НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ
(политехнический вестник)

2025, № 2

(печатная версия научного
мультидисциплинарного журнала
«Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник)»

https://id-yug.com/

Основан в 2013 г.

ISSN 2309-3250 (print) ISSN 2309-3269 (on-line)

Свидетельство о регистрации СМИ:
ПИ № ФС77-85591 от 17 июля 2023 г.
Эл № ФС77-85592 от 17 июля 2023 г.

Лицензионный договор Научная Электронная Библиотека (НЭБ)
(Российский индекс научного цитирования)
№ 446-07/2013 от 30 июля 2013 г.

———

SCIENCE. ENGINEERING. TECHNOLOGY
(polytechnical bulletin)

2025, № 2

(printing version of the scientific multidisciplinary magazine
«Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)»

https://id-yug.com/

It is founded in 2013.

ISSN 2309-3250 (print) ISSN 2309-3269 (on-line)

Certificate on registration of mass media:
ПИ № ФС77-85591 dated July 17, 2023.
Эл № ФС77-85592 dated July 17, 2023.

License contract Scientific Electronic Library (SEL)
(Russian index of scientific citing)
№ 446-07/2013 of July 30, 2013.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ---------- **EDITOR-IN-CHIEF**

БЕРЕЖНОЙ Сергей Борисович,
Действительный член (академик) Российской инженерной академии, доктор технических наук, профессор, директор, Краснодарский колледж управления, техники и технологий, Российская Федерация.

BEREZHNOY Sergey Borisovich,
Full Member (Academician) of the Russian Academy of Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director, Krasnodar College of Management, Technology and Technology, Russian Federation.

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:----------**DEPUTY CHIEF EDITORS:**

КАСЬЯНОВ Геннадий Иванович,
Действительный член (академик) Российской инженерной академии, доктор технических наук, профессор, Российская Федерация.

KASYANOV Gennady Ivanovich,
Full Member (Academician) of the Russian Academy of Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Federation.

ФОМЕНКО Олег Яковлевич,
Кандидат технических наук, доцент,
директор, ООО «Издательский Дом – Юг».

FOMENKO Oleg Yakovlevich,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Director of JSC «Publishing House – South».

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

АНТОНИАДИ Дмитрий Георгиевич,
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Нефтегазового дела имени профессора Г.Т. Вартумяна Института Нефти, газа и энергетики, Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация.

АТРОЩЕНКО Валерий Александрович,
Доктор технических наук, профессор, КВВУ им. С.М. Штеменко, Российская Федерация.

АХМЕДОВ Магомед Эминович,
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии пищевых производств, общественного питания и товароведения, Дагестанский государственный технический университет, Российская Федерация.

БЛЕДНОВА Жесфина Михайловна,
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении Института механики, робототехники, инженерии транспортных и технических систем, Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация.

ГУКАСЯН Александр Валерьевич,
Доктор технических наук, директор Института механики, робототехники, инженерии транспортных и технических систем, Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация.

ВИКТОРОВА Елена Павловна,
Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, заместитель председателя Учёного Совета, Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Российская Федерация.

ГЛАДИЛИН Александр Васильевич,
Доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и внешнеэкономической деятельности Института экономики и управления, Северо-Кавказский Федеральный университет, Российская Федерация.

ДОМБРОВСКИЙ Александр Николаевич,
Кандидат технических наук, доцент, председатель Попечительского совета Кубанского государственного технологического университета, научный редактор журнала «Бюджет», Российская Федерация.

ЗАПОРОЖСКИЙ Алексей Александрович,
Действительный член (академик) Российской инженерной академии, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биотехнологии и продуктов питания животного происхождения факультета биотехнологии и пищевых производств, Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация.

EDITORIAL COUNCIL:

ANTONIADI Dmitry Georgiyevich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Prof. G.T. Vartumyan Chair of Oil and Gas Engineering, Institute of Oil, Gas and Energy, Kuban State Technological University, Russian Federation.

ATROSHCHENKO Valery Aleksandrovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, S.M. Shtemenko KVVU, Russian Federation.

AKHMEDOV Magomed Eminovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Production Technology, Catering and Commodity Science, Dagestan State Technical University, Russian Federation.

BLEDNOVA Zhesfina Mikhaelovna,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Control Systems Engineering, Materials and Technologies in Mechanical Engineering, Institute of Mechanics, Robotics, Engineering of Transport and Technical Systems, Kuban State Technological University, Russian Federation.

GUKASYAN Alexander Valeryevich,
Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute of Mechanics, Robotics, Engineering of Transport and Technical Systems, Kuban State Technological University, Russian Federation.

VIKTOROVA Elena Pavlovna,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Deputy Chairman of the Academic Council, Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking», Russian Federation.

GLADILIN Alexander Vasilievich,
Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Economics and Foreign Economic Activity, Institute of Economics and Management, North Caucasus Federal University, Russian Federation.

DOMBROVSKY Alexander Nikolayevich,
Candidate of Technical Sciences, Chairman of the Board of Trustees of Kuban State Technological University, Scientific Editor of the journal «Budget», Russian Federation.

ZAPOROZHSKY Alexey Aleksandrovich,
Full Member (Academician) of the Russian Academy of Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Biotechnology and Food of Animal Origin, Faculty of Biotechnology and Food Production, Kuban State Technological University, Russian Federation.

ЗОЛОТОКОПОВА Светлана Васильевна,
Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой Технологии товаров и товароведения Института рыбного хозяйства, биологии и природопользования, Астраханский государственный технический университет, Российская Федерация.

ИБРАГИМОВ Рафик Салман оглы,
Кандидат технических наук, доцент кафедры Нефтегазовой инженерии, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Республика Азербайджан.

КАЗЕЕВ Камиль Шагидуллович,
Доктор географических наук, доктор биологических наук, профессор, директор Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Российская Федерация.

КОЛЕСНИКОВ Сергей Ильич,
Доктор сельскохозяйственных наук, кандидат географических наук, профессор, заведующий кафедрой Экологии и природопользования, Южный федеральный университет, Российская Федерация.

КОСТРОМИН Михаил Витальевич,
Доктор технических наук, профессор, член Российской инженерной академии, заместитель Академика – секретаря секции: геология, добыча и переработка полезных ископаемых, Российская инженерная академия, Российская Федерация.

ЛОЖКИН Виталий Петрович,
Доктор технических наук, профессор, Вице президент, Действительный член Российской инженерной академии, руководитель Калининградского отделения РИА, Российская Федерация.

МАХСУМОВ Илхом Бурхонович,
Кандидат технических наук, заведующий кафедрой Альтернативных источников энергии, Институт энергетики Таджикистана, Республика Таджикистан.

МУСТАФАЕВА Рена Эльдар кызы,
Кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры Нефтехимической технологии и промышленной экологии, Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, Республика Азербайджан.

ОЛЬХОВАТОВ Егор Анатольевич,
Действительный член (академик) Российской инженерной академии, ученый секретарь Кубанского отделения, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой факультета пищевых технологий, Кубанский государственный аграрный университет, Российская Федерация.

ПОЛИДИ Александр Анатольевич,
Доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры цифровой экономики Института цифровой экономики и инноваций, Кубанский государственный аграрный университет, директор АНО «Краснодарский институт экономики роста им. Столыпина П. А.» Российская Федерация.

ZOLOTOKOPOVA Svetlana Vasilievna,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Commodity Technology and Commodity Management, Institute of Fisheries, Biology and Nature Management, Astrakhan State Technical University, Russian Federation.

IBRAHIMOV Rafik Salman oglu,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering, Azerbaijan State University of Oil and Industry, Republic Azerbaijan.

KAZEEV Kamil Shagidullovich,
Doctor of Geographical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Russian Federation.

KOLESNIKOV Sergey Ilyich,
Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Southern Federal University, Russian Federation.

KOSTROMIN Mikhail Vitalievich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Engineering, Deputy Academician – Secretary of Section: Geology, Mining and Mineral Processing, Russian Academy of Engineering, Russian Federation.

LOZHKIN Vitaly Petrovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice President, Full Member of Russian Engineering Academy, Head of Kaliningrad Branch of REA, Russian Federation.

MAKHSUMOV Ilhom Burkhonovich,
Candidate of Technical Sciences, Head of the Department Alternative Energy Sources, Institute of Energy of Tajikistan, Republic of Tajikistan.

MUSTAFAYEVA Rena Eldar gizi,
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Petrochemical Technology and Industrial Ecology, Azerbaijan State University of Oil and Industry, Republic of Azerbaijan.

OLKHOVATOV Egor Anatolievich,
Full member (academician) of the Russian Academy of Engineering, scientific secretary of the Kuban branch, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of technology for storage and processing of plant-growing faculty of food technologies, Kuban State Agrarian University, Russian Federation.

POLIDI Alexander Anatolyevich,
Doctor of Economics, Professor, Professor, Department of Digital Economics, Institute of Digital Economics and Innovation, Kuban State Agrarian University, Director of the Krasnodar Institute for Growth Economics named after P. A. Stolypin. Russian Federation.

ПУНАНОВА Светлана Александровна,
Доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа (ИПНГ) Российской Академии Наук, Российская Федерация.

САВЕНОК Ольга Вадимовна,
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Санкт-Петербургский горный университет, Российская Федерация.

САЖИН Виктор Борисович,
Доктор технических наук, профессор, Член Президиума Российской инженерной академии, Российская инженерная академия, Российская Федерация.

САУРИН Василий Васильевич,
Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН), Российская Федерация.

СЕКИСОВ Александр Николаевич,
Действительный член (академик) Российской инженерной академии, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры строительного производства архитектурно-строительного факультета, Кубанский государственный аграрный университет, Российская Федерация.

СМЕЛЯГИН Анатолий Игоревич,
Доктор технических наук, профессор, руководитель центра коллективного пользования «Исследовательский центр машиностроения, материаловедения и конструкций», Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация.

ТРУФЛЯК Евгений Владимирович,
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Эксплуатации и технического сервиса, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Российская Федерация.

ТУЛЕШОВ Амандык Куатович,
Доктор технических наук, профессор, заведующий Лабораторией интеллектуальных роботехнических систем, Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова, Республика Казахстан.

УРТЕНОВ Махамет Али Хусеевич,
Доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры Прикладной математики, Кубанский государственный университет, Российская Федерация.

УДОДОВ Сергей Алексеевич,
Член президиума Российской инженерной академии, руководитель Кубанского отделения, кандидат технических наук, доцент, директор по научно-техническому сопровождению ООО «Центр развития строительных технологий», Российская Федерация.

PUNANOVA Svetlana Aleksandrovna,
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Scientific Associate, Institute of Oil and Gas Problems (IPNG) of Russian Academy of Sciences, Russian Federation.

SAVENOK Olga Vadimovna,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Development and Operation of Oil and Gas Fields, St. Petersburg Mining University, Russian Federation.

SAZHIN Victor Borisovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Member of the Presidium of the Russian Engineering Academy, Russian Academy of Engineering, Russian Federation.

SAURIN Vasily Vasilyevich,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, Institute of Mechanics Problems of A.Y. Ishlinsky of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation.

SEKISOV Alexander Nikolaevich,
Full member (academician) of the Russian Academy of Engineering, candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of the department of construction production of the Faculty of Architecture and Civil Engineering, Kuban State Agrarian University, Russian Federation.

SMELYAGIN Anatoly Igorevich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Center for Collective Use «Research Center of Mechanical Engineering, Material Science and Constructions», Kuban State Technological University, Russian Federation.

TRUFLYAK Evgeny Vladimirovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Operation and Technical Service, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Russian Federation.

TULESHOV Amandyk Kuatovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Intelligent Robotic Systems, Institute of Mechanics and Machine Science named after U.A. Joldasbekov, Republic of Kazakhstan.

URTENOV Makhamet Ali Khuseevich,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of Applied Mathematics Department, Kuban State University, Russian Federation.

UDODOV Sergey Alekseevich,
Member of the Presidium of the Russian Academy of Engineering, head of the Kuban branch, candidate of technical sciences, associate professor, director for scientific and technical support of LLC Center for the Development of Construction Technologies, Russian Federation.

ЧЕЛНОКОВ Виталий Вячеславович,
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Логистики и экономической информатики, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Российская Федерация.

ЧЕШЕВ Анатолий Степанович,
Доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры Землепользования и землеустройства Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А.К. Кортунова, Донской государственный аграрный университет.

ШАЗЗО Аслан Юсуфович,
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Пищевой инженерии факультета биотехнологии и пищевых производств, Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация.

ШАПОШНИКОВА Татьяна Леонидовна,
Доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Института фундаментальных наук, директор технопарка «Квант Кубань-КубГТУ», Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация.

ШИПУЛИН Валентин Иванович,
Доктор технических наук, профессор, заведующий базовой кафедрой технологии мяса и мясных продуктов факультета пищевой инженерии и биотехнологий имени академика А.Г. Храмцова, Северо-Кавказский федеральный университет, Российская Федерация.

ЯКУБОВ Салимжон Иминжанович,
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт общей и неорганической химии Академии Наук Республики Узбекистан, Республика Узбекистан.

ЯСЬЯН Юрий Павлович,
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии нефти и газа Института нефти, газа и энергетики, Кубанский государственный технологический университет, Российская Федерация.

CHELNOKOV Vitaly Vyacheslavovich,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Logistics and Economic Informatics, Russian University of Chemical Technology of D.I. Mendeleev, Russian Federation.

CHESHEV Anatoly Stepanovich,
Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Land Use and Land Management of the A.K. Kortunov Novocherkassk Reclamation Engineering Institute, Don State Agrarian University.

SHAZZO Aslan Yusufovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering, Faculty of Biotechnology and Food Production, Kuban State Technological University, Russian Federation.

SHAPOSHNIKOVA Tatiana Leonidovna,
Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Physics, Institute of Fundamental Sciences, Director of Technopark «Quantum Kuban-KubGTU», Kuban State Technological University, Russian Federation.

SHIPULIN Valentin Ivanovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Basic Department of Meat and Meat Products Technology, Faculty of Food Engineering and Biotechnology named after Academician A.G. Khramtsov, North Caucasus Federal University, Russian Federation.

YAKUBOV Salimjon Iminjanovich,
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Republic of Uzbekistan.

YASYAN Yuriy Pavlovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Technology, Institute of Oil, Gas and Power Engineering, Kuban State Technological University, Russian Federation.

УЧРЕДИТЕЛЬ ---------- **FOUNDER**

ООО «Издательский Дом – Юг» JSC «Publishing House – South»

АДРЕС РЕДАКЦИИИ ИЗДАТЕЛЯ:

Российская Федерация,
350072, Краснодарский край,
г. Краснодар, ул. Зиповская 9,
литер «Г», оф. 41/3

ADDRESS OF EDITION AND PUBLISHER:

Russian Federation,
350072, Krasnodar Krai,
Krasnodar, Zipovskaya St., 9,
letters «G», office 41/3

ЗАВЕДУЮЩИЙ РЕДАКЦИЕЙ

Фоменко Олег Яковлевич
Тел.: +7(918) 41-50-571

MANAGER OF EDITION

Fomenko Oleg Yakovlevich
Ph.: +7(918) 41-50-571

e-mail: id-yug@id-yug.com

ДИРЕКТОР ИЗДАТЕЛЬСТВА

Фоменко Олег Яковлевич
Тел.: +7(918) 41-50-571

DIRECTOR OF PUBLISHING HOUSE

Fomenko Oleg Yakovlevich
Ph.: +7(918) 41-50-571

e-mail: id-yug@id-yug.com

https://id-yug.com/

ОГЛАВЛЕНИЕ / CONTENTS

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
TECHNICAL SCIENCES

Вахромеева Е.А.
Использование композитных материалов
при усилении железобетонных конструкций 15

Vakhromeeva E.A.
Modern trends in the design of beam structures

Долгополов В.Е., **Бородин Д.В.**, **Байсара И.А.**
Сравнительный анализ статически определимых и неопределимых рам 19

Dolgopolov V.E., **Borodin D.V.**, **Baysara I.A.**
Comparative analysis of statically determinate and indeterminate frames

Долгополов В.Е., **Гежина С.В.**
Сравнительный анализ прочности по наклонным сечениям фибробетона
и армированного бетона на примере ригеля 22

Dolgopolov V.E., **Gezhina S.V.**
Comparative analysis of the strength of inclined sections of fibrocrete
and reinforced concrete using the example of a bolt

Долгополов В.Е., **Коновалов А.А.**
Фермы в строительстве 26

Dolgopolov V.E., **Konovalov A.A.**
Trusses in construction

Коновалова Т.В., **Надирян С.Л.**, **Леонова И.О.**, **Тыргалов К.В.**
Комплексный подход к выбору подвижного состава
для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов 31

Konovalova T.V., **Nadiryan S.L.**, **Leonova I.O.**, **Tyrgalov K.V.**
An integrated approach to the selection of rolling stock
for the transportation of large-sized and heavy cargo

Коновалова Т.В., **Надирян С.Л.**, **Леонова И.О.**, **Андрюшенков Д.С.**
Обоснование эксплуатации экологически чистого грузового транспорта 35

Konovalova T.V., **Nadiryan S.L.**, **Leonova I.O.**, **Andryushenkov D.S.**
Justification of the operation of environmentally friendly freight transport

Надирян С.Л., **Коновалова Т.В.**, **Тыргалов К.В.**, **Андрюшенков Д.С.**
Влияние кадровой политики транспортно-экспедиционной компании
на ее эффективность 39

Nadiryan S.L., **Konovalova T.V.**, **Tyrgalov K.V.**, **Andryushenkov D.S.**
The impact of the HR policy
of a freight forwarding company on its efficiency

Ольховатов Е.А., **Храпко О.П.**, **Сымулов В.О.**
Модификация функциональных технологических свойств белка
для стабилизации пищевых систем 43

Olkhovatov E.A., **Khrapko O.P.**, **Symulov V.O.**
Modification of functional technological properties
of protein to stabilize food systems

Попкова А.С., **Брагин Д.М.**, **Зинина С.А.**
Экспериментальное исследование эффективной теплопроводности материалов, основанных на трижды периодической минимальной поверхности GYROID 47

Popkova A.S., **Bragin D.M.**, **Zinina S.A.**
Experimental study of the effective thermal conductivity of materials based on the triply periodic minimal surface GYROID

Попов А.И., **Брагин Д.М.**, **Зинина С.А.**, **Мустафин Р.М.**, **Кечин Н.Н.**
Исследование теплообменного устройства на основе трижды периодической минимальной поверхности шварца PRIMITIVE 52

Popov A.I., **Bragin D.M.**, **Zinina S.A.**, **Mustafin R.M.**, **Kechin N.N.**
Investigation of a heat exchange device based on a thrice periodic minimum schwarz surface PRIMITIVE

Прокопцова Н.С.
Металлические конструкции в системах водоподведения и водоотведения 59

Prokoptsova N.S.
Metal structures in water supply and drainage systems

Финагенов А.В.
Сварка в металлических конструкциях 62

Finagenov A.V.
Welding in metal structures

Финагенова Н.В.
BIM и цифровые технологии в проектировании металлических конструкций 66

Finagenova N.V.
BIM and Digital Technologies in the Design of Metal Structures

Хорошев А.А., **Прокопцова Н.С.**, **Карапыш А.О.**
Особенности проектирования железобетонных конструкций в сейсмических районах 69

Khoroshev A.A., **Prokoptsova N.S.**, **Karapysh A.O.**
Features of designing reinforced concrete structures in seismic areas

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

SCIENCES ABOUT THE EARTH

Березовский Д.А.
Повышение эффективности разработки Сеноманской залежи нефтегазоконденсатного месторождения путём анализа динамики изменения положения газоводяного контакта 75

Berezovsky D.A.
Increasing the efficiency of development of the Cenomanian oil and gas condensate field by analyzing the dynamics of changes in the position of the gas-water contact

Вартаваньян А.А., **Брябрин А.О.**,
Магомедов Ш.М., **Тихонов Т.А.**, **Олейникова Л.А.**
Погрешности в геодезических измерениях и методы их минимизации на практике 97

Vartavanyan A.A., **Bryabrin A.O.**,
Magomedov Sh.M., **Tikhonov T.A.**, **Oleinikova L.A.**
Errors in geodetic measurements and methods of their minimization in practice

Горпинченко А.Н., **Поварова Л.В.**
Анализ методов борьбы с коррозионной агрессией
в условиях Ачимовских отложений
Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения 101

Gorpinchenko A.N., **Povarova L.V.**
Analysis of methods in combating corrosion aggression
on the Achimov deposits of the Urengoy oil and gas condensate field

Ибрагимов Р.С., **Бахшалиуева Ш.О.**, **Махмудова В.З.**
Причина поглощений и потерь циркуляции бурового раствора
на нефтяных площадях Азербайджана 114

Ibragimov R.S., **Bakhshaliueva Sh.O.**, **Makhmudova V.Z.**
The cause of absorption and circulation losses
of drilling mud in the oil fields of Azerbaijan

Кочкин А.А., **Тихонов Т.А.**,
Грибкова И.С., **Вартаваньян А.А.**, **Магомедов Ш.М.**
Геодезия в повседневной жизни – где встречаются с ее результатами 119

Kochkin A.A., **Tikhonov Timofey A.**,
Gribkova I.S., **Vartavanyan A.A.**, **Magomedov Sh.M.**
Geodesy in everyday life – where its results are encountered

Петрушин Е.О., **Григулецкий В.Г.**
Обоснование методики увеличения добычи нефти
за счёт оптимизации работы высокообводнённого фонда скважин 124

Petrushin E.O., **Griguletsky V.G.**
Substantiation of the method of increasing oil production
by optimizing the operation of highly watered wells

Петрушин Е.О., **Григулецкий В.Г.**
Применение характеристик вытеснения для определения извлекаемых
запасов нефти по объекту D_3fmIII+IV нефтяного месторождения
Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции 143

Petrushin E.O., **Griguletsky V.G.**
Application of displacement characteristics
to determine recoverable oil reserves for the D_3fmIII+IV
oil field of the Timan-Pechora oil and gas province

Степанов Р.И.
Исследование текущего состояния нефтеотдачи Мезозойской залежи
месторождения им Ю. Корчагина и геолого-технические мероприятия
по поддержанию добычи нефти и газа 153

Stepanov R.I.
Study of the current state of oil recovery of the Mesozoic reservoir
of the Yu. Korchagin field and geological and technical measures
to maintain oil and gas production

Степанова О.А., **Вартаваньян А.А.**,
Магомедов Ш.М., **Тихонов Т.А.**, **Олейникова Л.А.**
Аэрофотоснимок и ортофотоснимок.
Сферы применения и различия между ними 157

Stepanova O.A., **Vartavanyan A.A.**,
Magomedov Sh.M., **Tikhonov T.A.**, **Oleynikova L.A.**
Aerial photograph and orthophotograph.
Spheres of application and differences between them

Тихонов Е.В.
К вопросу о прогнозировании вязкости буровых растворов
в скважинных условиях 161

Tikhonov E.V.
On the question of predicting the viscosity of drilling fluid
in borehole conditions

Тихонов Е.В.
К вопросу повышения качества вскрытия продуктивных пластов
за счёт применения буровых растворов
на основе полианионной целлюлозы 165

Tikhonov E.V.
On the question of improving the quality of productive formation
discovery by using drilling muds based on polyanionic cellulose

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

•••••••

TECHNICAL SCIENCES

УДК 69.07

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УСИЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

♦♦♦♦♦

MODERN TRENDS IN THE DESIGN OF BEAM STRUCTURES

Вахромеева Екатерина Алексеевна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
dinner2002@mail.ru

Аннотация. Композитные материалы находят все более широкое применение в строительстве благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая прочность, легкость, коррозионная стойкость и долговечность. С помощью композитных материалов можно надежно укрепить ослабленные временем или поврежденные конструкции, повысить несущую способность балок, колонн, плит перекрытия. В данной статье рассматривается вопрос применения композитных материалов при проведении работ по усилению и реконструкции железобетонных строительных конструкций.

Ключевые слова: композитные материалы, усиление железобетонных конструкций, полимерный композит.

Vakhromeeva Ekaterina Alekseevna
Student,
Kuban State Technological University
dinner2002@mail.ru

Annotation. Composite materials are increasingly being used in construction due to their unique properties such as high strength, lightness, corrosion resistance and durability. Composite materials can be used to reliably strengthen structures weakened by time or damaged, and to increase the load-bearing capacity of beams, columns, and floor slabs. This article discusses the use of composite materials in the reinforcement and reconstruction of reinforced concrete building structures.

Keywords: composite materials, reinforcement of reinforced concrete structures, polymer composite.

Композитный материал – твердый продукт, состоящий из двух или более материалов, отличных друг от друга по форме или фазовому состоянию, или химическому составу, или свойствам, скрепленных, как правило, физической связью и имеющих границу раздела между обязательным материалом (матрицей) и ее наполнителями, включая армирующие наполнители [1, с. 1].

Матрица полимерного композита – структура, обеспечивающая цельность полимерного композита. Она отвечает за передачу и распределение напряжений в армирующем наполнителе и определяет термостойкость, влагостойкость, огнестойкость и химическую стойкость полимерного композита.

Для улучшения физико-механических свойств полимерного композита используется армирующий наполнитель. Основные виды армирующих наполнителей:

Стеклянное волокно – образовано из расплава неорганического стекла. Соответственно, полимерный композит, содержащий непрерывный армирующий наполнитель из стекловолокна, называется стеклокомпозит.

Базальтовое волокно, образуемое из расплава базальта или габродиабаза, служит основой базальтокомпозита.

Углеродное волокно или углеволокно изготавливается путем пиролиза органических волокон прекурсоров и содержащее не менее 90% массы углерода входит в состав, соответственно, углекомпозитов.

Арамидное волокно – волокно, образованное из линейных волокнообразующих полиамидов, в которых не менее 85 % амидных групп непосредственно связано с двумя ароматическими кольцами [2, с. 216]. Следовательно, арамидокомпозит – полимерный композит, содержащий непрерывный армирующий наполнитель из арамидного волокна.

Помимо вышеперечисленных видов существуют также комбинированные полимерные композиты.

Усиление железобетонных конструкций внешним армированием с использованием композитных материалов применяется в ряде случаев:

1. При изменении назначения здания или увеличении нагрузки на конструкцию с целью увеличения несущей способности могут быть использованы композитные материалы. Это позволяет набрать необходимую прочность и жесткость элементов.

2. Использование железобетонных конструкций, усиленных полимерными композитами, в районах с высокой сейсмической активностью способствует улучшению распределения нагрузок и предотвращению разрушений, что может повысить устойчивость к землетрясениям.

3. Внешнее армирование позволяет улучшить устойчивость и предотвратить деформации. Это особенно эффективно для зданий и сооружений, подверженных ветровым или другим боковым нагрузкам.

4. Для зданий и сооружений, конструктивные способности которых недостаточны или были снижены ввиду большого срока эксплуатации актуально применять усиленные композитными материалами балки и плиты с повышенной прочностью на изгиб и сжатие [3, с. 20].

5. Внешнее армирование может компенсировать недостатки, возникшие из-за ошибок, допущенных на этапе проектирования.

6.В условиях высокой влажности или агрессивной химической среды, например, в промышленных зданиях, композитные материалы могут использоваться для защиты от коррозии и увеличения срока службы конструкций.

7. Для зданий и сооружений с большим сроком эксплуатации, у которых несущая способность фундамента ограничена, использование легких композитов позволяет уменьшить общий вес конструкции без потери прочности.

8. Для повышения прочности колонн на сжатие и устойчивости к боковым нагрузкам они могут быть обмотаны композитными волокнами.

9. В рамках модернизации мостов, тоннелей и других инфраструктурных объектов часто применяются композитные материалы для усиления несущих элементов без необходимости полной реконструкции.

Рассмотрим основные способы усиления железобетонных конструкций с использованием композитных материалов:

Наклеивание композитных полос: углеродные или стеклопластиковые полосы наклеиваются на поверхность железобетонных элементов (балок, колонн, плит) с помощью специального клея, тем самым значительно увеличивается прочность на изгиб и сжатие.

Обмотка композитными волокнами в виде спирали или по другим схемам. Этот метод особенно эффективен для повышения прочности на сжатие и устойчивости к боковым нагрузкам.

Вставка композитных стержней. Этот метод предполагает введение композитных стержней или арматуры в существующие железобетонные элементы, тем самым увеличивается несущая способность конструкции без значительного увеличения веса [4, с. 4].

Использование композитных плит, которые могут быть установлены на верхнюю или нижнюю поверхность железобетонных элементов для увеличения их жесткости и прочности.

Усиление с помощью инъекций, то есть введение инъекции полимеров в трещины и пустоты в бетоне, что помогает восстановить прочность и предотвратить дальнейшее разрушение.

Комбинированные методы, например, сочетание наклеивания полос и обмотки волокнами для достижения максимального эффекта.

Усиление при помощи предварительного напряжения для создания дополнительных усилий в конструкции, что позволяет улучшить ее характеристики.

Использование композитов в качестве внешней арматуры для повышения прочности на растяжение, что особенно актуально для балок и плит.

Композитные материалы обладают высокой прочностью на растяжение и жесткость, что позволяет значительно увеличить несущую способность конструкций. Они легче традиционных материалов, а значит их использование позволяет уменьшить

общий вес конструкции и снизить нагрузки на фундамент. Эффективно композиты работают и в агрессивных средах, так как не подвергаются коррозии [5, с. 67]. Ввиду длительного срока службы полимерных композитов снижается необходимость в частом ремонте, так как они дольше сохраняют свои свойства.

Усиление конструкций композитными материалами, как правило, менее трудоемко, требует меньше времени по сравнению с традиционными методами, что минимизирует время простоя.

Композитные материалы могут быть адаптированы к различным формам и размерам конструкций, что позволяет использовать их в самых разных проектах.

Однако стоит отметить, что первоначальные затраты на композитные материалы могут быть выше по сравнению с традиционными методами усиления [6, с. 15]. Помимо этого, для достижения максимальной эффективности требуется высококвалифицированный монтаж, что может потребовать дополнительных затрат на обучение или привлечение специалистов. В случае повреждения композитных материалов их ремонт может быть сложнее и дороже по сравнению с традиционными материалами.

Еще одним недостатком усиления железобетонных конструкций композитными материалами является чувствительность таких материалов к ультрафиолетовому излучению [7, с. 13]. Некоторые композитные материалы могут быть подвержены разрушению под воздействием ультрафиолетового излучения, если не защищены специальными покрытиями.

Хотя композиты имеют высокую прочность, долгосрочные данные о их поведении в различных условиях эксплуатации все еще ограничены по сравнению с традиционными материалами.

Таким образом, использование композитных материалов для усиления железобетонных конструкций имеет множество преимуществ, которые делают этот метод привлекательным для многих проектов. Отметим также универсальность применения внешнего армирования из композитных материалов в строительстве и его эффективность в решении различных задач по усилению железобетонных конструкций. Однако необходимо учитывать и недостатки, чтобы принимать обоснованные решения при выборе методов усиления конструкций.

Литература

1. ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. – М. : Стандартформ, 2006.
2. Альзурфи М.К.А. Армирование композитными материалами для защиты от продавливания узла «Железобетонная плита-колонна» / М.К.А. Альзурфи, А.Н. Леонова, А.А. Хорошев // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 4(112). – С. 214–226.
3. Леонова А.Н. Современные методы усиления горизонтальных несущих конструкций углеволокном / А.Н. Леонова, Б.С. Бибиков // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 8. – С. 16–21.
4. СП164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
5. Леонова А.Н. Особенности усиления строительных конструкций композитными полимерными материалами в условиях высоких и низких температур / А.Н. Леонова, О.Д. Софьяников, Т.В. Кривенкова // Перспективы науки. – 2019. – № 5(116). – С. 64–69.
6. Полищук А.С. Применение композитных материалов при усилении железобетонных конструкций // Вестник магистратуры. – 2019. – № 4-2(91).
7. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 1. Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций / И.Г. Овчинников [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2012. – № 4(13).

References

1. GOST 31938-2012. Composite polymer reinforcement for reinforcement of concrete structures. – M. : Standartform, 2006.
2. Alzurfi M.K.A. Reinforcement with composite materials to protect against penetration of the Reinforced concrete slab-column assembly / M.K.A. Alzurfi, A.N. Leonova, A.A. Khoroshev // Engineering Bulletin of the Don. – 2024. – № 4(112). – P. 214–226.

3. Leonova A.N. Modern methods of reinforcing horizontal load-bearing structures with carbon fiber / A.N. Leonova, B.S. Bibikov // The electronic network political journal «Scientific works of KubSTU». – 2020. – № 8. – P. 16–21.
4. SP164.1325800.2014 Reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. Design rules.
5. Leonova A.N. Features of reinforcement of building structures with composite polymer materials at high and low temperatures / A.N. Leonova, O.D. Safyannikov, T.V. Krivenkova // Prospects of Science. – 2019. – № 5(116). – P. 64–69.
6. Polishchuk A.S. Application of composite materials in reinforcement of reinforced concrete structures // Bulletin of Magistracy. – 2019. – № 4-2(91).
7. Issues of reinforcement of reinforced concrete structures with composites: 1. Experimental studies of the features of reinforcement of bent reinforced concrete structures with composites / I.G. Ovchinnikov [et al.] // Bulletin of Eurasian Science. – 2012. – № 4(13).

УДК 624.07

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМЫХ И НЕОПРЕДЕЛИМЫХ РАМ

♦♦♦♦♦

COMPARATIVE ANALYSIS OF STATICALLY DETERMINATE AND INDETERMINATE FRAMES

Долгополов Василий Евгеньевич
старший преподаватель
кафедры архитектуры
гражданских и промышленных зданий имени А.В. Титова,
Кубанский государственный
технологический университет
dolgopolov_v@icloud.com

Бородин Дмитрий Васильевич
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
dmitriy-borodin-2004@mail.ru

Байсара Ирина Андреевна
студентка,
Кубанский государственный
технологический университет
boysar.i@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются статически определимые и неопределимые рамы, приведены примеры их решения. В заключении проведено сравнение систем на основе примеров.

Ключевые слова: статически определимая система, статически неопределимая система, степень статической неопределимости, рамы, эпюры, изгибающий момент.

Dolgopolov Vasily Evgenievich
Senior lecturer at the Department
of Architecture of Civil and Industrial
Buildings named after A.V. Titov,
Kuban State Technological University
dolgopolov_v@icloud.com

Borodin Dmitry Vasilyevich
Student,
Kuban State Technological University
dmitriy-borodin-2004@mail.ru

Baysara Irina Andreevna
Student,
Kuban State Technological University
boysar.i@yandex.ru

Annotation. The article considers statically determinate and indeterminate frames, provides examples of their solution. In conclusion, a comparison of systems based on examples is made.

Keywords: statically determinate system, statically indeterminate system, degree of static indeterminacy, frames, diagrams, bending moment.

Рамы представляют собой стержневые системы из прямолинейных элементов преимущественно с жесткими соединениями в узлах, нагруженные поперечными или узловыми нагрузками [1, с. 22].

По статическому признаку строительные сооружения можно разделить на статически определимые и статически неопределимые. К статически определимым относят те, у которых все опорные реакции, внутренние силы и моменты можно определить из уравнений статического равновесия. У статически неопределимых дополнительно необходимо использовать уравнения совместности деформаций, так как для вычисления всех опорных реакций и внутренних усилий уравнений статики недостаточно [1, с. 20].

Степенью статической неопределимости называется разность n между числом неизвестных внутренних силовых факторов, опорных реакций и числом независимых уравнений статики [2].

Рассмотрим различия статически определимой и неопределимой рам. Для объективности сравнения примем размеры и нагрузки одинаковыми в первом и во втором случае.

Рассмотрим статически определимую раму:

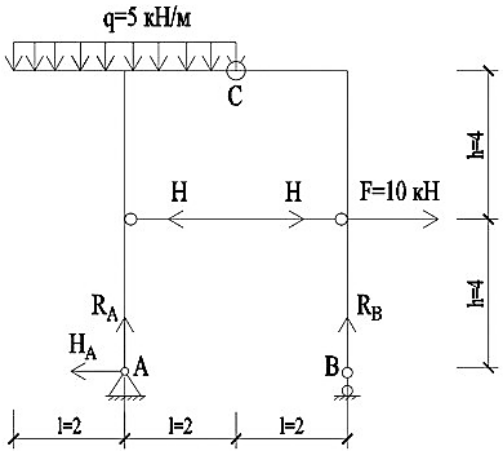


Рисунок 1 – Статически определимая распорная система

1. Рассчитаем заданную распорную систему и найдем неизвестные:

Ra = 10 кН; Rb = 10 кН; H = 15 кН; Ha = 10 кН.

2. Строим эпюру моментов:

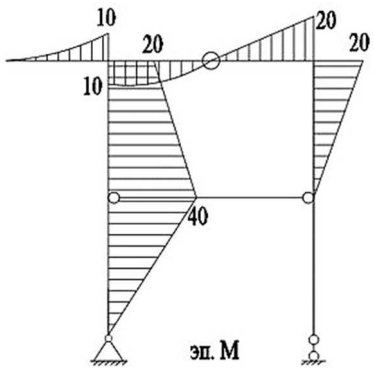


Рисунок 2 – Эпюра моментов статически определимой рамы

Рассмотрим статически неопределимую раму:

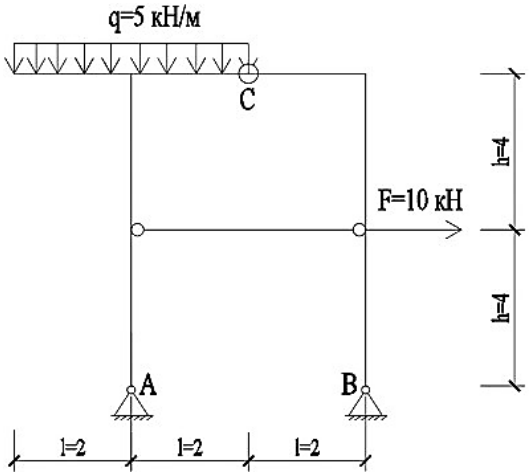


Рисунок 3 – Статически неопределимая распорная система

1. Определим степень статической неопределимости рамы:

$$n = 3к\text{-}ш = 2 \cdot 3 – 5 = 1.$$

2. Строим единичную и грузовую эпюры изгибающих моментов в основной системе метода сил:

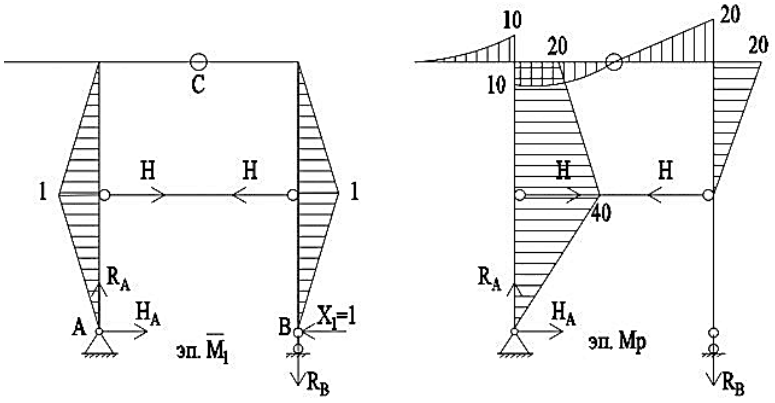


Рисунок 4 – Единичная и грузовая эпюры изгибающих моментов в основной системе метода сил

1. Решаем каноническое уравнение метода сил и строим окончательную эпюру $M_{ок}$:

$$\delta_{11} \cdot x_1 + \Delta_{1p} = 0.$$

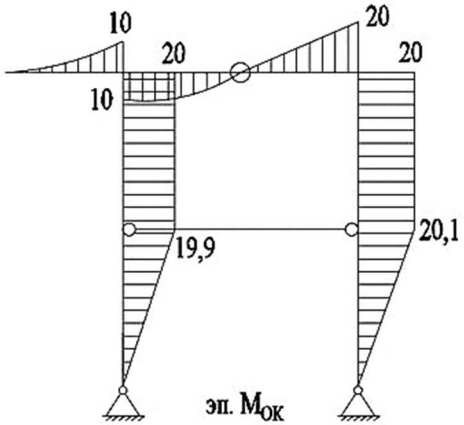


Рисунок 5 – Эпюры изгибающих моментов в основной системе метода сил

Рассмотрев оба случая, можно сделать вывод:

В статически неопределимой системе распространение возникающих внутренних усилий распределяется более равномерно, задействуя все элементы конструкции. Кроме того, максимальный изгибающий момент в статически неопределимой системе меньше, то сечение двутавра в качестве опорного стержня будет меньшего размера, что экономически является более выгодным по сравнению с статически определимой системой.

Литература

1. Молдаванов С.Ю. Строительная механика в примерах и задачах. – Ч. 1: Расчет стати чески определимых шарнирно-стержневых систем : учеб. пособие / С.Ю. Молдаванов, В.Е. Долгополов. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2020. – 368 с.
2. Зубчанинов В.Г. Сопротивление материалов : учеб. пособие. – 2-е изд. – Тверь : ТГТУ, 2005. – Кн. 2. – 352 с.

References

1. Moldavanov S.Yu. Structural mechanics in examples and problems. – Part 1: Calculation of statically determinate hinge-rod systems : textbook / S.Yu. Moldavanov, V.E. Dolgopolov. – Krasnodar : Publ. FGBOU VO «KubSTU», 2020. – 368 p.
2. Zubchaninov V.G. Strength of materials : textbook. – 2nd edition. – Tver : TSTU, 2005. – Book 2. – 352 p.

УДК 69.04

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ПО НАКЛОННЫМ СЕЧЕНИЯМ ФИБРОБЕТОНА И АРМИРОВАННОГО БЕТОНА НА ПРИМЕРЕ РИГЕЛЯ

♦♦♦♦♦

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRENGTH OF INCLINED SECTIONS OF FIBROCRETE AND REINFORCED CONCRETE USING THE EXAMPLE OF A BOLT

Долгополов Василий Евгеньевич
старший преподаватель
кафедры архитектуры
гражданских и промышленных зданий имени А.В. Титова,
Кубанский государственный
технологический университет
dolgopolov_v@icloud.com

Гежина София Владимировна
студентка 3 курса направления «Строительство»,
Кубанский государственный
технологический университет
karakulyak@gmail.com

Аннотация. В статье приведен анализ и сравнительные вычисления характеристик прочности армированного бетона и фибробетона, в частности, углеродного бетона, на примере загруженного ригеля (неразрезной балки) многопролетного здания.

Ключевые слова: фибробетон, железобетон, неразрезная балка, ригель.

Dolgopolov Vasily Evgenievich
Senior lecturer at the Department
of Architecture of Civil and Industrial
Buildings named after A.V. Titov,
Kuban State Technological University
dolgopolov_v@icloud.com

Gezhina Sofia Vladimirovna
3rd year Student
in the field of «Construction»,
Kuban State Technological University
karakulyak@gmail.com

Annotation. The article provides an analysis and comparative calculations of the strength characteristics of reinforced concrete and fibrocrete, in particular, carbon concrete, using the example of a loaded crossbar (continuous beam) of a multi-span building.

Keywords: fibrocrete, reinforced concrete, continuous beam, crossbar.

Современное строительство постоянно ищет пути для повышения прочности и долговечности конструкций, и одним из таких направлений является применение новых строительных материалов. Углеродистый фибробетон – это инновационный материал, который привлекает внимание благодаря своим уникальным свойствам, однако его использование на практике пока что ограничено. В отличие от него, железобетон уже много десятилетий является стандартом в строительстве благодаря своей надежности и широкому распространению [1]. Железобетон зарекомендовал себя как идеальный строительный материал для создания прочных и устойчивых конструкций. Его использование распространилось по всему миру, и он доказал свою эффективность в самых различных условиях. Тем не менее, разработка новых технологий и материалов, таких как углеродистый фибробетон, открывает новые горизонты для архитекторов и инженеров.

Чтобы выяснить, на сколько целесообразно по механическим свойствам, а конкретнее – прочности по сечениям, наклонным к продольной оси, использовать новый материал – фибробетон с применение углеродных волокон – по сравнению с железобетоном, рассмотрим ригель многопролетного многоэтажного здания в виде неразрезной балки.

Зададимся начальными значениями и конструктивной схемой здания (рис. 1).

Общие значения для вычисления (рис. 2):

– Ширина ригеля: b = 0,2 м;
– Высота ригеля: $h_0 = 0{,}54$;
– Ширина колонны: $h_{col} = 0{,}4$ м;
– Полная расчетная нагрузка на ригель: q = 100 кН/м;

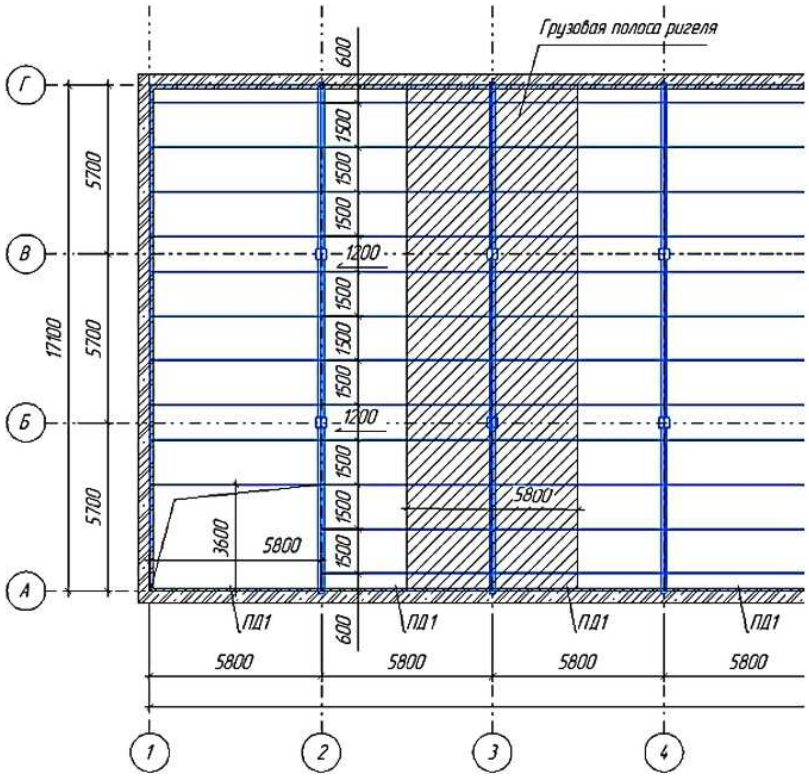


Рисунок 1 – Конструктивная схема здания

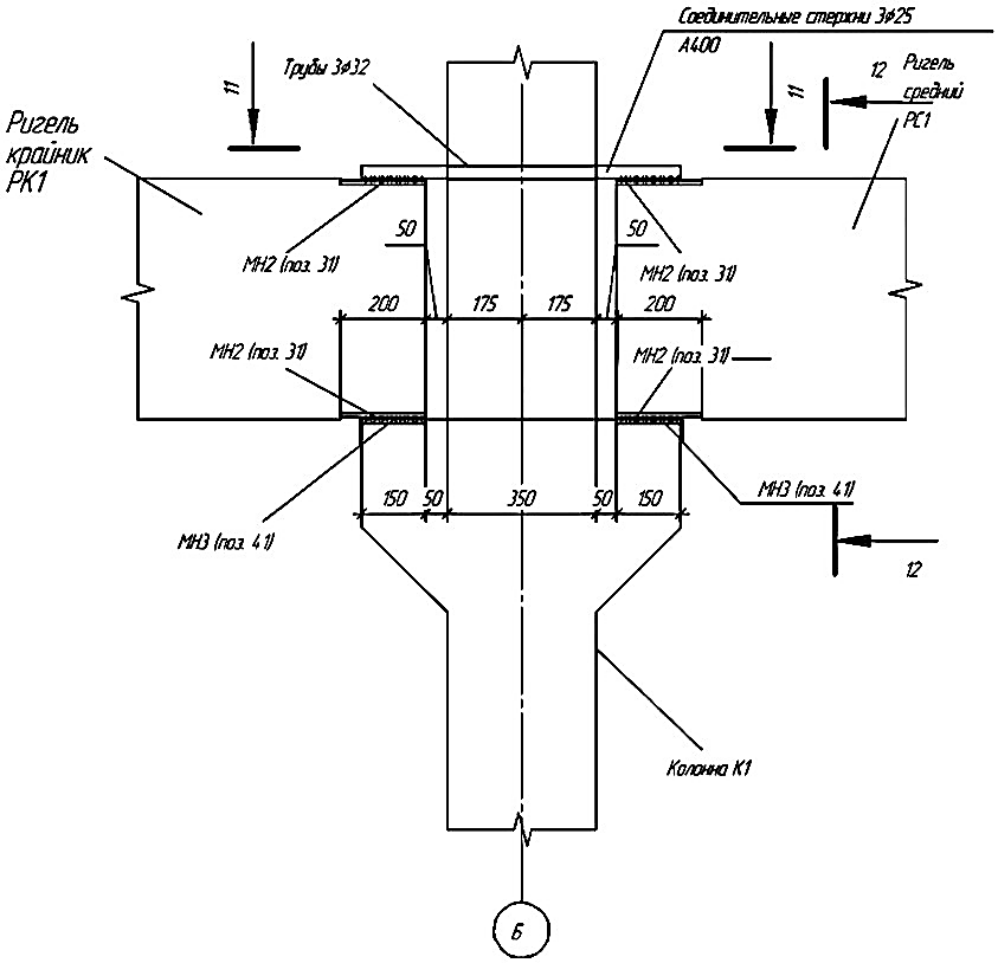


Рисунок 2 – Стык ригеля с колонной

Действие поперечной силы на опоре (колонне Б-3): Q = 350 кН.

Для железобетонного ригеля:

– Бетон класса В25: расчетное сопротивление бетона осевому растяжению бетона Rbt = 1,05 МПа; расчетное сопротивление бетона осевому сжатию бетона Rb = 14,5 МПа;

– Ненапрягаемая арматура класса А240 (поперечная) ∩8, шаг 100 мм: расчетное сопротивление поперечной арматуры растяжению для предельных состояний первой группы Rsw = 170 МПа.

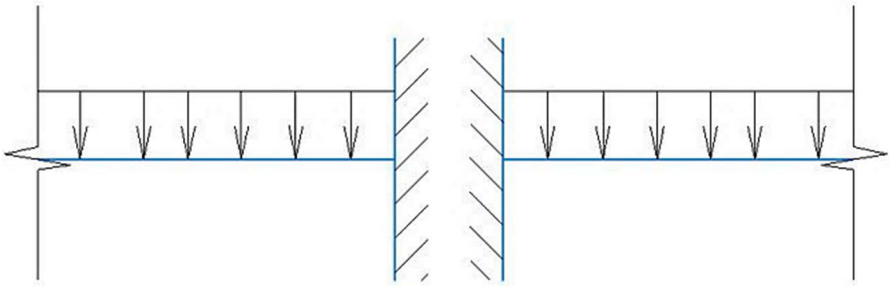


Рисунок 3 – Стык ригеля с колонной эквивалентная схема

Рассмотрим значения для армированного бетона и узнаем прочность наклонных сечений в неразрезной балке (ригеле).

Величина максимальных поперечных сил у грани колонны при размере поперечного сечения колонны $h_{col} = 0{,}4$ м составляет:

$$Q^{\text{гр}} = Q - 0{,}5 \cdot h_{col} \cdot q = 350 - 0{,}5 \cdot 0{,}4 \cdot 100 = 330 \text{ кН}.$$

Для бетона:

$$Q = Q^{\text{гр}} - q \cdot h_0 = 330 - 100 \cdot 0{,}54 = 276 \text{ кН} < 0{,}3 \cdot 14{,}5 \cdot 10^3 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54 = 465{,}68 \text{ кН},$$

то есть прочность наклонной полосы на сжатие обеспечена.

Расчет элементов по наклонному сечению на действие поперечной силы:

Определим усилие в поперечной арматуре q_{sw} на единицу длины элемента:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{s_{w,\text{оп}}} = \frac{170 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 0{,}5025 \cdot 10^{-4}}{0{,}1} \cdot 10^{-3} = 256{,}28 \text{ кН/м}.$$

Определим длину проекции наиболее опасного наклонного сечения C:

$$\sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{100 \cdot 10^3}} < \frac{2 \cdot 0{,}54}{1 - 0{,}5 \cdot \frac{256{,}28 \cdot 10^3}{1{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2}},$$

$$0{,}96 \text{ м} < 2{,}75 \text{ м}.$$

Условие выполняется, следовательно:

$$C = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{0{,}75 \cdot 256{,}28 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3}} = 0{,}56 \text{ м}.$$

Вычислим поперечную силу, воспринимаемую бетоном Q_b

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{C} = \frac{1{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{0{,}56} = 161{,}70 \text{ кН}.$$

$$Q_{b,\,min} \le Q_b \le Q_{b,\,max},$$

$$Q_{b,\,min} = 0{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54 = 56{,}2;$$

$$Q_{b,\,max}\, 2{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54 = 281{,}01;$$

$$56{,}20 \text{ кН} \le 161{,}70 \text{ кН} \le 281{,}01 \text{ кН}.$$

Условие выполняется, для дальнейших расчетов принимаем Q_b.

Вычисление поперечной силы, воспринимаемой хомутами Q_{sw}:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} \cdot q_{sw} \cdot C \quad = 0{,}75 \cdot 256{,}63 \cdot 0{,}56 = 107{,}28 \text{ кН}.$$

Проверяем условие, принимая поперечную силу от внешней нагрузки в нормальном сечении на расстоянии C от опоры:

$$Q = Q_{\text{В}}^{\text{гр л}} - q \cdot C = 321{,}70 - 100 \cdot 0{,}56 = 267{,}28 \text{ кН},$$

$$Q_b + Q_{sw} = 167{,}78 + 81{,}68 = 268{,}98 \text{ кН} > 267{,}28 \text{ кН}.$$

Прочность наклонных сечений на опоре обеспечена.

Рассмотрим значения для углеродного бетона и узнаем прочность наклонных сечений в неразрезной балке (ригеле).

Преимущества использования углеродной фибры для бетона: повышается прочность бетона на сжатие от 40 до 60 %; повышается прочность бетона на растяжение при изгибе от 100 до 200 % (в зависимости от прочности матрицы) [2];

Тогда:

$$\text{R}_{\text{bt}} = 1{,}05 \cdot 1{,}40 = 1{,}47 \text{ МПа},$$

$$\text{R}_{\text{b}} = 14{,}5 \cdot 2 = 29 \text{ Мпа},$$

$$C = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 1{,}47 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{100 \cdot 10^3}} = 0{,}36\text{м},$$

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{C} = \frac{1{,}5 \cdot 1{,}47 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}54^2}{0{,}36} = 357{,}21 \text{ кН},$$

$$Q_b = 357{,}21 > 267{,}28 \text{ кН}.$$

По результатам вычислений можно увидеть, что использование углеродного бетона для ригеля многопролетного многоэтажного здания является целесообразным в данном проекте ввиду того, что он выдерживает наклонные поперечные усилия на опоре.

Литература

1. Павозков Д.В. Бетон: универсальный материал, применяемый в современном строительстве. – Т. : Весник науки, 2025. – 592 с.
2. Голова Т.А. Фибробетон на основе углеродного волокна для строительства / Т.А. Голова, Н.В. Андреева, А.Д. Жуков. – Г. : Colloquium-journal, 2019. – 2 с.

References

1. Pavozkov D.V. Concrete: universal material used in modern construction. – T. : Science Herald, 2025. – 592 p.
2. Golova T.A. Fibroblast based on carbon fiber for construction / T.A. Golova, N.V. Andreeva, A.D. Zhukov. – G. : Colloquium-journal, 2019. – 2 p.

УДК 69.04

ФЕРМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
♦♦♦♦♦
TRUSSES IN CONSTRUCTION

Долгополов Василий Евгеньевич
старший преподаватель
кафедры архитектуры
гражданских и промышленных зданий имени А.В. Титова,
Кубанский государственный
технологический университет
dolgopolov_v@icloud.com

Коновалов А.А.
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
konovalov_201@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена использованию ферм в строительной отрасли. Рассматриваются их преимущества перед традиционными технологиями, а также возможности для оптимизации процессов возведения зданий. Особое внимание уделено вопросам экономичности и долговечности конструкций с применением ферм.

Ключевые слова: фермы, стропильные фермы, узлы, усилия, верхний пояс, нижний пояс.

Dolgopolov Vasily Evgenievich
Senior lecturer at the Department
of Architecture of Civil and Industrial
Buildings named after A.V. Titov,
Kuban State Technological University
dolgopolov_v@icloud.com

Konovalov A.A
Student,
Kuban State Technological University
konovalov_201@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the use of trusses in the construction industry. Their advantages over traditional technologies are considered, as well as the possibilities for optimizing the processes of building construction. Special attention is paid to the issues of cost-effectiveness and durability of structures using trusses.

Keywords: trusses, rafter trusses, nodes, efforts, upper belt, lower belt.

Применение конструкций из ферм весьма разнообразно. Их используют при строительстве ангаров, цехов производственных зданий, спортивных и зрелищных сооружениях, технологических зданиях и т.д.

Рациональность использования при строительстве ферм для масштабных объектов определяется множеством факторов, такими как конфигурация фермы, требования к жесткости конструкции, действующим нагрузкам и др.

Ферма.

Ферма – сквозная решетчатая конструкция, состоящая из отдельных прямолинейных стержней, соединенных между собой в узлах. Эта система геометрически неизменяема даже в том случае, если все реальные узловые соединения заменены идеальными шарнирами. В действительности узлы фермы не являются шарнирами. Пояса фермы представляют собой неразрезные стержни, а узловые соединения обладают значительной жесткостью

Фермы, как и балки, могут изготавливаться из металла, железобетона и дерева. Типовые пролеты ферм применяют при пролетах 18, 24, 36 метров.

Фермы являются основой многих стержневых систем и разнообразны по назначению. Их используют в конструкции покрытий зданий (стропильные, подстропильные фермы), междуэтажных перекрытий, в качестве контурных диафрагм оболочек, складок и др.

Область применения ферм – промышленное, гражданское и сельскохозяйственное строительство. Ферма работает на изгиб от внешней вертикальной нагрузки, как правило, приложенной в узлах. Благодаря этому в элементах фермы возникают осевые растягивающие и сжимающие усилия, что обеспечивает более полное, сравнительно с балками, использование несущей способности материала.

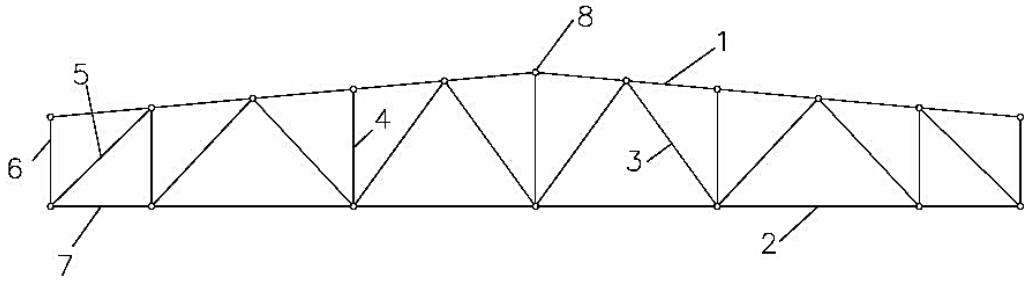


Рисунок 1 – Схема фермы:
1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс: 3 – раскос; 4 – стойка; 5 – опорный раскос;
6 – опорная стойка; 7 – опорный учел; 8 – коньковый узел

Стальные фермы

Стальные фермы в отличие от металлических балок за счет решетчатой конструкции требуют меньше металла. При подвесном потолке создается проходной чердак, обеспечивающий пропуск инженерных коммуникаций или свободный проход по чердаку. Фермы выполняют, как правило, из стальных профилей, а пространственные трехгранные фермы – из стальных труб.

Фермы могут быть двухопорными (разрезными), многоопорными (неразрезными) и консольными. Неразрезные фермы, разгруженные в пролете в результате действия опорных моментов, оказываются легче разрезных. Однако они сложнее в изготовлении, монтаже и чувствительнее к осадкам опор. Неразрезные и консольные фермы не типизированы и применяются редко, главным образом для уникальных покрытий больших пролетов.

Очертание верхнего пояса ферм определяется, главным образом, архитектурой здания и увязывается с материалом кровли и уклоном. Линию нижнего пояса определяют наличие подвесного потолка, подвесного транспорта и требования интерьера.

Фермы с параллельными поясами и трапециевидные наиболее просты по форме и в изготовлении, поэтому они широко применяются в гражданских и промышленных зданиях различного назначения, имея небольшую строительную высоту по сравнению с фермами других типов.

Треугольные фермы используются для покрытия зданий с крутой (25–45°) холодной кровлей из мелкоразмерных материалов (кровельная сталь, черепица, плоские и волнистые асбестоцементные листы и т.п). Конструктивные недостатки этих ферм – разнотипность элементов и узлов.

Наиболее экономичны по расходу материалов сегментные фермы, эффективность применения которых возрастает с увеличением пролета, но они трудоемки в изготовлении из-за кривизны верхнего пояса, а также различной длины элементов решетки. Поэтому на практике сегментные фермы заменяют полигональными, со спрямленными элементами верхнего пояса в пределах основных узлов.

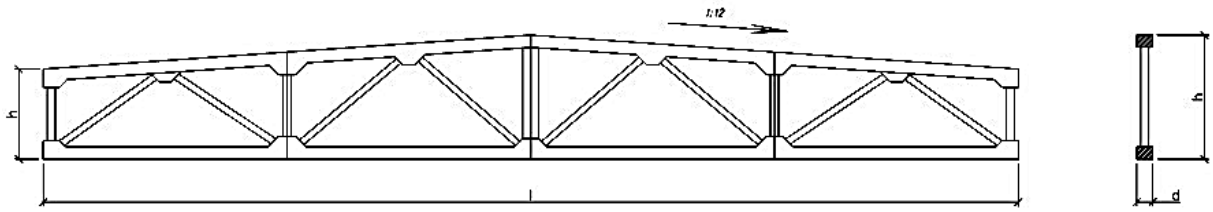


Рисунок 2 – Составная двухскатная железобетонная ферма, состоящая из двух полуферм с предварительно-напряженным нижним поясом

Железобетонные фермы

Железобетонные фермы – могут быть выполнены цельными длиной до 30 м, составными (из двух полуферм, нескольких блоков) или из отдельных элементов длиной более 30 м. Последний способ является невыгодным из-за трудоемкого монтажа.

Отношение высоты фермы к пролету 1/6–1/9. Длина прямолинейных панелей фермы – 1,5 или 3 м (ширина плит покрытия). Для арочных ферм, где момент от внеузловой нагрузки компенсируется моментами обратною знака от эксцентричного действия продольных сил, длина панелей может быть увеличена до размеров, кратных ширине плит покрытия.

По условию устойчивости ширина сечения верхнего пояса фермы h принимается равной (1/70–1/80)/. Конструктивно она связана с шагом ферм: при шаге 6 м ширину сечения Ь назначают равной 20–25 см; при шаге 12 м – 30–35 см. Ширина сечения верхнего и нижнего поясов, а также раскосов и стоек принимается, как правило, одинаковой для удобства бетонирования. Иногда в целях экономии бетона ширину сечения элементов решетки принимают на 10–15 см меньше ширины поясов. Сечения поясов проектируют квадратными или прямоугольными с соотношением $b / h = 1,2 – 1,3$

Нижний пояс выполняется обычно горизонтальным, верхний пояс может иметь горизонтальное, треугольное, сегментное или полигональное очертания. Наибольшее распространение получили железобетонные полигональные (двухскатные) фермы

Максимальная длина запроектированных железобетонных ферм составляет около 100 м при шаге 12 м. Недостатком железобетонных ферм является большая конструктивная высота. Для уменьшения собственной массы ферм необходимо применять высокопрочные бетоны и внедрять легкие плиты покрытия из эффективных материалов.

Треугольные фермы – самые невыгодные ввиду их большой высоты и значительного расхода материалов. Применение таких ферм оправдано только в случае использования кровли со значительным уклоном из асбестоцементных или металлических листов.

Наиболее целесообразны по распределению материала сегментные или арочные фермы с ломаным или криволинейным верхним поясом, приближающимся по очертанию к параболической эпюре моментов. В этих фермах усилия в поясах распределяются более равномерно, а усилия в решетке значительно меньше, чем в фермах других очертаний. Сегментные и арочные фермы имеют незначительную высоту на опоре, что позволяет уменьшить высоту стен. Фермы трапециевидные и с параллельными поясами имеют большую высоту на опоре, что увеличивает расход материала на стены здания; они тяжелее сегментных и арочных ферм, но менее трудоемки.

Таблица 1 – Сравнительная таблица технико-экономических показателей стальной и железобетонной фермы пролетом 24 м

Параметр	Стальная ферма (с параллельными поясами)	Железобетонная ферма (сборная, полигональная)	Комментарии
1	2	3	4
1. Материалы			ЖБ ферма в 3–4 раза тяжелее
Основной материал	Сталь (С245, С345)	Бетон (В30-В40), арматура (А500С, Ат800)	
Расход материала	2,5–3,5 т (~120–170 кг/м²)	8–12 м³ бетона + 0,8–1,2 т арматуры (~400–600 кг/м²)	
Стоимость материалов	180000–250000 руб./т (готовые МК)	35000–50000 руб./м³ бетона + 80000–100000 руб./т арматуры	
2. Изготовление			ЖБ требует дорогих форм
Заводская стоимость	250000–350000 руб./т	60000–90000 руб./м³ (с учетом оснастки)	
Сроки изготовления	2–4 недели	4–8 недель (зависит от завода)	
3. Транспортировка			ЖБ дороже из-за веса и габаритов
Вес фермы	5–8 т	20–30 т	
Стоимость перевозки	30000–60000 руб.	100000–200000 руб. (негабарит)	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
4. Монтаж			ЖБ сложнее стыковать
Требуемая техника	Кран 25–50 т	Кран 50–100 т	
Стоимость монтажа	80000–150000 руб.	150000–300000 руб.	
Сроки монтажа	1–3 дня	5–10 дней	
5. Защита/отделка			
Антикоррозионная обработка	20000–50000 руб. (грунт + покраска)	Не требуется (в неагрессивной среде)	
Огнезащита	30000–80000 руб. (при необходимости)	Не требуется	
6. Влияние на фундамент			ЖБ требует усиленных фундаментов
Нагрузка на опоры	5–8 т	20–30 т	
Экономия на фундаменте	100000–200000 руб	Доп. затраты 150000–300000 руб.	
7. Суммарные затраты (1 ферма)	1,5–2,5 млн руб.	2,0–3,5 млн руб.	Сталь дешевле при пролете 24 м
8. Эксплуатационые расходы			
Обслуживание	Перекраска каждые 5–10 лет (~50000 руб.)	Минимальные (осмотр)	
Ремонтопригодность	Легко ремонтируется	Сложный ремонт (инъектирование трещин)	
9. Долговечность	40–50 лет (при защите)	50–70 лет (при качественном бетоне)	
10.Огнестойкость	Требует огнезащиты (R15–R30)	Высокая (R60–R90 без доп. мер)	
11.Гибкость конструкции	Легко модифицируется	Жесткая, сложно изменить	

Основные преимущества металлических и железобетонных ферм

Металлические и железобетонные фермы обладают рядом ключевых преимуществ по сравнению с другими конструкциями, такими как деревянные или композитные. Металлические фермы отличаются высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к нагрузкам, что делает их идеальными для больших пролётов и промышленных сооружений. Они легче железобетонных аналогов, что упрощает монтаж и снижает нагрузку на фундамент. Железобетонные фермы, в свою очередь, сочетают прочность бетона на сжатие и устойчивость арматуры к растяжению, обеспечивая высокую несущую способность и огнестойкость. Оба типа ферм обладают отличной устойчивостью к внешним воздействиям, включая перепады температур и агрессивные среды, а также позволяют создавать сложные архитектурные формы.

В заключении, можно сказать, что металлические и железобетонные фермы являются оптимальным выбором для строительства промышленных, гражданских и сельскохозяйственных объектов благодаря своей прочности, долговечности и адаптивности к различным эксплуатационным условиям.

Литература

1. Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М. : Стройиздат, 2019. – 576 с.
2. ГОСТ 23118-2012 Конструкции стальные строительные. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2013.
3. Еременко В.И. Металлические конструкции в строительстве – СПб. : Лань, 2020. – 448 с.
4. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции. – М. : Госстрой СССР, 1985.
5. Трофимов В.И. Строительные конструкции: Металлические, каменные, армокаменные. Проектирование и расчет / В.И. Трофимов, А.В. Каминский. – М. : Инфра-Инженерия, 2018. – 496 с.

6. Хайдуков В.В. Фермы покрытий и перекрытий: проектирование и расчет. – М. : АСВ, 2017. – 320 с.
7. Таратута В.Д. Большепролетные конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений : учеб. пособие / В.Д. Таратута, А.М. Бегельдиев. – Краснодар : КуБГАУ, 2017. – 187 с.

References

1. Baykov V.N. Reinforced concrete structures. General course / V.N. Baykov, E.E. Sigalov. – M. : Stroyizdat, 2019. – 576 p.
2. GOST 23118-2012 Steel construction structures. General technical conditions. – M. : Standartinform, 2013.
3 Eremenko V.I. Metal structures in construction. – SPb. : Lan, 2020. – 448 p.
4. SNiP 2.03.01-84 Concrete and reinforced concrete structures. – M. : Gosstroy of the USSR, 1985.
5. Trofimov V.I. Building structures: Metal, stone, and armoured stone. Design and calculation / V.I. Trofimov, A.V. Kaminsky. – M. : Infra-Engineering, 2018. – 496 p.
6. Khaidukov V.V. Trusses of coverings and floors: design and calculation. – M. : DIA, 2017. – 320 p.
7. Taratuta V.D. Large–span structures of industrial and civil buildings and structures : textbook. manual / V.D. Taratuta, A.M. Begeldiev. – Krasnodar : KubGAU Publ., 2017. – 187 p.

УДК 656.073

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ И ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ

♦♦♦♦♦

AN INTEGRATED APPROACH TO THE SELECTION OF ROLLING STOCK FOR THE TRANSPORTATION OF LARGE-SIZED AND HEAVY CARGO

Коновалова Т.В.
Кубанский государственный технологический университет

Надирян С.Л.
Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Леонова И.О.
Кубанский государственный технологический университет

Тыргалов К.В.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье авторами рассмотрен комплексный подход к выбору подвижного состава для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов для повышения эффективности и увеличения производительности существующего транспортного предприятия.

Ключевые слова: грузы, транспорт, эффективность, крупногабаритный груз, логистика.

Konovalova T.V.
Kuban State Technological University

Nadiryan S.L.
Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Leonova I.O.
Kuban State Technological University

Tyrgalov K.V.
Kuban State Technological University

Annotation. In this article, the authors consider an integrated approach to the selection of rolling stock for the transportation of large-sized and heavy cargo to improve the efficiency and increase the productivity of an existing transport enterprise.

Keywords: cargo, transport, efficiency, large-sized cargo, logistics.

Несмотря на наличие требований к транспортировке негабаритных грузов, перевозка крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом требует дополнительного, более детального изучения. В случае использования в качестве способа перевозки железнодорожный или морской транспорт, превышение установленных параметров не представляется возможным, ввиду ограниченности отраслевой инфраструктуры [1]. Применение автомобильного транспорта позволяет перевозить изделия и технику, размеры и вес которой выходят за установленные рамки, при условии принятия дополнительных мер безопасности.

Рассмотрим подробнее несколько вариантов подвижного состава. Электрический промышленный тягач Dayun CGC4180 производится в Китае на заводе Chengdu Dayun Automobile Group Co., Ltd. Предприятие расположено в городе Чэнду (провинция Сычуань, Китай).



Рисунок 1 – Dayun CGC4180BEV1AAEJNALD

Достаточно хорошая модель седельного тягача с электродвигателем. На данный момент оснащен двигателем мощностью 350 кВт, благодаря которому может развивать максимальную скорость в 60 км/ч. Заряда аккумуляторной батареи хватает на 150–200 км.

Подойдет для внутри городских и пригородных перевозок грузов.

Таблица 1 – Технические характеристики Dayun CGC4180

Техническая характеристика	Значение
Мощность двигателя л. с	476
Максимальная скорость км/ч	60
Система АБС	Есть
Квази-полная масса прицепа в тоннах	28,8
Число осей	2
Топливо	Электричество
Наличие портативного зарядного устройства в комплекте	Нет

Dayun CGC4250 – как и старший представитель данной компании является промышленным тягачом с электродвигателем [2].

Обладает мощностью 350 кВт, но при этом максимальная скорость составляет уже 90 км/ч, а все благодаря увеличенной аккумуляторной батареи.



Рисунок 2 – *Dayun* CGC4250

Таблица 2 – Технические характеристики Dayun CGC4250

Техническая характеристика	Значение
Мощность двигателя л. с	476
Максимальная скорость км/ч	90
Система АБС	Есть
Квази-полная масса прицепа в тоннах	33,8
Число осей	3
Топливо	Электричество
Наличие портативного зарядного устройства в комплекте	Нет

Sany Magic Tower1165 – является первым представителем седельных тягачей с электродвигателем, преодолевшим на одном заряде АКБ 800 километров с максимальной загрузкой равной 49 тонн.

Китайская компания Sany славится качеством своей продукции, и именно поэтому данное транспортное средство может похвастаться качеством сборки, комплектацией.

Батарея, установленная в Sany Magic Tower1165, имеет суммарную емкость 1165 Кв/ч что и позволяет преодолевать такое большое расстояние при этом не беспокоясь о том, что процентов заряда не хватит до следующей заправки.

Цена данного автомобиля начинается от 20700000 рублей, но затраты на эксплуатацию по сравнению с автомобиля с ДВС сведены к минимуму [3].

Также данный автомобиль может похвастаться тем, что стоимость технического обслуживания по сравнению с дизельным аналогом сокращена на 60 %, а сервисный интервал увеличен до 150 тысяч километров.



Рисунок 3 – Sany Magic Tower 1165

Таблица 3 – Технические характеристики Sany Magic Tower

Техническая характеристика	Значение
Мощность двигателя л. с	2 электродвигателя по 374 л. с
Максимальная скорость км/ч	90
Система АБС	Есть
Квази-полная масса прицепа в тоннах	49
Число осей	3
Топливо	Электричество
Наличие портативного зарядного устройства в комплекте	Да

Самым оптимальным вариантом для покупки и обновления собственного подвижного состава компании будет электрический тягач Sany Magic Tower 1165. Данный электрический тягач выигрывает у остальных конкурентов своей максимальной грузоподъемностью равной 49 тонн, запасом хода без подзарядки равным 800 км это цифра была достигнута благодаря системе рекуперации.

Также ретейлеры данного автомобиля предлагают в комплекте портативную зарядную установку способную заряжать автомобиль в любом месте, и зарядную станцию в качестве дополнительной услуги, она будет доставлена и установлена на вашем АТП.

Современные предприятия понимают, что репутация не менее важна, чем снижение издержек и получение прибыли [4]. Хоть имидж сам по себе не гарантирует успех, его отсутствие практически всегда приводит к провалам. В последнее время, под влиянием общественного беспокойства о загрязнении окружающей среды, все больше компаний делают ставку на экологичность своего имиджа. И это приносит им свои плоды.

Компании, которые активно используют экологические аспекты для создания положительной репутации, получают значительные преимущества:

Конкурентное преимущество: повышение экологических стандартов делает их более привлекательными на экспортных рынках и укрепляет их позиции на разных рынках [5].

Налоговые преференции: государство предоставляет налоговые льготы компаниям, получившим экологический сертификат соответствия.

Сегодня невозможно представить жизнь без транспорта, как в личных, так и в коммерческих целях [6]. Полностью исключить вредное воздействие транспорта на окружающую среду невозможно, но можно сделать его менее вредным, используя экологичный транспорт, работающий на электричестве, воде, солнечной энергии или сжатом воздухе.

Литература

1. Оценка эффективности международных перевозок в транспортно-логистических схемах региона : монография / Т.В. Коновалова [и др.]. – Краснодар, 2021. – 180 с.
2. Программа интеграции транспортных средств в системуединого логистического оператора» / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, А.А. Изюмский, Е.А. Лебедев, В.В. Соскова // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023613403, 15.02.2023. Заявка № 2023612175 от 09.02.2023.
3. Анализ работы транспортных систем : учеб. пособие / Т.В. Коновалова [и др.]. – Краснодар, 2019.
4. Программа по оценке работы по обеспечению безопасности движения на транспорте / А.А. Изюмский, Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, С.В., Коцурба, М.П. Миронова // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021619527, 10.06.2021. Заявка № 2021618167 от 28.05.2021.
5. Программа оценки эффективности припроведении массовых мероприятий в городах / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, С.В. Коцурба, А.А. Изюмский, М.П. Миронова, И.С. Сенин // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022611153, 20.01.2022. Заявка № 2022610062 от 10.01.2022.
6. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса : учеб. пособие / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2024. – 256 с.

References

1. Evaluation of the Efficiency of International Transportation in the Regional Transport and Logistics Schemes : monograph / T.V. Konovalova [et al.]. – Krasnodar, 2021. – 180 p.
2. Program for the Integration of Vehicles into the System of a Single Logistics Operator / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, A.A. Izyumsky, E.A. Lebedev, V.V. Soskova // Certificate of Registration of Computer Program 2023613403, 15.02.2023. Application № 2023612175 dated 09.02.2023.
3. Analysis of the Operation of Transport Systems: a tutorial / T.V. Konovalova [et al.]. – Krasnodar, 2019.
4. Program for assessing work to ensure traffic safety on transport / A.A. Izyumsky, T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, S.V., Kotsurba, M.P. Mironova // Certificate of registration of computer program 2021619527, 10.06.2021. Application № 2021618167 dated 28.05.2021.
5. Program for assessing the effectiveness of mass events in cities / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, S.V. Kotsurba, A.A. Izyumsky, M.P. Mironova, I.S. Senin // Certificate of registration of computer program 2022611153, 20.01.2022. Application № 2022610062 dated January 10, 2022.
6. Organization of transportation services and safety of the transport process: a study guide / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, I.N. Kotenkova. – Krasnodar: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Technical University», 2024. – 256 p.

УДК 656.073

ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ГРУЗОВОГО ТРАНСПОРТА

♦♦♦♦♦

JUSTIFICATION OF THE OPERATION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY FREIGHT TRANSPORT

Коновалова Т.В.
Кубанский государственный технологический университет

Надирян С.Л.
Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Леонова И.О.
Кубанский государственный технологический университет

Андрюшенков Д.С.
Кубанский государственный технологический университет

Аннотация. В данной статье перед авторами стояла задача обоснования эксплуатации экологически чистого грузового транспорта в сегменте грузовых транспортных компаний на примере действующего, развивающегося предприятия.

Ключевые слова: экология, транспорт, экологическая безопасность, транспортная деятельность.

Konovalova T.V.
Kuban State Technological University

Nadiryan S.L.
Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Leonova I.O.
Kuban State Technological University

Andryushenkov D.S.
Kuban State Technological University

Annotation. In this article, the authors faced the task of justifying the operation of environmentally friendly freight transport in the segment of freight transport companies using the example of an existing, developing enterprise.

Keywords: ecology, transport, environmental safety, transport activities.

В современном мире, где охрана окружающей среды стала приоритетной задачей, экологически устойчивые решения в грузоперевозках становятся все более важными. Грузовые автомобили играют значительную роль в транспортировке товаров, и в этой статье мы рассмотрим на примере транспортно-экспедиционной компании ООО «М», какие экологические последствия от эксплуатации грузовых автомобилей на дизельном топливе имеем сегодня и как сделать грузоперевозки более экологичными и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду [1].

По данным компании ООО «М» за 2024 год было совершено 1080 перевозок – это примерно 972000 км. Средняя дистанция пробега автопоезда составляет 900 км, а одно транспортное средство с грузом совершает около 360 ездок, что составляет 324000 км.

Осуществим расчет выбросов таких вредных веществ как CO (оксид углерода), CH (углеводород), NOy (оксид азота), C (моноксид углерода) за 2023 год. Как пример для анализа возьмем тягач SITRAK C7H

SITRAK C7H – это самый распространенный китайский седельный тягач в России. Компания Sinotruk смогла разработать очень экономичный, но при этом мощный тягач, предназначенный для работы в региональном и дальнем следовании.

Оснащенный двигателем Weichai WP13 мощностью от 420 до 540 л.с. данный автомобиль способен выполнять любые поставленные задачи при этом средний расход в составе автопоезда составляет 30 л на 100 км [2].

Тягач продается с двумя типами коробки передач механической Fast Gear и автоматической ZF Traxon, так же в наличии имеется широкий спектр модификаций.

Так же в дополнительные опции входят:

– система климат-контроля;
– система ESP;
– круиз-контроль;
– система помощи при спуске (HDC) и т.д. [3].

Выброс загрязняющих веществ грузовыми транспортными средствами с определенной грузоподьемностью и типом двигателя при движении на территории населенного пункта осуществляется по формуле:

$$M_{rli} = m_{rli} \cdot L_{г1} \cdot K_{rli} \cdot K_{гi} \cdot K_{гтi} \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где m_{rli} – пробеговый выброс i-го загрязняющего вещества грузовыми автомобилями при движении по территории населённых пунктов в зависимости от грузоподъёмности и типа двигателя, г/км; $L_{г1}$ – суммарный пробег грузовых автомобилей по территории населённых пунктов, км; K_{rli} – коэффициент, учитывающий изменение выброса загрязняющих веществ грузовыми автомобилями при движении по территории населённых пунктов в зависимости от типа населённого пункта; $K_{гi}$ – коэффициент, учитывающий изменение пробегового выброса грузовых автомобилей от уровня использования грузоподъёмности и пробега; $K_{гтi}$ – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния грузовых автомобилей на массовый выброс *i*-го загрязняющего вещества в зависимости от типа двигателя.

Для грузовых автомобилей с дизельными двигателями:

$$K_{г.т}CO = 0{,}05 \text{ г/км};$$

$$K_{г.т}C\square = 0{,}8 \text{ г/км};$$

$$K_{г.т}NOy = 0{,}06 \text{ г/км}.$$

$$M_{1CO} = 4{,}8 \cdot 291\,600 \cdot 1 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}05 = 53\,187{,}84 \text{ г/км};$$

$$M_{1CH} = 1{,}8 \cdot 291\,600 \cdot 1 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}8 = 319\,127{,}04 \text{ г/км};$$

$$M_{1NOy} = 16{,}4 \cdot 291\,600 \cdot 1 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}06 = 218\,070{,}14 \text{ г/км}.$$

Для расчета загрязняющих веществ при движении в не населенных пунктах используется формула:

$$M_{rli} = m_{г2i} \cdot L_{г2} \cdot K_{гi} \cdot K_{гтi} \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где $m_{г2i}$ – пробеговый выброс i-го загрязняющего вещества грузовыми автомобилями при движении вне населённых пунктов в зависимости от грузоподъёмности и типа двигателя, г/км; $L_{г2}$ – суммарный пробег грузовых автомобилей при движении вне населённых пунктов, км.

$$M_{2CO} = 3{,}2 \cdot 680\,400 \cdot 0{,}05 = 108\,864 \text{ г/км};$$

$$M_{2CH} = 1{,}4 \cdot 680\,400 \cdot 0{,}8 = 762\,048 \text{ г/км};$$

$$M_{2NOy} = 10{,}7 \cdot 680\,400 \cdot 0{,}06 = 436\,816{,}8 \text{ г/км}.$$

Суммарный выброс загрязняющих веществ за год рассчитывается по формуле:

$$M_{rli} = m_{г2i} \cdot L_{г2} \cdot K_{гi} \cdot K_{гтi} \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где M_{rli} – массовый выброс загрязняющих веществ грузовыми автомобилями при движении по территории населённых пунктов; $m_{г2i}$ – массовый выброс загрязняющих веществ грузовыми автомобилями при движении вне населённых пунктов.

$$M_{2CO} = 53\,187{,}84 + 108\,864 = 162\,051{,}84 \text{ г/км};$$

$$M_{2CH} = 319\,127{,}04 + 762\,048 = 1\,081\,175{,}04 \text{ г/км};$$

$$M_{2NOy} = 218\,070{,}14 + 436\,816{,}8 = 654\,886{,}94 \text{ г/км}.$$

Расстояние, проходимое одним транспортным средством за год, составляет 324000 км из них 30 % (97200 км) проходят в населенных пунктах а оставшиеся 70 % (226800 км) в не населенных пунктах. Проведем расчет количества выбросов вредных веществ, одного транспортного средства компании ООО «М», проходя населенные пункты.

$$M_{2CO} = 4{,}8 \cdot 97\,200 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}05 = 17\,729{,}28 \text{ г/км};$$

$$M_{2CH} = 1{,}8 \cdot 97\,200 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}8 = 106\,375{,}68 \text{ г/км};$$

$$M_{2NOy} = 16{,}4 \cdot 97\,200 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}06 = 72\,690{,}048 \text{ г/км}.$$

Так же проведем расчет количества выбросов находясь в не населенных пунктах.

$$M_{2CO} = 3{,}2 \cdot 226\,800 \cdot 0{,}05 = 36\,288 \text{ г/км};$$

$$M_{2CH} = 1{,}4 \cdot 226\,800 \cdot 0{,}8 = 254\,016 \text{ г/км};$$

$$M_{2NOy} = 10{,}7 \cdot 226\,800 \cdot 0{,}06 = 145\,605{,}6 \text{ г/км}.$$

Годовой расчет количества вредных выбросов одного тс.

$$M_{2CO} = 17\,729{,}28 + 36\,288 = 54\,017{,}28 \text{ г/км};$$

$$M_{2CH} = 106\,375{,}68 + 254\,016 = 360\,391{,}68 \text{ г/км};$$

$$M_{2NOy} = 72\,690{,}048 + 145\,605{,}6 = 218\,295{,}648 \text{ г/км}.$$

Результаты данных расчетов показывают, что даже со стандартом Евро – 5 количество выбрасываемых в атмосферу вредных веществ остается огромным, и транспортные средства, используемые компанией ООО «М» помогают нам убедится в этом.

Помимо химических загрязнителей, транспорт является серьезным источником экологического шума. Уровень шума, превышающий естественный, оказывает негативное воздействие, вызывая повышенную утомляемость, снижение когнитивных функций, артрит, повышение артериального давления, возбуждение, утомляемость и бессонницу. Звуковое загрязнение нарушает естественный баланс экосистемы. Животные и насекомые теряют способность ориентироваться, общаться и находить пищу. Меняются места их обитания, что приводит к снижению эффективности селекции растений и сокращению их численности.

В связи с вышеуказанным очевидно, что компании ООО «М» выгодна закупка нового, экологически чистого подвижного состава. А также необходимо откорректировать концепцию развития с учетом экологических требований.

Первым и одним из самых значимых шагов на пути к экологичным грузоперевозкам является переход к альтернативным видам топлива, таким как метан, электроэнергия или водород [4]. Грузовики, работающие на таких источниках энергии, могут существенно снизить выбросы вредных веществ и парниковых газов.

Планирование маршрутов с использованием современных GPS-систем и аналитики данных позволяет сократить расстояния и время в пути. Это приводит к уменьшению расхода топлива и выбросов CO_2, что благоприятно сказывается на экологии.

Установка современных систем управления автопарком позволяет контролировать и оптимизировать работу грузовых автомобилей. Эти системы предоставляют информацию о состоянии двигателей, расходе топлива и степени износа, что позволяет своевременно проводить техническое обслуживание и улучшать производительность.

Обучение водителей вопросам экологии и эффективной езды может существенно снизить расход топлива и избыточные выбросы. Экономичный стиль вождения, такой как плавная остановка и ускорение, может значительно уменьшить негативное воздействие грузовых автомобилей на окружающую среду.

Инновационные технологии, такие как системы рециркуляции отходов и очистки выбросов, помогают снизить выбросы вредных веществ и улучшить экологические характеристики грузовых автомобилей [5].

Современные методы упаковки и планирования перевозок позволяют максимально использовать грузоподъемность грузовиков, что уменьшает количество поездок и, следовательно, выбросы.

В заключение, экологически устойчивые грузоперевозки становятся всё более актуальными. Применение новых технологий, использование экологически чистых топлив и оптимизация процессов могут помочь уменьшить негативное воздействие грузовых автомобилей на окружающую среду и сделать перевозки более эффективными и ответственными.

Литература

1. Коновалова Т.В. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса : учеб. пособие / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2024. – 256 с.
2. Стратегический и инновационный менеджмент на автомобильном транспорте / Т.В. Коновалова [и др.]. – Краснодар, 2021. – 324 с.
3. Оценка эффективности международных перевозок в транспортно-логистических системах региона : монография / / Т.В. Коновалова [и др.]. – Краснодар, 2021. – 180 с.
4. Организация перевозочного процесса (на автомобильном транспорте) : учеб. пособие / Т.В. Коновалова [и др.]. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2022. – 264 с.
5. Социально-экологические аспекты создания комфортной среды на примере краснодарской агломерации / Н.Л. Сергиенко [и др.]. – Краснодар : КубГТУ, 2022. – 175 с.

References

1. Konovalova T.V. Organization of transportation services and safety of the transport process : textbook / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, I.N. Kotenkova. – Krasnodar : Publ. FGBOU VO «KubSTU», 2024. – 256 p.
2. Strategic and innovative management in road transport / T.V. Konovalova [et al.]. – Krasnodar, 2021. - 324 p.
3. Evaluation of the effectiveness of international transportation in the transport and logistics systems of the region : monograph / T.V. Konovalova [et al.]. – Krasnodar, 2021. – 180 p.
4. Organization of the transportation process (in road transport) : textbook / T.V. Konovalova [et al.] – Krasnodar : Publ. FGBOU VO «KubSTU», 2022. – 264 p.
5. Social and environmental aspects of creating a comfortable environment on the example of the Krasnodar agglomeration / N.L. Sergienko [et al.]. – Krasnodar : KubSTU, 2022. – 175 p.

УДК 656.073

ВЛИЯНИЕ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИЦИОННОЙ КОМПАНИИ НА ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

♦♦♦♦♦

THE IMPACT OF THE HR POLICY OF A FREIGHT FORWARDING COMPANY ON ITS EFFICIENCY

Надирян С.Л.
Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Коновалова Т.В.
Кубанский государственный технологический университет

Тыргалов К.В.
Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Андрюшенков Д.С.
Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Аннотация. В статье, авторами представлено влияние кадровой политики транспортно-экспедиционной компании на ее эффективность с примерами на основе действующего развивающегося предприятия.

Ключевые слова: эффективность, логистика, транспорт, экспедиционная деятельность.

Nadiryan S.L.
Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Konovalova T.V.
Kuban State Technological University

Tyrgalov K.V.
Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Andryushenkov D.S.
Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Annotation. In the article, the authors present the impact of the HR policy of a freight forwarding company on its efficiency with examples based on an existing developing enterprise.

Keywords: efficiency, logistics, transport, freight forwarding activities.

Грузоперевозки по России относятся к сложным организационным задачам (особенно это касается перевозки негабаритных грузов) [1]. Организация доставки груза по стране с учетом расстояний, а также климатических и других особенностей, требуют высокого профессионализма, как логистов, планирующих маршрут, так и водителей, осуществляющих доставку автотранспортом. ООО «М» в полной мере соответствует данным требованиям и способно оказывать заявленные услуги на высочайшем уровне качества [2].

На рисунке 1 представлены направления деятельности компании:

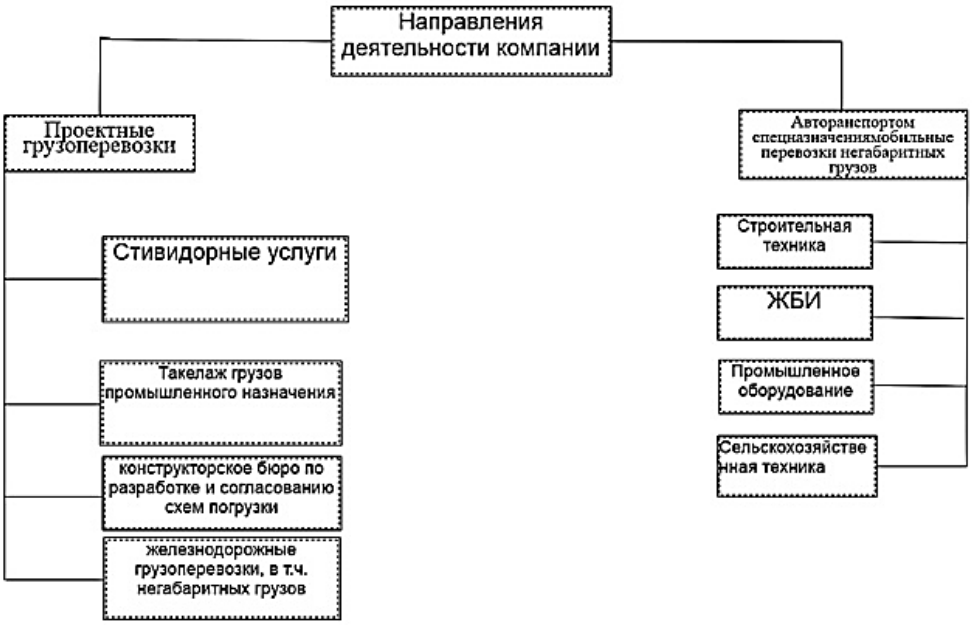


Рисунок 1 – Направления деятельности копании ООО «М»

Компания ООО «М» занимается перевозкой:

Промышленное оборудование:

– трансформаторы и электроподстанции;
– котлы, печи, турбины и компрессоры;
– ёмкости, станки, модули, а также оборудование для нефтеперерабатывающей отрасли.

Строительная техника [3]:

– башенные, самоходные колесные и гусеничные краны;
– бульдозеры и экскаваторы;
– сваебои, трубоукладчики и коперы, а также металлоконструкции и ЖБИ.

Нефтегазовый сектор:

– буровые установки;
– газозаправщики;
– компрессорные станции.

Сельскохозяйственная техника:

– зерно- и свеклоуборочные комбайны;
– колесные и гусеничные тракторы;
– опрыскиватели, плуги, сеялки, бункеры, элементы ангаров.

Данная транспортно-экспедиторская компания оказывает следующие услуги:

– перевозка грузов по России и странам СНГ:
– автомобильным транспортом;
– железнодорожным транспортом.

Перевозка габаритных грузов весом до 20 тонн:

– оборудование;
– металлоконструкции.

Не занимается доставкой следующих габаритных грузов:

– овощи, фрукты и продукты питания;
– алкогольная продукция и табачные изделия;
– строительные материалы;
– запчасти;
– дерево и мебель;
– вещи;
– трубы, арматура, металлопрокат;
– шпалы.

Перевозка крупногабаритных и тяжеловесных грузов весом до 300 тонн и более:

– оборудование, включая трансформаторы;
– колесная и гусеничная техника;
– железобетонные и металлические конструкции.

Комплексные услуги по перемещению грузов [4]:

– подъем, опускание, перетягивание, толкание, загрузка, выгрузка, перегрузка с использованием спецтехники (автокраны, погрузчики, домкраты);
– разработка и реализация схем перемещения грузов;
– комбинированная доставка грузов разными видами транспорта;
– такелаж станков и оборудования.

Дополнительные услуги:

– упаковка и распаковка грузов;
– закрепление и раскрепление грузов;
– временное хранение грузов на открытых площадках и в закрытых складах;
– разработка и согласование чертежей погрузки для железнодорожных перевозок;
– оформление разрешений и согласований для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов;
– организация сопровождения грузов в процессе перевозки;
– подготовка подъездных путей и погрузо-разгрузочных площадок;
– страхование грузов;

Благодаря грамотному подходу руководства к управлению, тому, что все сотрудники постоянно обучаются и совершенствуют свои навыки, обороты компании растут год от года [5].

Вместе с эти растут зарплаты сотрудников, улучшая условия работы и комфорт в офисе.

Для наглядности взяты реальные результаты за последние 5 лет.

На рисунке 2 изображен рост выручки компании с 2020 по 2024 года

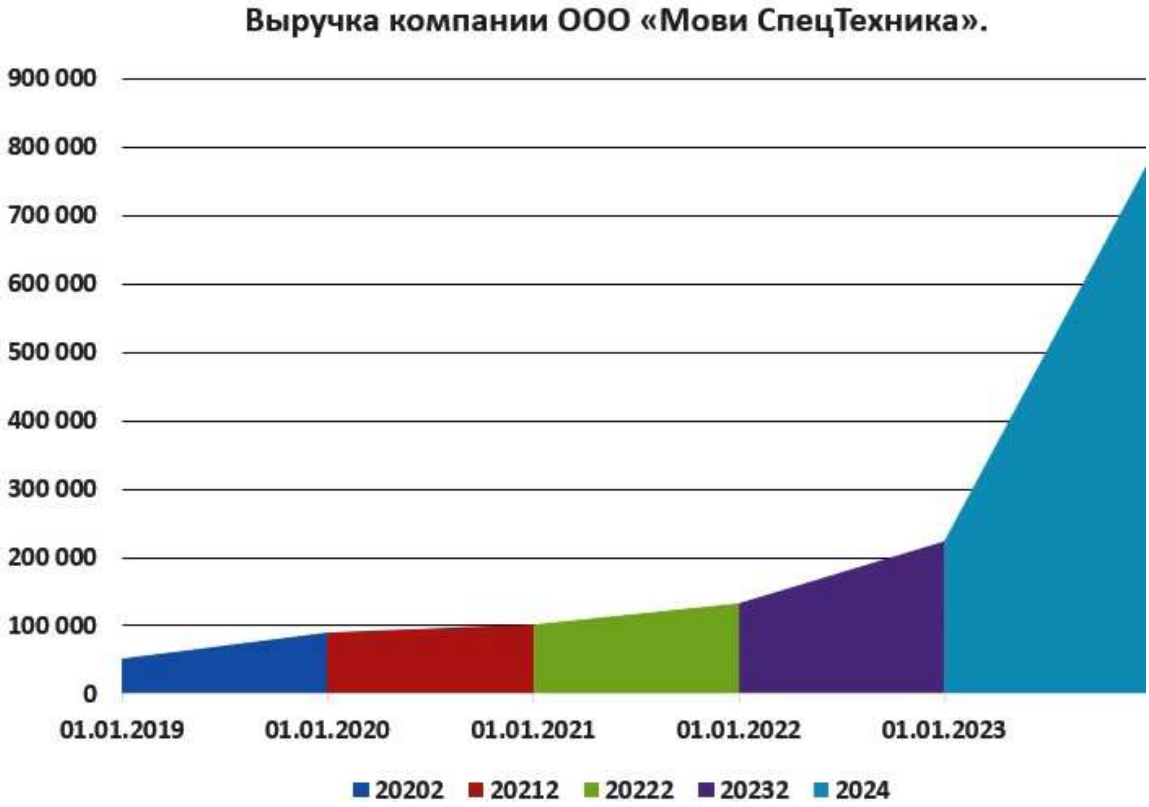


Рисунок 2 – Выручка компании ООО «М»

Приоритетная задача компании – предоставление качественных услуг своим клиентам.

Именно благодаря данной политики компании ничего не мешает увеличивать оборот на 30 – 40 – 50 % ежегодно [6].

В 2025 году компания планирует прирост в 50 % минимум. Именно поэтому так много уделяется внимания вновь прибывшим членам команды, параллельно усиливая действующий персонал.

Литература

1. Коновалова Т.В. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса : учеб. пособие / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2024. – 256 с.
2. Исследование рынка перевозок по заказам в регионе / Т.В. Коновалова [и др.]; ФГБОУ ВПО «СибАДИ», кафедра «ОПиУТ»; Отв. за вып. Е.Е. Витвицкий // В сборнике: Международная научно-практическая конференция «Архитектура, строительство, транспорт» (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). Сборник научных трудов № 8 кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте». – 2015. – С. 74–77.
3. Влияние экономических показателей региона на работу автомобильных перевозок / Т.В. Коновалова [и др.] // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – № 5(51). – С. 165–171.
4. Коновалова Т.В. Совершенствование методов оптимизации транспортно-логистических издержек в торгово-транспортно-логистических системах / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян,

М.П. Миронова // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2020. – № 9. – С. 197–199.
5. Лебедев Е.А. Основы логистики транспортного производства и его цифровой трансформации : учеб. пособие / Е.А. Лебедев, Л.Б. Миротин. – М., 2018.
6. Изюмский А.А. Организация перевозок специфических видов грузов / А.А. Изюмский, И.С. Сенин // Пособие для студентов направления подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов, магистрантов, аспирантов, специалистов автотранспортной отрасли, городского хозяйства и муниципальных образований. – Краснодар, 2019.

References

1. Konovalova T.V. Organization of transportation services and safety of the transport process : textbook / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, I.N. Kotenkova. – Krasnodar : Publ. FGBOU VO «KubSTU», 2024. – 256 p.
2. Research of the custom transportation market in the region / T.V. Konovalova [et al.]; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «SibADI», Department of «OPiUT»; Responsible for the release E.E. Vitvitsky // In the collection: International scientific and practical conference «Architecture, construction, transport» (for the 85th anniversary of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «SibADI»). Collection of scientific papers № 8 of the Department of «Organization of Transportation and Transport Management». – 2015. – P. 74–77.
3. The influence of regional economic indicators on the performance of road transport / T.V. Konovalova [et al.] // Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway Academy. – 2016. – № 5(51). – P. 165–171.
4. Konovalova T.V. Improving methods for optimizing transport and logistics costs in trade, transport and logistics systems / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, M.P. Mironova // Humanities, Socio-Economic and Social Sciences. – 2020. – № 9. – P. 197–199.
5. Lebedev E.A. Fundamentals of logistics of transport production and its digital transformation : study guide / E.A. Lebedev, L.B. Mirotin. – M., 2018.
6. Izyumsky A.A. Organization of transportation of specific types of cargo / A.A. Izyumsky, I.S. Senin // Manual for students of the training program 23.03.01 Technology of transport processes, master's students, postgraduate students, specialists in the motor transport industry, urban economy and municipalities. – Krasnodar, 2019.

УДК 664.3.033

МОДИФИКАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕЛКА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ

♦♦♦♦♦

MODIFICATION OF FUNCTIONAL TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF PROTEIN TO STABILIZE FOOD SYSTEMS

Ольховатов Егор Анатольевич
кандидат технических наук,
доцент ВАК,
действительный член Российской инженерной академии – ученый секретарь Кубанского отделения;
доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции,
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
olhovatov_e@inbox.ru

Храпко Ольга Петровна
кандидат технических наук,
доцент ВАК,
доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции,
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
hrapko_op@mail.ru

Сымулов Виталий Олегович
обучающийся 4-го курса бакалавриата,
факультет пищевых технологий,
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина
vssymulov@mail.ru

Аннотация. Изучены методики оценки отдельных функциональных технологических свойства белков. Проведены исследования модификации свойств белка на модельном объекте. Сформулирован способ модификации функциональных свойств белка цельнозерновой сои.

Ключевые слова: белок, функциональные технологические свойства, пищевые системы, стабилизация.

Olkhovatov Egor Anatolyevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor
of the Higher Attestation Commission,
full member of the Russian Academy of Engineering – Academic Secretary of the Kuban branch;
Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Plant Products,
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
olhovatov_e@inbox.ru

Khrapko Olga Petrovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Higher Attesta-tion Commission,
Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Plant Products,
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
hrapko_op@mail.ru

Symulov Vitaly Olegovich
4nd year bachelor's Student,
Faculty of Food Technology,
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
vssymulov@mail.ru

Annotation. Methods for evaluating individual functional and technological properties of proteins have been studied. Modification of protein properties on a model object has been studied. A method for modifying the functional properties of whole-grain soy protein has been formulated.

Keywords: protein, functional technological properties, food systems, stabilization.

Задача создания поликомпонентных продуктов, в состав которых входят ингредиенты различных нутриентных групп, для формирования высоких потребительских свойств требует решения проблемы придания стабильности создаваемым пищевым системам. Для целого ряда компонентов продовольственного сырья и продуктов питания характерны функциональные технологические свойства. Так, белкам свойственны жироудерживающая (ЖУС) или жиросвязывающая (ЖС) и влагоудерживающая (ВУС) или водосвязывающая (ВС) способности – интенсивность связывания жиров или воды при формировании стабильной коллоидной системы, не разделяющейся при технологической обработке и в период хранения [1].

Таким образом, основной решаемой задачей должен стать поиск пути стабилизации получаемой системы с модификацией функциональных технологических свойств белков. На первом этапе работы было проведено изучение опыта предшественников, для чего осуществлен обзор идейно близких разработок [2].

Необходимо особо отметить, что ни один из рассмотренных способов не применяет физических мер воздействия на белок для формирования функциональных технологических свойств белка, содержащегося в составе сырья. При этом результаты,

стабильно получаемые исследователями из КубГАУ [3, 4], позволяют сформулировать гипотезу о возможности модификации функциональных технологических свойств растительного белка для стабилизации пищевых систем [5]. В числе результатов, достижение которых становится возможным в результате проведенных исследований – моделирование и оптимизация методом математического планирования состава композитных смесей для производства хлеба повышенной пищевой и биологической ценности [6].

Целью проводимых нами исследований является поиск путей модификации функциональных технологических свойств растительного белка для получения пищевых систем с высокой степенью стабильности

Задачи работы сформулированы исходя из цели и для ее реализации:

– определить функциональные технологические свойства исследуемых белков на модельном объекте (контроль в эксперименте);

– провести исследование по модификации свойств белка с применением электрофизических воздействий на модельном объекте;

– исследовать водо- и маслоудерживающую способности (ВУС и МУС) белков цельного зерна сои;

– разработать способы модификации функциональных свойств белка цельнозерновой сои как основы для обогащаемой стабильной белковой начинки кондитерских изделий;

Объектами исследования являются:

– изолят соевого белка – в качестве модельного объекта;

– цельное зерно сои современных высокобелковых сортов отечественной селекции (ВНИИМК, г. Краснодар) – было выбрано по причине богатого биохимического состава, содержащего, в т. ч., минералы и пектиновые вещества.

При исследовании функциональных свойств белкового изолята определяли такие показатели как жироудерживающая и водоудерживающая способности (МУС и ВУС) [1].

Для определения жироудерживающей способности навеску изолята белка соевого массой 5 г помещали во взвешенную градуированную центрифужную пробирку, добавляли 30 мл рафинированного и дезодорированного подсолнечного масла. Смесь перемешивали в течение 1 мин при скорости вращения электрической мешалки 1000 об/мин, затем отстаивали 30 мин, после чего центрифугировали 15 мин при 4000 об/мин, взвешивали пробирку с белком и маслом и замеряли общий объем смеси в пробирке и объем масла, оставшегося не адсорбированным. Неадсорбированное масло сливали, пробирку устанавливали в наклонном положении под углом 10–15° на 10 мин для удаления оставшегося масла. После чего пробирки взвешивали.

Маслоудерживающую способность рассчитывали по формуле (1):

$$\text{МУС} = \frac{a-b}{c}, \quad (1)$$

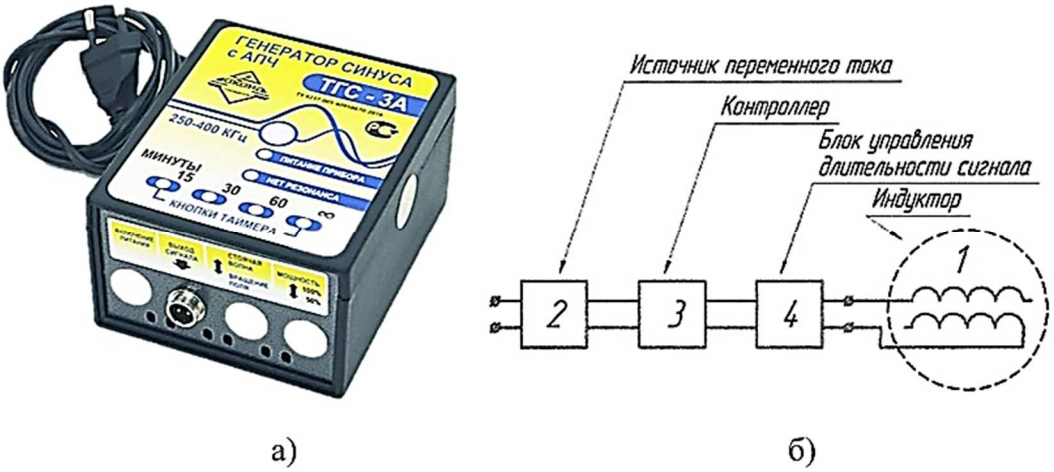
где *а* – масса пробирки с соевым белковым изолятом и связанным маслом, г; *в* – масса пробирки с соевым белковым изолятом, г; *с* – навеска соевого белкового изолята, г.

Водоудерживающую способность определяли аналогично жироудерживающей способности, вместо масла используя воду.

На первом этапе работы объекты исследования подвергали сочетанному воздействию электростатики м электромагнитного поля в килогерцовом диапазоне, пользуясь возможностями работы прибора ТГС-3А (г. Тольятти, ООО МНПФ «ЮКОНД»).

Генератор синуса ТГС-3А имеет автоматическую подстройку частоты от 250 до 400 КГц (АПЧ) под катушку, входящую в комплект. Прибор снабжен таймером со звуковым сигналом, время отключения которого разделено на 4 режима:15, 30, 60 мин и режим «∞». Генератор начинает работать при нажатии кнопки таймера выбранного режима длительности работы прибора. Аппарат обеспечен встроенным блоком питания с фильтром для гашения высокочастотных импульсных помех. Генератор имеет систему контроля резонанса и соответствующий световой индикатор. Имеется переключатель, который позволяет переходить из режима стоячей волны «I», в режим вращения статического поля «О», а также возможность модуляции по ряду Фибоначчи.

Внешний вид прибора ТГС-3А и его электрическая схема приведены на рисунке 1.



а) б)

Рисунок 1 – Внешний вид прибора ТГС-3А (а) и его электрическая схема (б)

Результаты исследования маслоудерживающей способности (МУС) белков соевого изолята с применением прибора ТГС-3А приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования маслоудерживающей способности (МУС) белков соевого изолята с применением прибора ТГС-3А

Тип воздействия	МУС, %, по режимам обработок				Контроль (без обработки)
	Вращение поля		Стоячая волна		
	100 ед	50 ед	100 ед	50 ед	
Электростатика	222,0	220,5	224,0	222,3	214,5
Электромагнит	263,1	245,3	262,8	250,2	214,5

Из приведенных данных видно, что заметные изменения значений маслоудерживающей способности получены при электромагнитном воздействии, при этом электростатика весомого вклада в формирование функционального технологического свойства белка модельной системы не внесла.

Результаты исследования водоудерживающей способности (ВУС) белков модельной системы с применением прибора ТГС-3А приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования водоудерживающей способности (ВУС) белков соевого изолята с применением прибора ТГС-3А

Тип воздействия	ВУС, %, по режимам обработок				Контроль (без обработки)
	Вращение поля		Стоячая волна		
	100 ед	50 ед	100 ед	50 ед	
Электростатика	219,4	216,7	215,1	212,2	190,0
Электромагнит	427,3	255,0	430,5	257,0	190,0

Из приведенных в таблице данных видно, что, аналогично полученным ранее данным по параметру МУС, заметные изменения значений показателя водоудерживающей способности получены при электромагнитном воздействии. Электростатика также весомого вклада в формирование и этого функционального технологического свойства белка модельной системы не внесла.

Природой наблюдаемого является способность белка формировать коллоидные системы в зависимости от заряда, приобретаемого белковой молекулой, формирующей коллоидную частицу, становясь ее ядром, и его плотности, что возможно обеспечить воздействием электромагнитного поля, управляя электрохимическими параметрами происходящего взаимодействия белков с диполями воды.

Не удовлетворившись полученными результатами, на втором этапе исследований модельную белковую систему было решено подвергнуть воздействию электромаг-

нитного поля в низкочастотном диапазоне (ЭМП НЧ) и ультразвуковой обработки (УЗ). Это станет предметом наших дальнейших исследований, поскольку полученные на настоящем этапе исследований результаты все же положительны и требуют всестороннего изучения, что позволит разработать способ модификации функциональных технологических свойств белка при использовании цельнозерновой сои в составе продукта.

Литература

1. Щеколдина Т.В. Совершенствование технологии хлебобулочных изделий повышенной биологической ценности с использованием белкового изолята подсолнечного шрота: специальность 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства» : дис. … кандид. техн. наук / Щеколдина Татьяна Владимировна. – Краснодар, 2010. – 169 с.
2. Ольховатов Е.А. Способы модификации функциональных свойств белка / Е. А. Ольховатов, О.П. Храпко, В.О. Сымулов // Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы: материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Майкоп : Магарин Олег Григорьевич, 2024. – С. 231–233.
3. Патент № 2825224 C1 Российская Федерация, МПК A23L 21/12, A23L 33/00, A23L 5/30. Способ получения джема из субтропических плодов: № 2023115558: заявл. 13.06.2023: опубл. 22.08.2024 / А.Н. Акаба, Е.В. Щербакова; заявитель ФГБОУ ВО «КубГАУ».
4. Патент № 2825227 C1 Российская Федерация, МПК A23L 21/12, A23L 33/00, A23L 5/30. Джем из субтропических плодов: № 2023115561: заявл. 13.06.2023: опубл. 22.08.2024 / А.Н. Акаба, Е.В. Щербакова; заявитель ФГБОУ ВО «КубГАУ».
5. Лозовский И.В. Модификация функциональных свойств белков гороха (Pisum sativum, L.) / И.В. Лозовский, Т.В. Орлова // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов: Сборник докладов IV Международной научно-практической конференции. – Курск : ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2022. – С. 367–369.
6. Айрумян В.Ю. Моделирование и оптимизация методом математического планирования состава композитных смесей для производства хлеба повышенной пищевой и биологической ценности / В.Ю. Айрумян, Н.В. Сокол, Е.А. Ольховатов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2020. – № 5(64). – С. 40–45. – DOI: 10.33979/2219-8466-2020-64-5-40-45

References

1. Shchekoldina T.V. Improving the technology of bakery products of increased biological value using protein isolate of sunflower meal: specialty 05.18.01 «Technology of processing, storage and processing of cereals, legumes, cereals, fruit and vegetable products and viticulture» : dis. ... candide. Technical Sciences / Shchekoldina Tatiana Vladimirovna. – Krasnodar, 2010. – 169 p.
2. Olkhovatov E.A. Methods of modification of functional properties of protein / E.A. Olkhovatov, O.P. Khrapko, V.O. Symulov // Science, education and innovations for agriculture: status, problems and prospects: proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. – Maikop : Oleg Grigorievich Magarin, 2024. – P. 231–233.
3. Patent № 2825224 C1 Russian Federation, IPC A23L 21/12, A23L 33/00, A23L 5/30. Method of obtaining jam from subtropical fruits: № 2023115558: application. 06/13/2023: published. 08/22/2024 / A.N. Akaba, E.V. Shcherbakova; applicant FGBOU HE «KubGAU».
4. Patent № 2825227 C1 Russian Federation, IPC A23L 21/12, A23L 33/00, A23L 5/30. Jam from subtropical fruits: № 2023115561 : application. 06/13/2023 : published. 08/22/2024 / A.N. Akaba, E.V. Shcherbakova; applicant FSBEI HE «KubGAU».
5. Lozovsky I.V. Modification of the functional properties of pea proteins (Pisum sativum, L.) / I.V. Lozovsky, T.V. Orlova // Problems and prospects of scientific and innovative support of the agro-industrial complex of the regions: Collection of reports of the IV International Scientific and practical Conference. – Kursk : Kursk Federal State Budgetary Budgetary Institution «Kursk Federal Agricultural Research Center», 2022. – p. 367–369.
6. Ayrumyan V.Yu. Olkhovatov // Modeling and optimization by mathematical planning of the composition of composite mixtures for the production of bread of increased nutritional and biological value / V.Yu. Ayrumyan, N.V. Ayrumyan, E.A. Sokol // Technology and commodity science of innovative food products. – 2020. – № 5(64). – P. 40–45. – DOI: 10.33979/2219-8466-2020-64-5-40-45

УДК 536.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАТЕРИАЛОВ, ОСНОВАННЫХ НА ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МИНИМАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ GYROID

♦♦♦♦♦

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECTIVE THERMAL CONDUCTIVITY OF MATERIALS BASED ON THE TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACE GYROID

Попкова Ангелина Сергеевна
студентка кафедры промышленная теплоэнергетика,
Самарский государственный технический университет
angelinaapopkova@gmail.com

Брагин Дмитрий Михайлович
аспирант кафедры промышленная теплоэнергетика,
Самарский государственный технический университет
Dimabragin2204@yandex.ru

Зинина Софья Алексеевна
аспирант кафедры промышленная теплоэнергетика,
Самарский государственный технический университет
sofazinina4@gmail.com

Аннотация. В статье проведено исследование пористых материалов, основанных на упорядоченной структуре трижды периодической минимальной поверхности Gyroid. На установке ИТП-МГ 100 экспериментально определенна теплопроводность образцов с разной пористостью. Геометрические параметры, такие как толщина стенок, пористость, и размер ячейки оказывают значительное влияние на теплофизические свойства материалов. Для образцов с максимальной пористостью (φ = 0,873) значение λ составило 0,071 Вт $м^{-1}·К^{-1}$. Для изготовления опытных образцов использовался материал Anycubic Basic Resin, с теплопроводностью 0.217 Вт $м^{-1}·К^{-1}$, определенной в рамках текущего исследования.

Ключевые слова: пористый материал, Gyroid, трижды периодическая минимальная поверхность, теплопроводность.

Popkova Angelina Sergeevna
Student of the Department
of Industrial Thermal Power Engineering,
Samara State Technical University
angelinaapopkova@gmail.com

Bragin Dmitry Mikhailovich
Postgraduate Student of the Department
of Industrial Thermal Power Engineering,
Samara State Technical University
Dimabragin2204@yandex.ru

Zinina Sofya Alekseevna
Postgraduate student of the Department
of Industrial Thermal Power Engineering,
Samara State Technical University
sofazinina4@gmail.com

Annotation. This article presents a study of porous materials based on the ordered structure of the triply periodic minimal surface Gyroid. The thermal conductivity of samples with different porosity levels was experimentally determined using the ITP-MG 100 setup. Geometric parameters such as wall thickness, porosity, and cell size have a significant influence on the thermophysical properties of the materials. For samples with maximum porosity (φ = 0.873), the λ value was 0.071 $W·m^{-1}·K^{-1}$. The test samples were fabricated using Anycubic Basic Resin, which has a thermal conductivity of 0.217 $W·m^{-1}·K^{-1}$, as determined in the current study.

Keywords: porous material, Gyroid, triply periodic minimal surface, thermal conductivity.

***Благодарности**: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10044, rscf.ru/project/23-79-10044/.*

Введение

Разработка материалов с заданными свойствами является одной из ключевых задач современной науки и инженерии [1]. Такие материалы могут открывать новые возможности для научных и промышленных разработок в различных отраслях энергетики, химических технологий и машиностроения.

В качестве материалов с заданными свойствами могут быть использованы пористые материалы. Пористые материалы представляют значительный научный и технологический интерес для хранения энергии [2]. Пористые материалы обладают значительными преимуществами по сравнению со сплошными материалами благодаря большой площади поверхности, настраиваемой структуре пор, низкой массе. Благодаря внутренним пустотам, снижается плотность материала, что позволяет использовать такие материалы в теплоизоляции, когда сплошные материалы менее эффективны [3].

Среди пористых материалов особого внимания заслуживают материалы, основанные на TPMS-структуре (от англ. Triply periodic minimal surface). Одним из таких ма-

териалов являются пористые структуры на основе Gyroid. Материалы на основе Gyroid превосходят классические пористые материалы по таким параметрам как прочность, низкая масса, удельная площадь поверхности и др [4]. В частности, одной из особенностей материалов на основе TPMS является способность делить пространство на два не пересекаемых объема/лабиринта, что позволяет разрабатывать новые рекуперативные теплообменные устройства с большей площадью поверхности. На сегодняшний день исследования теплообменных устройств со структурой TPMS активно ведутся с помощью численного моделирования. Такие структуры демонстрируют значительное улучшение теплопередачи – до 7,5 раз выше, чем у обычных пластинчатых теплообменников. Эта структура обеспечивает прирост теплопередачи на 30–80 %, и в целом превосходит традиционные теплообменники PCHE на 15–100 % [5–7].

Свойства материала, основанного на TPMS, могут быть изменены на стадии изготовления путем выбора геометрических параметров ячеек. Основные изменения геометрических параметров основаны на параметрических уравнениях самих TPMS структур, в частности изменениях периода поверхности уровня и параметре смещения эквидистантных поверхностей уровня (толщина ячейки). Так, например, структура Schwarz Primitive описывается уравнением 1, а период поверхности или длина ячейки (a) и параметр смещения поверхности уровня или толщина (δ) что влияет на механические характеристики и теплофизические свойства материала [8]:

$$\cos(\frac{2\pi x}{a}) + \cos(\frac{2\pi y}{a}) + \cos(\frac{2\pi z}{a}) = \pm\frac{\delta}{2}. \quad (1)$$

На текущий момент внедрение структур TPMS в энергетику ограничено из-за неясности их теплофизических свойств, что затрудняет точное прогнозирование теплопереноса и оптимизацию теплообменных процессов. В ходе численных исследований и анализов полученных результатов были получены эмпирические линейные зависимости коэффициента теплопроводности от относительной толщины стенки ячейки Schwarz I WP [9].

Исследование гидродинамических свойств TPMS материалов экспериментальными методами позволило выявить отклонение до 70 % от численных моделей [10]. Очевидно, что в рамках эффективной теплопроводности также могут наблюдаться отклонения от предложенных эмпирических зависимостей, полученных по численным моделям переноса тепла. В связи с этим ставится вопрос о проведении экспериментального исследования теплопереноса в TPMS материалах. Эксперименты позволяют получить данные о теплопроводности, учитывающие все физические особенности структуры, что необходимо для практического применения в энергетике.

Формирование геометрии

TPMS формируются как математические поверхности с минимальной площадью и обладают периодической структурой в трех измерениях. Такие структуры создают с помощью поверхностей уровня или специальных уравнений, где параметр $\frac{\delta}{2}$ формирует толщину поверхности, а параметр «*a*» изменяет размер ячейки. Среди наиболее известных структур TPMS выделяют поверхности Schwarz P, Schwarz D и Gyroid. Геометрия TPMS определяется тригонометрическим уравнением, параметрами ячейки a, толщиной стенок δ и пористостью φ. Эти характеристики существенно влияют на механические и теплофизические свойства материала.

Пористость – это доля объёма пор в общем объёме пористого тела, выражаемая как безразмерная величина от 0 до 1, которая показывает, какая часть объёма материала занята пустотами, которые могут быть заполнены газом, жидкостью. Пористость рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{общ}}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{пор}}$ – объём пор; $V_{\text{общ}}$ – общий объем образца.

Формирование TPMS-структуры для опытных образцов осуществлялось через построение поверхности в Surface Evolver, обработку в SolidWorks, создание твердотельной модели и финальную подготовку в SpaceClaim Direct Modeler (SCDM Ansys). После формирования САПР модели образцы изготавливались методом 3D-печати на принтере Phrozen Sonic Mighty 4K 3D с технологией LCD (от англ. Liquid Crystal Display). После тщательной постобработки материалов измерялась фактическая пористость образца как отношение массы опытного образца к массе сплошного образца такого же объема. Для изготовления образцов использовался фотополимер Anycubic Basic Resin. Теплопроводность материала определялась на сплошной пластине, изготовленной из этого материала и в рамках эксперимента составила 0.217 Вт $м^{-1} \cdot К^{-1}$.

Образцы, представленные на рисунке 1, использовались для проведения экспериментов на сертифицированной экспериментальной установке ИТП-МГ 100 (рис. 2).



Рисунок 1 – Опытные образцы материала, основанного на поверхности Gyroid

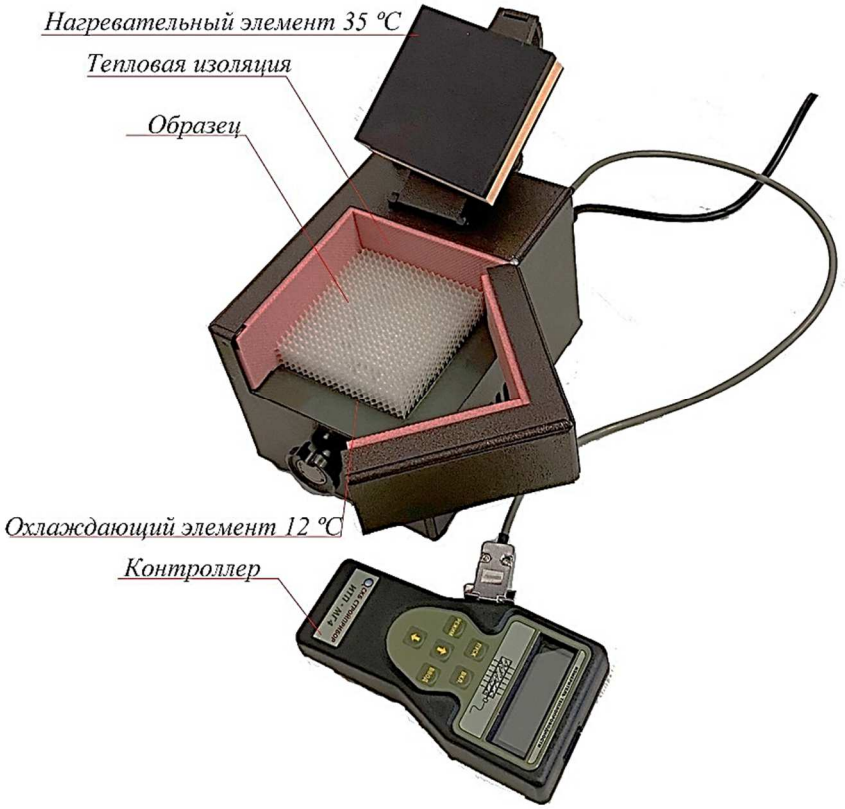


Рисунок 2 – Экспериментальная установка ИТП-МГ 100

Основными элементами этого аппарата являются нагревательный элемент, система охлаждения, термоизолированный короб и контроллер. В ходе эксперимента предварительно подготовленный образец помещался между нагревательной и охлаждающей плитами внутри термоизолированной камеры. После достижения стационарного теплового потока осуществлялись измерения температуры на гранях образца, плотности теплового потока и толщины материала. На основании этих данных рассчитывались коэффициент теплопроводности и термическое сопротивление исследуемого материала. Испытания проводились до достижения стационарного режима, что обычно занимало не более 30 минут. Верхняя сторона образца нагревалась с помощью нагревательного элемента до постоянной температуры 35° ± 0.5 °C, а нижняя сторона охлаждалась до температуры 12° ± 0.5 °C с помощью системы охлаждения. Результаты эксперимента сведены в таблице 1 и рисунке 3.

Таблица 1 – Геометрические параметры образцов

№ образца	φ	Масса, гр	Пористость факт.	a, мм	δ, мм	q, Вт/м^2	λ, Вт м$^{-1}$·К$^{-1}$
1	0	237	–	–	–	239	0.217
2	0.82	40	0.83	5	0.3	79	0.069
3	0.7	70	0.71	5	0.5	97	0.085
4	0.42	137	0.42	5	1	150	0.131
5	0.87	30	0.87	10	0.4	81	0.071
6	0.7	72	0.70	10	1	106	0.093
7	0.42	134	0.43	10	2	165	0.144

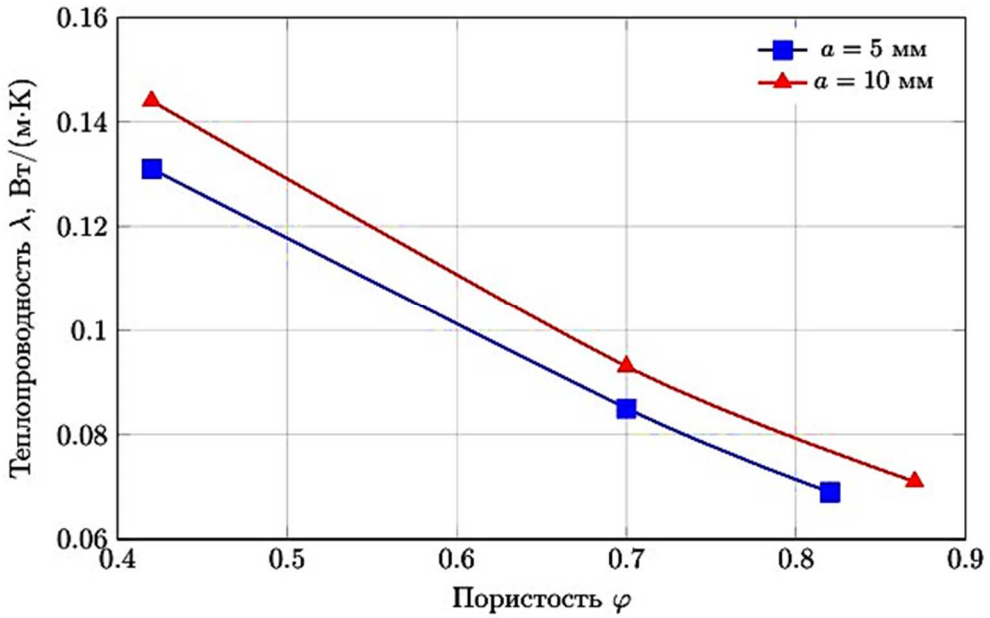


Рисунок 3 – Зависимость теплопроводности от пористости

Из рисунка 3 видно, что по результатам эксперимента с увеличением пористости материала коэффициент теплопроводности снижается. Однако при одной и той же пористости материала, образцы с большим размером ячейки демонстрируют увеличение теплопроводности до 10 %, что может быть вызвано влиянием конвекции. Для образцов с максимальной пористостью (φ = 0.873) значение λ составило 0.071 Вт м$^{-1}$·К$^{-1}$.

Заключение

В ходе экспериментального исследования было определено влияние пористости и структуры образцов на их теплопроводность. Также установлено, что увеличение размеров пор приводит к росту теплопроводности, что может быть вызвано влиянием конвекции. Полученные значения теплового потока для каждого образца позволяют количественно оценить термические характеристики материалов со структурой Gyroid. Однако

для полного понимания теплофизических свойств этих структур необходимы дальнейшие исследования влияния воздуха в межпоровом пространстве на теплоперенос конвекцией и излучением.

Литература

1. Rashidi S. Porous materials in building energy technologies – a review of the applications, modelling and experiments / S. Rashidi, J.A. Esfahani, N. Karimi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 91. – P. 229–247.
2. Recommendations for the characterization of porous solids (Technical Report) / J. Rouquerol [et al.] // Pure and applied chemistry. – 1994. – Vol. 66. – № 8. – P. 1739–1758.
3. Кудрявцев П.Г. Основные пути создания пористых композиционных материалов // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Т. 12. – № 5. – С. 256–269.
4. Исследование свойств регулярных структур, полученных аддитивными технологиями в сочетании с методами порошковой металлургии / Ю.И. Гордеев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2023. – № 10(763). – С. 28–43.
5. Dynamics and heat transfer characteristics of isolated liquid film in spray cooling / X. Zhao [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2022. – Vol. 183. – P. 122037.
6. A thermoacoustic refrigerator with multiple-bypass expansion cooling configuration for natural gas liquefaction / X. Wang [et al.] // Applied Energy. – 2022. – Vol. 313. – P. 118780.
7. Jo J.G. Thermal radiation attenuation performance of fine water spray using twin-fluid nozzles with multiple holes / J.G. Jo, C.Y. Lee // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2023. – Vol. 37. – № 10. – P. 5431–5440.
8. 3D-печать и механические свойства полиамидных изделий с топологией «примитив Шварца» / С.В. Балабанов [и др.] // Журнал технической физики. – 2020. – Т. 90. – № 2. – С. 223–227.
9. Еремин А.В. Исследование теплопереноса в пористом материале на основе трижды периодических поверхностей минимальной энергии / А.В. Еремин, С.А. Зинина, О.Д. Олатуйи // Вестник Югорского государственного университета. – 2023. – № 1(68). – С. 60–66.
10. Thermo-hydraulic performance evaluation through experiment and simulation of additive manufactured Gyroid-structured heat exchanger / K. Yan [et al.] // Applied Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 241. – P. 122–402.

References

1. Rashidi S. Porous materials in building energy technologies – a review of the applications, modelling and experiments / S. Rashidi, J.A. Esfahani, N. Karimi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 91. – P. 229–247.
2. Recommendations for the characterization of porous solids (Technical Report) / J. Rouquerol [et al.] // Pure and applied chemistry. – 1994. – Vol. 66. – № 8. – P. 1739–1758.
3. Kudryavtsev P.G. The Main Ways of Creating Porous Composite Materials // Nanotechnology in Construction. – 2020. – Vol. 12. – № 5. – P. 256–269.
4. Research of the Properties of Regular Structures Obtained by Additive Technologies in Combination with Powder Metallurgy Methods / Yu.I. Gordeev [et al.] // Izvestiya of Higher Educational Institutions. Mechanical Engineering. – 2023. – № 10(763). – P. 28–43.
5. Dynamics and heat transfer characteristics of isolated liquid film in spray cooling / X. Zhao [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2022. – Vol. 183. – P. 122037.
6. A thermoacoustic refrigerator with multiple-bypass expansion cooling configuration for natural gas liquefaction / X. Wang [et al.] // Applied Energy. – 2022. – Vol. 313. – P. 118780.
7. Jo J.G. Thermal radiation attenuation performance of fine water spray using twin-fluid nozzles with multiple holes / J.G. Jo, C.Y. Lee // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2023. – Vol. 37. – № 10. – P. 5431–5440.
8. 3D printing and mechanical properties of polyamide products with a «Schwarz primitive» topology / S.V. Balabanov [et al.] // Journal of Technical Physics. – 2020. – Vol. 90. – № 2. – P. 223–227.
9. Eremin A.V. Investigation of heat transfer in a porous material based on three-periodic minimum-energy surfaces / A.V. Eremin, S.A. Zinina, O.D. Olatuyi // Bulletin of Yugra State University. – 2023. – № 1(68). – P. 60–66.
10. Thermo-hydraulic performance evaluation through experiment and simulation of additive manufactured Gyroid-structured heat exchanger / K. Yan [et al.] // Applied Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 241. – P. 122–402.

УДК 66.045.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МИНИМАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ШВАРЦА PRIMITIVE

♦♦♦♦♦

INVESTIGATION OF A HEAT EXCHANGE DEVICE BASED ON A THRICE PERIODIC MINIMUM SCHWARZ SURFACE PRIMITIVE

Попов Андрей Игоревич
кандидат технических наук,
доцент кафедры промышленная теплоэнергетика,
Самарский государственный технический университет
popov.ai@samgtu.ru

Брагин Дмитрий Михайлович
аспирант кафедры промышленная теплоэнергетика,
Самарский государственный технический университет
Dimabragin2204@yandex.ru

Зинина Софья Алексеевна
аспирант кафедры промышленная теплоэнергетика,
Самарский государственный технический университет
sofazinina4@gmail.com

Мустафин Равиль Мансурович
старший преподаватель
кафедры промышленная теплоэнергетика,
Самарский государственный технический университет
ravil-bk211@mail.ru

Кечин Никита Николаевич
аспирант кафедры промышленная теплоэнергетика,
Самарский государственный технический университет

Аннотация. В настоящей статье представлено исследование теплообменного устройства, структура которого основана на трижды периодической минимальной поверхности Шварца P. Трижды периодические минимальные поверхности – это поверхности, которое локально минимизируют площадь для заданной границы, так что средняя кривизна в каждой точке поверхности равна нулю. Трижды периодические минимальные поверхности обладают уникальными свойствами, в том числе, способностью разделять пространство на два непересекающихся лабиринта. Данное свойство позволяет использовать их в рекуперативных теплообменниках. Для создания геометрии теплообменника на основе минимальной поверхности Шварца P в работе использовались программные пакеты Surface Evolver и Space Claim. Численное моделирование теплообмена выполнялось в ANSYS Fluent. Тепловая мощность предлагаемой конструкции сравнивалась с мощностью классического трубчатого теплообменника, обладающего аналогичными массогабаритными характеристиками. В результате серии вычислительных экспериментов были построены контуры температуры и скорости в исследуемом теплообменнике. Выявлено, что особенности формы трижды периодической минимальной поверхности создают области местных сопротивлений, которые способствуют интенсификации теплообмена. Результаты также показывают, что теплообменник на основе трижды периодической минимальной поверхности Шварца P имеет большую тепловую мощность по сравнению с классическим трубчатым теплообменником.

Popov Andrey Igorevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Industrial Thermal Power Engineering,
Samara State Technical University
popov.ai@samgtu.ru

Bragin Dmitry Mikhailovich
Postgraduate Student of the Department
of Industrial Thermal Power Engineering,
Samara State Technical University
Dimabragin2204@yandex.ru

Zinina Sofya Alekseevna
Postgraduate student of the Department
of Industrial Thermal Power Engineering,
Samara State Technical University
sofazinina4@gmail.com

Mustafin Ravil Mansurovich
Senior Lecturer at the Department
of Industrial Thermal Power Engineering,
Samara State Technical University
ravil-bk211@mail.ru

Kechin Nikita Nikolaevich
Postgraduate Student of the Department
of Industrial Thermal Power Engineering,
Samara State Technical University

Annotation. This paper presents a study of a heat exchange device which structure is based on Schwarz P triply periodic minimal surface. Triply periodic minimal surfaces are surfaces that locally minimize the area for a given boundary, so that the average curvature at each point of the surface is zero. Triply periodic minimal surfaces have unique properties, including the ability to divide space into two non-intersecting labyrinths. This property allows them to be used in recuperative heat exchangers. To create the geometry of the heat exchanger based on Schwarz P minimal surface, the Surface Evolver and Space Claim software packages were used in the work. Numerical simulation of heat transfer was performed in ANSYS Fluent. The thermal power of the proposed design was compared with the power of a classic tubular heat exchanger with similar mass and size characteristics. As a result of a series of computational experiments, temperature and velocity contours were constructed in the heat exchanger under study. It was found that the shape features of the triply periodic minimal surface create areas of local resistance that contribute to the intensification of heat exchange. The results also show that the heat exchanger based on Schwarz P triply periodic minimal surface has a higher thermal power compared to the classic tubular heat exchanger.

Ключевые слова: минимальная поверхность, теплообмен, ANSYS, перепад давления, контур скорости.

Keywords: minimum surface, heat transfer, ANSYS, pressure drop, velocity contour.

***Благодарность**: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-79-00317. URL : https://rscf.ru/project/25-79-00317*

Введение

В настоящее время пористые материалы представляют большой интерес в области конструирования различного оборудования в космическом и авиационном машиностроении, энергетике, медицине и т.д.

Вне зависимости от размера пор структура пористых материалов может быть упорядоченная или неупорядоченная. Неупорядоченные пористые материалы характеризуются случайным распределением пор по всему объему тела. Это означает, что поры в таких материалах могут иметь различные размер и форму, не подчиняясь при этом какому-либо порядку.

Пористые материалы с упорядоченной структурой обладают регулярным и организованным характером распределения пор. Это означает, что поры имеют постоянный размер и порядок, следуя определенным геометрическим или кристаллическим шаблонам. Такие материалы чаще всего имеют решетчатую структуру, в которой поры выстроены по определенным направлениям и интервалам. Главным преимуществом пористых материалов с упорядоченной структурой является то, что они проще поддаются точному математическому описанию. Эти материалы часто используются в оптике, фотонике, катализе, сенсорах и других технологических областях, где контроль порядка и размера пор имеет важное значение для достижения конкретных свойств и функциональности.

Отдельно стоит сказать про особый класс пористых материалов с упорядоченной структурой, а именно пористые материалы со структурой, основанной на трижды периодических минимальных поверхностях (ТПМП). ТПМП – это поверхности, которые локально минимизируют площадь для заданной границы, так что средняя кривизна в каждой точке поверхности равна нулю. Эти поверхности обладают уникальными геометрическими характеристиками. Например, минимальная поверхность по своей природе гладкая, не имеет острых краев или углов и делит пространство на две или более непересекающиеся, переплетающиеся и бесконечные области, которые могут периодически повторяться в трех ортогональных направлениях. ТПМП наблюдаются в природе, например, в мыльных пленках [1], блок-сополимерах [2], крыльях бабочек [3, 4], морских ежах [5] и т.д.

Первое упоминание о ТПМП в литературе относится к 1865 году, когда немецкий математик Герман Шварц представил «Примитивную» («Primitive») и «Аламазную» («Diamond») поверхности. Почти столетие спустя несколько других ТПМП были представлены Аланом Шоном. [1] Возможно, одной из самых интересных ТПМП, открытых Шоном, была поверхность типа «Гироид» («Gyroid»), которая интенсивно исследовалась на предмет ее топологических свойств [6] в различных дисциплинах в течение последних двух десятилетий [7–9].

В настоящее время большое внимание трижды периодическим минимальным поверхностям уделяется со стороны таких ученых как Arash Ataee [10], Chung-Fu Cheng [11], Lu Han [12], Oraib Al-Ketan [13, 14], Dong-Wook Lee [15], Lei Zhang [16], Zhilong Cheng [17], Jiho Kim [18]. Очевидно, явным недостатком пористых материалов на основе трижды периодических минимальных поверхностей является сложность в изготовлении. Однако, развитие аддитивных технологий позволяет производить различные объекты со сложной структурой, в том числе материалы с ТПМП топологией. Поэтому столь стремительный интерес к применению таких структур в различных инженерных объектах наблюдается именно в последнее время.

Наиболее разработанными на сегодняшний день являются вопросы, связанные с изучением прочностных характеристик (при сжатии, растяжении, скручивании) пористых материалов на основе ТПМП [7–9]. Wang Z и др. в своем исследовании [7] обнаружили, что пористые структуры, основанные на трижды периодических минимальных поверхностях по прочности, не уступают сотовым панелям при одноосном сжатии. Од-

нако, в отличии от сотовых панелей ТПМП-материалы не ограничены направлением сжатия и могут выдерживать разнонаправленную нагрузку.

Множество исследований подтверждает эффективность применения ТПМП конструкций в различных инженерных задачах. В настоящее время аддитивные технологии позволяют изготавливать сложные макро- и микрорешетчатые структуры, а также устройства на их основе из различных метолов и пластиков. Полезной функцией аддитивного производства является возможность изготовления сложных мультифункциональных конструкций в едином корпусе без дополнительной сборки [19]. В связи с этим перспективным является конструирования компактных теплообменных устройств на основе трижды периодических минимальных поверхностей [20, 21]. Например, в работе Oh S. и др. [21] выполнено численное и экспериментальное исследование теплообменного устройства, в котором разделяющая среды стенка имеет форму ТПМП типа Gyroid. Исследования показывают, что подобная конструкция позволяет увеличить теплопередачу на 70–100 % по сравнению с классическими рекуперативными теплообменниками.

Целью настоящей работы является исследование теплообменного устройства, основанного на ТПМП Шварца P [22–24].

Материалы и методы исследования

Трижды периодическая минимальная поверхность Шварца P представлена на рисунке 1.

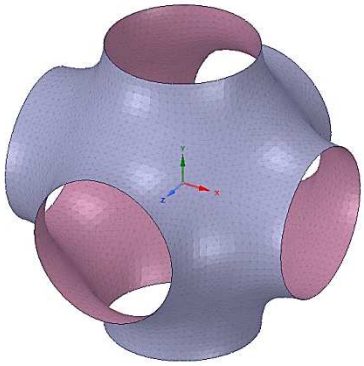


Рисунок 1 – Трижды периодическая минимальная поверхность Шварца P

Данная поверхность была сгенерирована с использованием программы Surface Evolver [25]. Последующее твердотельное моделирование выполнялось в программе Space Claim. При помощи функции утолщения поверхности, изображенной на рисунке 1, придавалась толщина путем построения эквидистант и заполнения пространства между эквидистантами материалом. Далее полученная твердотельная элементарная ячейка транслируется в ортогональных направлениях декартовой система координат, образуя ТПМП-решетку. Схема теплообмена через полученную решетку представлена на рисунке 2.

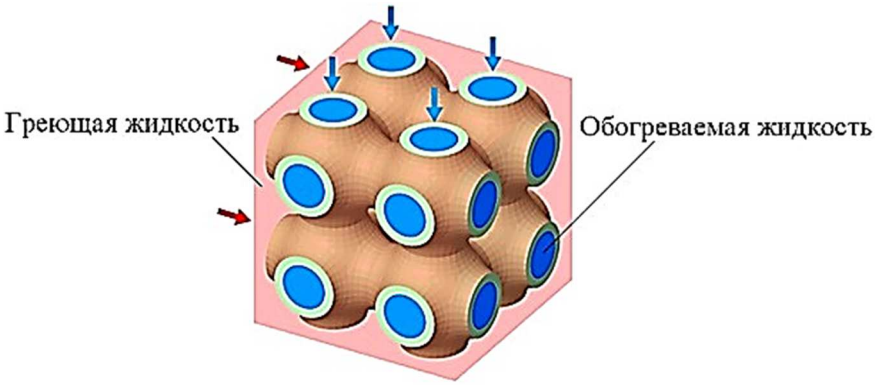


Рисунок 2 – Схема теплообмена

Трижды периодическая минимальная поверхность Шварца P делит пространство на два равных непересекающихся объема, по одному из которых движется греющая среда, а по-другому – нагреваемая. Использование ТПМП в конструкции теплообменных вместо классических трубных пучков позволяет значительно увеличить теплоотдачу и, следовательно, тепловую мощность устройств. В рамках настоящей работы выполнено численное исследование отдельного элемента ТПМП-теплообменника (рис. 2) в ANSYS Fluent.

Расчетная геометрия для элемента теплообменного устройства с ТПМП структурой представлена на рисунке 3. Область, в которой происходит теплопередача, состоит из решетки 3 × 3 × 3 (0.01 × 0.01 × 0.01 м) элементов ТПМП Шварца P. Непосредственно перед и после теплообменной области расположены участки стабилизации потоков длиной 0.03 м.

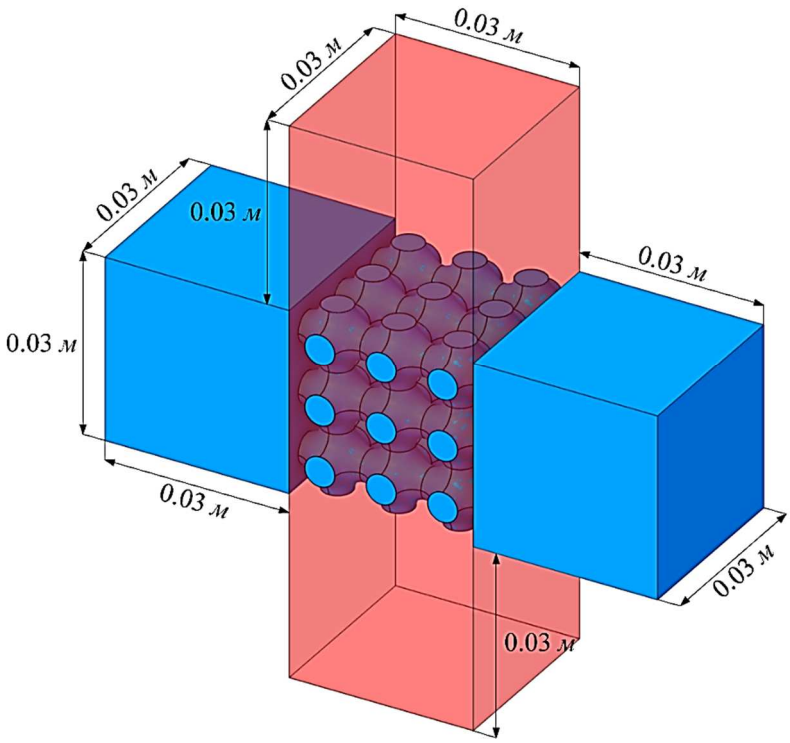


Рисунок 3 – Расчетная модель

Тепловая мощность предлагаемой конструкции сравнивалась с мощностью трубчатого теплообменного устройства, имеющего аналогичные массогабаритные характеристики и расходы рабочих сред. Начальными условиями для потока нагреваемой среды во всех случаях являлись $T_{\text{х}} = 0\ ^{\circ}C$ и $u_0 = 0.1 м/с$. Греющая среда, движущаяся перпендикулярно потоку нагреваемой среды, имеет начальную температуру $T_{\text{г}} = 100\ ^{\circ}C$. Скорость потока греющей среды варьировалась в диапазоне от 0.1 до 1 м/с. Условия для задачи также представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Краевые условия

Краевые условия	Значение
Начальная температура холодной жидкости	0 °C
Начальная температура горячей жидкости	100 °C
Скорость течения холодной жидкости	0.1 м/с
Скорость течения горячей жидкости	0.1 … 1 м/с

Сетка для решения задачи методом конечных элементов в ANSYS Fluent изображена на рисунке 4. Сетка состоит из ≈4 млн элементов. Анализ сеточной сходимости показал, что указанного количества элементов достаточно для получения результатов численного моделирования с погрешностью < 2 %.

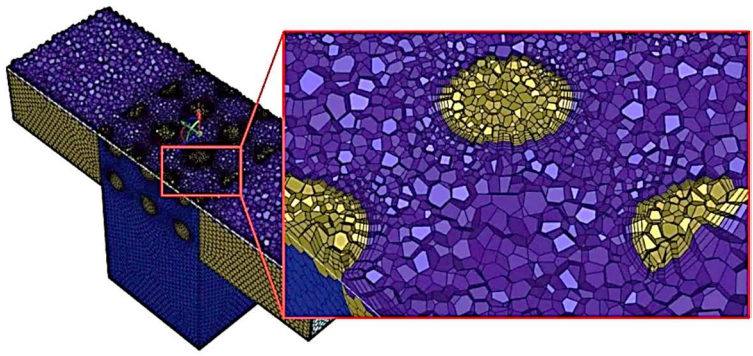
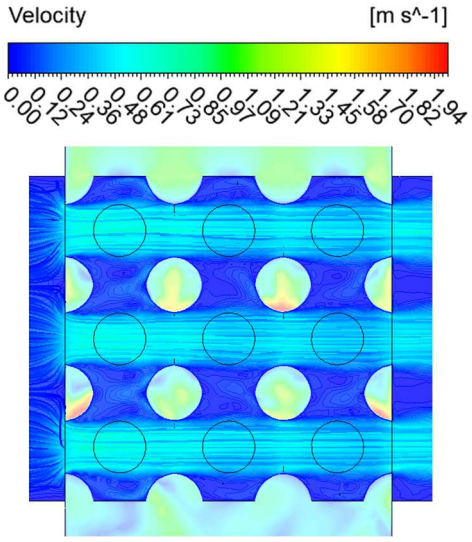


Рисунок 4 – Конечно элементная сетка

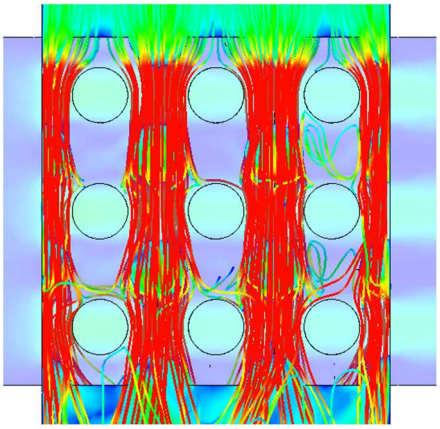
При моделировании течения жидкости в ТПМП-теплообменнике использовалась k – epsilon модель турбулентности.

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 5 представлены контуры распределения скорости в элементе теплообменника. Из анализа рисунка 5 можно заключить, что особенности формы трижды периодической минимальной поверхности создают области местных сопротивлений, которые способствуют интенсификации теплообмена.



а)



б)

Рисунок 5 – Контуры скорости:
а) поток обогреваемой среды; б) поток греющей среды

Результаты численного моделирования также позволили построить график зависимости температуры нагреваемой среды и потерь давления от начальной скорости греющей среды (рис. 6). При этом параметры ТПМП-теплообменника сравнивались с параметрами классического трубчатого теплообменника.

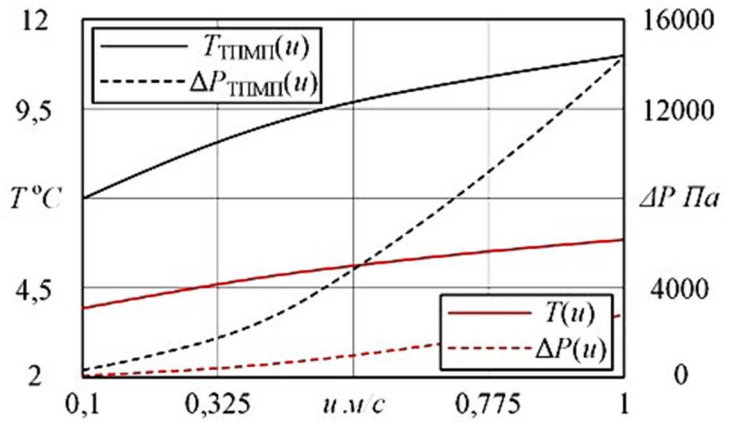


Рисунок 6 – График потерь давления и температуры обогреваемой жидкости от скорости греющей жидкости

Из анализа графика на рисунке 6 можно заключить, что ТПМП-теплообменник обладает большей тепловой мощностью по сравнению с трубчатым теплообменником при тех же массе и габаритах, и том же гидравлическом сопротивлении. Данное преимущество во многом связано с увеличением площади теплообмена, а также с турбулизацией потока, вызванной особенностями геометрии трижды периодических минимальных поверхностей.

Выводы и заключение

В работе проведено исследование элемента теплообменника, конструкция которого основана на трижды периодической минимальной поверхности Шварца Р.

С помощью численного моделирования в ANSYS Fluent получены контуры скорости в рассматриваемой геометрии. Также построены графики зависимости температуры и потерь давления обогреваемой жидкости от начальной скорости греющей жидкости.

Проведено сравнение тепловой мощности ТПМП теплообменника с мощностью классического теплообменного устройства, имеющего аналогичную массу и размеры. Результаты показывают, что ТПМП теплообменник имеет большую тепловую мощность по сравнению с трубчатым теплообменником при тех же массе и размерах, и том же гидравлическом сопротивлении. Это преимущество во многом обусловлено увеличением площади теплообмена, а также турбулизацией потока, вызванной особенностями геометрией трижды периодической минимальной поверхности.

Литература / References

1. Schoen A.H. Infinite periodic minimal surfaces without self-intersections. – National Aeronautics and Space Administration, 1970. – Vol. 5541.
2. Matsen M.W. Unifying weak-and strong-segregation block copolymer theories / M.W. Matsen, F.S. Bates // Macromolecules. – 1996. – Vol. 29. – № 4. – P. 1091–1098. DOI: https://doi.org/10.1021/ma951138i
3. Characterization of a mechanically tunable gyroid photonic crystal inspired by the butterfly parides sesostris / C. Pouya [et al.] // Advanced Optical Materials. – 2015. DOI: https://doi.org/10.1002/adom.201500436
4. Michielsen K. Gyroid cuticular structures in butterfly wing scales: biological photonic crystals / K. Michielsen, D.G. Stavenga // Journal of The Royal Society Interface. – 2008. – Vol. 5. – № 18. – P. 85–94. – URL : https://doi.org/10.1098/rsif.2007.1065
5. Profiting from nature: macroporous copper with superior mechanical properties / M. Lai [et al.] // Chemical communications. – 2007. – № 34. – P. 3547-3549. DOI: https://doi.org/10.1039/B707469G

6. Wu L. Engineering gyroid-structured functional materials via templates discovered in nature and in the lab / L. Wu, W. Zhang, D. Zhang // Small. – 2015. – Vol. 11. – № 38. – P. 5004–5022. DOI: https://doi.org/10.1002/smll.201500812
7. Mechanical behavior and deformation mechanism of triply periodic minimal surface sheet under compressive loading / Z. Wang [et al.] // Mechanics of Advanced Materials and Structures. – 2021. – Vol. 28. – № 19. – P. 2057–2069. DOI: https://doi.org/10.1080/15376494.2020.1829756
8. Elmadih W. et al. Mechanical vibration bandgaps in surface-based lattices //Additive Manufacturing. – 2019. – Vol. 25. – P. 421–429. – URL : https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.11.011
9. Mechanical properties of 3D printed polymeric Gyroid cellular structures: Experimental and finite element study / D.W. Abueidda [et al.] // Materials & Design. – 2019. – Vol. 165. – P. 107597. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107597
10. Ultrahigh-strength titanium gyroid scaffolds manufactured by selective laser melting (SLM) for bone implant applications / A. Ataee [et al.] // Acta Materialia. – 2018. – Vol. 158. – P. 354–368. DOI: https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.08.005
11. Nanoporous gyroid Ni/NiO/C nanocomposites from block copolymer templates with high capacity and stability for lithium storage / C.F. Cheng [et al.] // Journal of Materials Chemistry A. – 2018. – Vol. 6. – № 28. – P. 13676–13684. DOI: https://doi.org/10.1039/C8TA04077J
12. Han L. An overview of materials with triply periodic minimal surfaces and related geometry: from biological structures to self-assembled systems / L. Han, S. Che // Advanced Materials. – 2018. – Vol. 30. – № 17. – P. 1705708. DOI: https://doi.org/10.1002/adma.201705708
13. Al-Ketan O. Multifunctional mechanical metamaterials based on triply periodic minimal surface lattices / O. Al-Ketan, R.K. Abu Al-Rub // Advanced Engineering Materials. – 2019. – Vol. 21. – № 10. – P. 1900524. DOI: https://doi.org/10.1002/adem.201900524
14. Al-Ketan O. Topology-mechanical property relationship of 3D printed strut, skeletal, and sheet based periodic metallic cellular materials / O. Al-Ketan, R. Rowshan, R.K.A. Al-Rub // Additive Manufacturing. – 2018. – Vol. 19. – P. 167–183. DOI: https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.006
15. Lee D.W. Stiffness and yield strength of architectured foams based on the Schwarz Primitive triply periodic minimal surface / D.W. Lee, K.A. Khan, R.K.A. Al-Rub // International Journal of Plasticity. – 2017. – Vol. 95. – P. 1–20. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2017.03.005
16. Energy absorption characteristics of metallic triply periodic minimal surface sheet structures under compressive loading / L. Zhang [et al.] // Additive Manufacturing. – 2018. – Vol. 23. – P. 505–515. DOI https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.08.007
17. Cheng Z. Morphology, flow and heat transfer in triply periodic minimal surface based porous structures / Z. Cheng, R. Xu, P.X. Jiang // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2021. – Vol. 170. – P. 120902. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.120902
18. Kim J. 3D printed compact heat exchangers with mathematically defined core structures / J. Kim, D.J. Yoo // Journal of Computational Design and Engineering. – 2020. – Vol. 7. – №. 4. – P. 527–550. DOI: https://doi.org/10.1093/jcde/qwaa032
19. Yang S. A new part consolidation method to embrace the design freedom of additive manufacturing / S. Yang, Y. Tang, Y.F. Zhao // Journal of Manufacturing Processes. – 2015. – Vol. 20. – P. 444–449. DOI https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.06.024
20. Characterisation of heat transfer within 3D printed TPMS heat exchangers / B.W. Reynolds [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2023. – Vol. 212. – P. 124–264. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124264
21. Functional morphology change of TPMS structures for design and additive manufacturing of compact heat exchangers / S.H. Oh [et al.] // Additive Manufacturing. – 2023. – Vol. 76. – P. 103778. DOI: https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103778
22. Bragin D.M. Effective Thermal Conductivity of Porous Material Based on TPMS / D.M. Bragin, A.I. Popov, A.V. Eremin // 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – IEEE, 2023. – P. 965–968. DOI: https://doi.org/10.1109/SUMMA60232.2023.10349525
23. Experimental Study of Effective Thermal Conductivity of Materials Based on TPMS / D.M. Bragin [et al.] // 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – IEEE, 2023. – P. 983–985. DOI: https://doi.org/10.1109/SUMMA60232.2023.10349385
24. Popov A.I. Study of Aerodynamic in Porous Materials with Topology of Triply Periodic Minimal Surfaces / A.I. Popov, D.M. Bragin, A.V. Eremin // 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – IEEE, 2023. – P. 944–948. DOI: https://doi.org/0.1109/SUMMA60232.2023.10349440
25. Brakke K.A. The surface evolver //Experimental mathematics. – 1992. – Vol. 1. – № 2. – P. 141–165. DOI: https://doi.org/10.1080/10586458.1992.10504253

УДК 504.05

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДВЕДЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

♦♦♦♦♦

METAL STRUCTURES IN WATER SUPPLY AND DRAINAGE SYSTEMS

Прокопцова Наталия Сергеевна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
natali240703@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются особенности применения металлических конструкций в системах водоподведения и водоотведения. Анализируются преимущества и недостатки различных металлов, используемых в трубопроводах, резервуарах и других элементах инфраструктуры. Рассмотрены вопросы коррозионной стойкости, долговечности и экономической эффективности металлических конструкций. Приводятся примеры современных технологий защиты и эксплуатации металлических систем.

Ключевые слова: металлические конструкции, водоподведение, водоотведение, коррозия, трубопроводы, резервуары, защитные покрытия.

Prokoptsova Natalia Sergeevna
Student,
Kuban State University of Technology
natali240703@mail.ru

Annotation. This article discusses the features of using metal structures in water supply and drainage systems. It analyzes the advantages and disadvantages of various metals used in pipelines, tanks, and other infrastructure elements. Issues of corrosion resistance, durability, and economic efficiency of metal structures are considered. Examples of modern protection and operation technologies for metal systems are provided.

Keywords: metal structures, water supply, drainage, corrosion, pipelines, tanks, protective coatings.

Системы водоснабжения и водоотведения являются важнейшими элементами инфраструктуры городов и промышленных предприятий. Надежность и долговечность этих систем во многом зависят от материалов, используемых при их строительстве. Металлические конструкции, благодаря своей прочности, устойчивости к механическим нагрузкам и относительной простоте монтажа, широко применяются в данных системах. Однако их использование сопряжено с рядом проблем, главной из которых является коррозия.

Цель исследования заключается в комплексном анализе применения металлических конструкций в системах водоподведения и водоотведения, включая оценку их эксплуатационных характеристик, коррозионной стойкости и методов защиты.

Для достижения этих целей были сформулированы следующие задачи:

1. Изучить виды металлических конструкций, используемых в системах водоснабжения и водоотведения.
2. Проанализировать преимущества и недостатки металлов (сталь, чугун, медь, нержавеющая сталь) в сравнении с альтернативными материалами.
3. Исследовать основные виды коррозии и факторы, влияющие на разрушение металлических элементов в водной и агрессивной среде.
4. Рассмотреть современные методы защиты от коррозии, включая покрытия, катодную защиту и легирование.

Металлические конструкции в системах водоподведения и водоотведения представлены следующими основными элементами:

– Трубопроводы – используются для транспортировки воды и стоков. Наиболее распространены стальные, чугунные и медные трубы;

– Резервуары и баки – применяются для хранения воды (стальные и железобетонные с металлической облицовкой);

– Опорные конструкции и крепежные элементы – обеспечивают устойчивость трубопроводов и оборудования:

– Запорная и регулирующая арматура – изготавливается из чугуна, стали и латуни.

Каждый тип металла обладает своими эксплуатационными характеристиками, что определяет область его применения. Один из самых популярных видов металлов –

это черные и их сплавы. При этом основу материала составляет железо (более 50% по массе). У этого вида металла высокая плотность и ферромагнетизм, относительно высокая температура плавления. Материал способен хорошо обрабатываться давлением, у него высокая прочность, твердость и износостойкость. При этом у черных металлов высокая склонность к коррозии (ржавлению) в присутствии влаги/кислорода. Цветные сильно отличаются от железа и его сплавов. У них ряд уникальных свойств. Например, высокая электропроводность (медь, алюминий), стойкость к коррозии, легкость и пластичность, жаропрочность.

Преимущества МК: высокая механическая прочность, устойчивость к гидроударам и перепадам давления, возможность использования в широком диапазоне температур, длительный срок службы при правильной защите от коррозии.

Недостатки МК: подверженность коррозии, особенно в агрессивных средах, высокая стоимость некоторых металлов (например, нержавеющей стали), необходимость регулярного обслуживания и защиты.

Коррозия и методы защиты металлических конструкций.

Коррозия – главный враг металлических систем водоснабжения и водоотведения.

Основные виды коррозии:

– Электрохимическая – процесс разрушения материалов, вызванный химическими реакциями, которые происходят под влиянием электрического тока в присутствии воды или других катализаторов.

– Атмосферная – процесс разрушения металлов под воздействием окружающей воздушной среды. Это наиболее распространённый вид коррозии, ей подвержены металлоконструкции, эксплуатируемые на открытом воздухе: трубопроводы, металлические части строений, опор, мостов, транспортные и погрузочно-разгрузочные средства.

– Биокоррозия – это разрушение материала, вызванное жизнедеятельностью микроорганизмов (бактерий, грибов, водорослей) или их продуктов. Процесс носит локальный характер, поверхность материала становится шероховатой, появляются углубления, в которых накапливаются коррозионные продукты.

Методы защиты:

1. Нанесение защитных покрытий (эпоксидные смолы, цинкование, полимерные материалы).
2. Катодная защита – использование протекторов или внешнего тока.
3. Легирование металлов – добавление хрома, никеля для повышения коррозионной стойкости.
4. Регулярная диагностика и очистка – предотвращение отложений и повреждений.

Современные технологии и перспективы развития.

Современные тенденции в использовании металлических конструкций включают:

– Применение «композитных материалов» (металлопластиковые трубы).

– Использование «нержавеющих сталей» с повышенной устойчивостью к агрессивным средам.

– Развитие «умных систем мониторинга» коррозии и износа.

– Внедрение «3D-печати» для изготовления сложных металлических элементов.

Таким образом металлические конструкции остаются важным компонентом систем водоподведения и водоотведения благодаря своей прочности и надежности. Однако их долговечность напрямую зависит от качества защиты от коррозии. Современные технологии позволяют значительно увеличить срок службы металлических элементов, снижая затраты на ремонт и замену. Развитие материаловедения и методов антикоррозионной защиты открывает новые перспективы для повышения эффективности водопроводных и канализационных систем.

Литература

1. ГОСТ 3262-75 «Трубы стальные водогазопроводные».
2. СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».
3. Леонова А.Н. База данных учебного материала «Антикоррозионная защита и восстановление строительных конструкций» / А.Н. Леонова, Г.В. Гаврилов, А.А. Вороной // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019621231, 10.07.2019. Заявка № 2019621119 от 01.07.2019.
4. Коррозия и защита металлов / Под ред. А.М. Сухотина. – М. : Металлургия, 2018.
5. Леонова А.Н. Сравнительный анализ различных способов защиты металлических конструкций от коррозии / А.Н. Леонова, А.И. Кайшева, А.М. Лунёв // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 1. – С. 118–123.
5. Муханов К.К. Металлические конструкции. – М. : Стройиздат, 2014. – 576 с.
6. Леонова А.Н. Электрохимическая коррозия металлов / А.Н. Леонова, Е.С. Мягкова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 4. – С. 119–121.

References

1. GOST 3262-75 «Steel Water and Gas Pipes».
2. SP 31.13330.2012 «Water Supply. External Networks and Structures».
3. Leonova A.N. Database of Educational Materials «Anticorrosion Protection and Restoration of Building Structures» / A.N. Leonova, G.V. Gavrilov, A.A. Voronoy // Database Registration Certificate RU 2019621231, July 10, 2019. Application № 2019621119 dated July 1, 2019.
4. Corrosion and Protection of Metals / Edited by A.M. Sukhotin. – M. : Metallurgy, 2018.
5. Leonova A.N. Comparative Analysis of Various Methods of Protecting Metal Structures from Corrosion / A.N. Leonova, A.I. Kaysheva, A.M. Lunev // Science. Engineering. Technologies (Polytechnical Bulletin). – 2023. – № 1. – P. 118–123.
6. Leonova A.N. Electrochemical corrosion of metals / A.N. Leonova, E.S. Myagkova // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2021. – № 4. – P. 119–121.

УДК 504.05

СВАРКА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ
♦♦♦♦♦
WELDING IN METAL STRUCTURES

Финагенов Алексей Витальевич
студент,
Кубанский государственный технологический университет
finagenov711@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные аспекты сварки металлических конструкций, включая методы, технологии, оборудование и контроль качества. Особое внимание уделено преимуществам и недостаткам различных видов сварки, а также их применению в строительстве и промышленности.

Ключевые слова: сварка, металлические конструкции, дуговая сварка, газовая сварка, контроль качества, сварочные деформации.

Finagenov Alexey Vitalievich
Student,
Kuban State University of Technology
finagenov711@mail.ru

Annotation. This article discusses the main aspects of welding metal structures, including methods, technologies, equipment, and quality control. Special attention is given to the advantages and disadvantages of various types of welding, as well as their application in construction and industry.

Keywords: welding, metal structures, arc welding, gas welding, quality control, welding deformations.

Цель исследования заключается в том, чтобы изучить современные методы сварки металлических конструкций, их особенности, преимущества и недостатки, а также рассмотреть вопросы контроля качества сварных соединений.

Для достижения этих целей были сформулированы следующие задачи:

1. Изучить основные методы сварки, применяемые в металлоконструкциях, их преимущества и недостатки.
2. Рассмотреть оборудование и материалы, используемые в сварочных процессах, и их влияние на качество соединений.
3. Проанализировать технологические особенности сварки, включая подготовку кромок, выбор режимов и минимизацию деформаций.
4. Исследовать методы контроля качества сварных швов, включая визуальный осмотр, неразрушающий контроль и механические испытания.

Основные методы сварки металлических конструкций

Дуговая сварка – это процесс соединения металлов, при котором нагрев соединяемых деталей осуществляется электрической дугой. Дуга плавит основной металл, образуя сварочную ванну, которая при затвердевании даёт сварной шов. Наиболее распространённый метод, при котором соединение металлов происходит за счёт тепла электрической дуги. Основные разновидности:

– Ручная дуговая сварка (MMA) – используется электрод с покрытием, подходит для работ в труднодоступных местах;

– Полуавтоматическая сварка (MIG/MAG) – применяется проволока в среде защитного газа, обеспечивает высокую производительность.

– Автоматическая сварка под флюсом – используется для толстых металлов, обеспечивает высокое качество шва.

Газовая сварка:

Основана на использовании пламени, получаемого при сгорании смеси кислорода и ацетилена. Применяется для тонколистовых конструкций и ремонтных работ. Суть технологии состоит в использовании газового пламени, которое нагревает кромки основного металла и часть присадочного материала (электродов). Под действием температуры металл становится жидким, образуя сварочную ванну, которая защищена от воздействия воздуха за счёт не только пламени, но и газовой среды. Расплавленный металл медленно остывает и твердеет, формируя сварной шов.

Контактная сварка:

Процесс образования неразъёмного сварного соединения путём нагрева металла электрическим током и пластической деформации зоны соединения под действием сжимающего усилия.

Используется в массовом производстве (точечная, шовная, стыковая), применяется в автомобилестроении и при изготовлении металлоконструкций.

Источники питания:

– Трансформаторы;
– Выпрямители;
– Инверторы.

Сварочные материалы:

– Электроды – это тонкие стержни из токопроводящих материалов, которые подводят электрический ток к месту выполнения электросварочных работ.

Существуют два типа электродов:

Плавящиеся. Представляют собой металлические стержни с обмазкой различной толщины и состава. Используются для ручной электродуговой сварки (ММА) изделий и деталей из стальных сплавов, нержавеющей стали, цветных металлов.

Неплавящиеся. Изготавливаются из тугоплавких материалов, бывают вольфрамовые, угольные и графитовые. Их применяют для аргонодуговой TIG-сварки постоянным и переменным электротоком, при этом функцию наплавленного металла выполняют присадки. С помощью неплавких электродов также проводят воздушно-дуговую резку металлических заготовок.

– Присадочная проволока- расходный материал, который позволяет плотно заполнять формируемые сварочные стыки металлоконструкций;

– Защитные газы (аргон, CO_2) – эти газы защищают сварочную ванну и дугу от атмосферных газов, что повышает качество шва.

Контроль качества сварных соединений:

Визуальный и измерительный контроль: проверка геометрии шва, обнаружение трещин и пор.

Неразрушающие методы контроля: ультразвуковая дефектоскопия; радиографический контроль; капиллярная дефектоскопия;

Механические испытания: испытания на растяжение, ударная вязкость.

Технология сварки применяется не только при работе с металлом, но и с различными полимерами. Весь процесс представляет собой нагрев и деформацию поверхностей, которые затем соединяются в одно целое. Все сварочные работы состоят из двух основных этапов: сборки и соединения.

Самым трудоемким и сложным является первый этап. Надежность и прочность конструкции во многом зависит от соблюдения всех требований. Больше половины всего времени приходится именно на сборку составляющих. Подготовка кромок – важный этап в процессе сварки. Правильная подготовка кромок обеспечивает оптимальные условия для формирования качественного сварного соединения. Это влияет на прочность шва, его долговечность и общую надёжность сварной конструкции. Разделка кромок. Выполняется при толщине металла более 3 мм. Позволяет вести сварку отдельными слоями небольшого сечения, что улучшает структуру сварного соединения и уменьшает возникновение сварочных напряжений и деформаций.

Очистка и обезжиривание кромок. Необходимо для удаления загрязнений, оксидов, масел и других веществ, которые могут негативно повлиять на качество сварки.

Сборка и фиксация деталей. Включает в себя выставление необходимого зазора между кромками, который зависит от толщины металла и метода сварки. Важно также обеспечить правильное выравнивание кромок относительно друг друга.

Контроль качества подготовки. Включает в себя проверку геометрии разделки, чистоты поверхности, правильности зазора и выравнивания деталей.

Сварочные работы относятся к категории пожаро- и травмоопасных, поэтому важно соблюдать правила безопасности:

1. Использовать средства индивидуальной защиты. Это сварочные маски с затемнённым стеклом, термостойкая одежда с длинными рукавами, перчатки, специальная обувь с закрытым носком.

2. Подготовить рабочее место. Исключить наличие легковоспламеняющихся материалов поблизости, обеспечить хорошую вентиляцию или вытяжку (особенно при сварке алюминия или оцинковки).

3. Иметь огнетушитель и аптечку первой помощи. Работать только на оборудовании, прошедшем проверку и соответствующем технике безопасности.

Достоинства сварных соединений

Технические преимущества:

1. Высокая прочность и надежность соединений.
2. Возможность создания конструкций сложной геометрической формы.
3. Равномерное распределение нагрузок.
4. Герметичность соединений.

Экономические:

1. Снижение материалоемкости конструкций.
2. Высокая производительность процесса.
3. Возможность автоматизации и механизации.
4. Сокращение сроков монтажа.

Эксплуатационные преимущества:

1. Долговечность и коррозионная стойкость.
2. Возможность ремонта и восстановления.
3. Устойчивость к динамическим нагрузкам.

Недостатки

Технологические ограничения.

1. Возникновение остаточных напряжений и деформаций.
2. Необходимость квалифицированного персонала.
3. Зависимость качества от человеческого фактора.
4. Ограничения по толщине свариваемых материалов.

Эксплуатационные недостатки:

1. Возможность образования трещин.
2. Необходимость контроля качества.
3. Ограничения по применению в особых условиях.

Экономические ограничения:

1. Высокие энергозатраты.
2. Необходимость специального оборудования.
3. Затраты на подготовку и обучение персонала.
4. Стоимость контроля качества.

Сравнительный анализ методов сварки:

1. Отсутствие универсального решения. Каждый метод сварки обладает уникальными технологическими и экономическими характеристиками, что исключает возможность определения единого оптимального решения для всех случаев.

2. Зависимость выбора от конкретных условий. Выбор технологии должен основываться на комплексной оценке:

– Технических требований к конструкции;
– Толщины и типа свариваемых материалов;
– Объема и серийности производства;
– Квалификации персонала;
– Бюджетных ограничений;
– Условий эксплуатации готовой конструкции.

3. Специализация методов:

– Ручная дуговая сварка (MMA) оптимальна для монтажных работ и ремонта;
– Полуавтоматическая сварка (MIG/MAG) наиболее эффективна для серийного производства;
– Автоматическая сварка под флюсом незаменима в крупносерийном производстве;
– Газовая сварка сохраняет значение для тонкостенных конструкций и специальных применений.

4. Экономическая эффективность напрямую зависит от масштаба производства:

– Мелкие серии: ручная сварка;

– Средние серии: полуавтоматическая сварка;
– Крупные серии: автоматическая сварка.

5. Перспективы развития связаны с:
– Повышением уровня автоматизации процессов;
– Внедрением цифровых технологий контроля;
– Развитием роботизированных комплексов;
– Созданием адаптивных систем управления.

Современная практика демонстрирует четкую тенденцию к комбинированному использованию различных методов сварки для достижения оптимальных технико-экономических показателей при изготовлении металлических конструкций.

Таким образом сварка металлических конструкций является ключевым процессом в строительстве и промышленности. Выбор метода сварки зависит от типа конструкции, материала и условий эксплуатации. Современные технологии и оборудование позволяют получать высококачественные соединения, а контроль качества обеспечивает их надёжность. Дальнейшее развитие сварочных технологий направлено на автоматизацию и повышение эффективности процессов.

Литература

1. Алексеев Е.К. Сварка в промышленном строительстве / Е.К. Алексеев, В.И. Мельник. – М. : Стройиздат, 1977.
2. Леонова А.Н. Стальные конструкции одноэтажного промышленного здания : учеб. пособие / А.Н. Леонова, Е.Н. Сорокина. – Краснодар, 2020.
3. Багрянский К.В. Теория сварочных процессов / К.В. Багрянский, З.А. Добротина, К.К. Хренов. – К. : Вища школа, 1976. – 424 с.
4. Болдырев А.М. Технология сварки в строительстве : учеб. пособие. – Воронеж, 1987.
5. Болдырев А.М. Сварочные работы в строительстве и основы технологии металлов : учебник / А.М. Болдырев, А.С. Орлов. – М. : Изд. АСВ, 1994. – 432 с.
6. Сорокина Е.Н. Балки и балочные клетки : учеб. пособие / Е.Н. Сорокина, А.Н. Леонова. – Краснодар, 2020.
7. Жизняков С.Н. Сварка и резка в строительстве. – М. : Стройиздат, 1995. – 544 с.

References

1. Alekseev E.K. Welding in Industrial Construction / E.K. Alekseev, V.I. Melnik. – M. : Stroyizdat, 1977.
2. Leonova A.N. Steel structures of a single-story industrial building: a tutorial / A.N. Leonova, E.N. Sorokina. – Krasnodar, 2020.
3. Bagryansky K.V. Theory of Welding Processes / K.V. Bagryansky, Z.A. Dobrotina, K.K. Khrenov. – K. : Higher School, 1976. – 424 p.
4. Boldyrev A.M. Welding Technology in Construction : textbook. – Voronezh, 1987.
5. Boldyrev A.M. Welding in Construction and Fundamentals of Metal Technology : textbook / A.M. Boldyrev, A.S. Orlov. – M. : ASV Publishing House, 1994. – 432 p.
6. Sorokina E.N. Beams and Beam Cages : tutorial / E.N. Sorokina, A.N. Leonova. – Krasnodar, 2020.
7. Zhiznyakov S.N. Welding and Cutting in Construction. – M. : Stroyizdat, 1995. – 544 p.

УДК 504.05

BIM И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

♦♦♦♦♦

BIM AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF METAL STRUCTURES

Финагенова Надежда Витальевна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
finagenovanadya@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается применение технологий информационного моделирования зданий (BIM) и современных цифровых решений в проектировании металлических конструкций. Анализируются ключевые преимущества BIM-подхода, включая повышение точности расчетов, оптимизацию материальных затрат и улучшение координации между участниками проекта. Особое внимание уделяется интеграции BIM с CAD-системами, облачными платформами, искусственным интеллектом и технологиями дополненной реальности. Приводятся практические примеры успешной реализации проектов с использованием BIM, демонстрирующие значительное сокращение сроков проектирования и повышение качества металлоконструкций. Статья будет полезна инженерам-проектировщикам, BIM-менеджерам и специалистам в области строительства металлических сооружений.

Ключевые слова: BIM, информационное моделирование, металлические конструкции, цифровое проектирование, CAD, САПР, искусственный интеллект, облачные технологии, AR/VR, Tekla Structures, Revit, оптимизация проектирования.

Finagenova Nadezhda Vitalyevna
Student,
Kuban State University of Technology
finagenovanadya@gmail.com

Annotation. The article discusses the application of Building Information Modeling (BIM) technologies and modern digital solutions in the design of metal structures. Key advantages of the BIM approach are analyzed, including improved calculation accuracy, optimization of material costs, and enhanced coordination among project participants. Special attention is given to the integration of BIM with CAD systems, cloud platforms, artificial intelligence, and augmented reality technologies. Practical examples of successful projects using BIM are provided, demonstrating significant reductions in design timelines and improvements in the quality of steel structures. The article will be useful for design engineers, BIM managers, and specialists in the field of construction of metal structures.

Keywords: BIM, Building Information Modeling, metal structures, digital design, CAD, CAE, artificial intelligence.

Современное строительство и проектирование требуют высокой точности, эффективности и минимизации ошибок. Внедрение **информационного моделирования зданий (BIM)** и цифровых технологий в проектирование металлических конструкций позволяет значительно улучшить качество проектов, сократить сроки их реализации и снизить затраты. В этой статье рассмотрим, как BIM и современные цифровые инструменты меняют подход к созданию металлоконструкций.

Цель исследования заключается в комплексном анализе возможностей технологий информационного моделирования (BIM) и цифровых инструментов в проектировании металлических конструкций, а также оценка их влияния на эффективность, точность и экономическую целесообразность строительных проектов.

Для достижения этих целей были сформулированы следующие задачи:

1. Изучение принципов BIM-моделирования применительно к металлоконструкциям, включая особенности 3D-проектирования, автоматизации расчетов и управления данными.

2. Анализ современных цифровых технологий (CAD, AI, облачные платформы, AR/VR) и их роли в оптимизации проектирования.

3. Выявление преимуществ внедрения BIM – сокращение сроков, снижение затрат, минимизация ошибок и улучшение координации между специалистами.

4. Оценка практического применения.

Что такое BIM и как оно применяется в металлоконструкциях?

BIM (Building Information Modeling) – это процесс создания и управления цифровой моделью здания, которая содержит не только геометрические данные, но и всю информацию о материалах, нагрузках, сроках эксплуатации и даже логистике.

Применение BIM в проектировании металлоконструкций:

– **создание трёхмерной цифровой модели** с учётом геометрических параметров элементов, технических характеристик материалов, данных о нагрузках и соединениях;

– 3D-моделирование – точное создание каркасов, ферм, соединений с учетом всех нагрузок;

– Автоматизированные расчеты – проверка прочности, устойчивости, сейсмической стойкости;

– Координация между специалистами – архитекторы, конструкторы, инженеры работают в единой среде, что снижает коллизии;

– Генерация чертежей и спецификаций – автоматическое формирование документации на основе модели;

Контроль качества с помощью компьютерного зрения. Нейросети анализируют сварные швы, дефекты покрытий и точность размеров. Предиктивная диагностика оборудования. С использованием датчиков и ИИ-анализа можно заранее предсказывать поломки станков, износ инструментов или необходимость технического обслуживания.

BIM-технологии. Создают информационные модели зданий и сооружений, которые содержат не только геометрию конструкции, но и информацию о материалах, сечениях, соединениях, нагрузках и других параметрах.

Цифровые технологии значительно упрощают и ускоряют процесс проектирования металлоконструкций, повышают их надёжность и снижают затраты. Некоторые из таких технологий:

Искусственный интеллект (ИИ). Генеративное проектирование позволяет задать параметры конструкции (вес, прочность, стоимость), после чего алгоритм предлагает несколько оптимальных решений. Машинное обучение помогает анализировать данные из тысяч ранее выполненных проектов, чтобы предложить наиболее эффективную геометрию или тип соединения.

Помимо BIM, в индустрии активно используются другие цифровые инструменты:

CAD и САПР для металлоконструкций:

Программы, такие как Autodesk, AutoCAD, Advance Steel, Tekla Structures, позволяют:

– Разрабатывать сложные узлы и соединения;

– Оптимизировать раскрой металла, снижая отходы;

– Интегрировать модели с ЧПУ-станками для автоматизированного производства.

Преимущества BIM и цифровых технологий:

– Сокращение сроков – автоматизация расчетов и чертежей ускоряет процесс;

– Снижение затрат – минимизация ошибок и оптимизация материалов уменьшают бюджет;

– Повышение точности – моделирование всех этапов строительства исключает нестыковки;

– Удобство модернизации – цифровая модель позволяет легко вносить изменения.

Примеры успешного применения:

– Стадион «Лужники» (Москва) – BIM использовался для проектирования металлических кровель и трибун;

– Небоскребы в Дубае – цифровые технологии помогли создать сложные стальные каркасы с высокой точностью;

– Мосты и эстакады – расчет динамических нагрузок и коррозионной стойкости через BIM.

Таким образом BIM и цифровые технологии кардинально меняют проектирование металлоконструкций, делая его быстрее, точнее и экономичнее. Компании, внедряющие эти инструменты, получают конкурентное преимущество, снижая риски и повышая качество строительства. В ближайшие годы ожидается еще большее развитие ИИ, облачных решений и автоматизации, что откроет новые возможности для инженеров и проектировщиков.

Литература

1. Григорьева М.И. Использование BIM-технологий в строительстве // Архитектура. Строительство. Дизайн. – 2017. – № 3. – С. 100–123.
2. Грибкова И.С. Эффективность BIM технологии проектирования / И.С. Грибкова, Н.О. Хашпакянц // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2018. – № 2. – С. 235–242.
3. Использование BIM-техноло гии в проектировании и строительстве / Н.А. Ерошкина [и др.] // Молодежный научный вестник. – 2019. – № 1(38). – С. 127–131.
4. Леонова А.Н. Преимущества использования BIM в проектировании строительных конструкций / А.Н. Леонова, А.Ю. Горбачев // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 2. – С. 19–22.
5. Каган П.Б. Повышение эффективности проектирования и строительства / П.Б. Каган, А.О. Рыбакова // Наука и бизнес: пути развития. – М. : ТМБпринт, 2019. – № 3(93). – С. 46–58.
6. Гамм М.В. Применение BIM для проектирования конструкций / М.В. Гамм, А.Н. Леонова // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник статей Международного научно-практического конгресса. – 2018. – С. 54–59.
7. Румянцева Е.В. BIM-технологии: подход к проектированию строительного объекта как единого целого / Е.В. Румянцева, Л.А. Манухина // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015. – № 5. – С. 33–36.
8. Абредж М.А. Внедрение информационного моделирования (BIM) в базу заказчика на примере Республики Адыгея / М.А. Абредж, А.Н. Леонова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 4. – С. 23–28.

References

1. Grigorieva M.I. Use of BIM technologies in construction // Architecture. Construction. Design. – 2017. – № 3. – P. 100–123.
2. Gribkova I.S. Efficiency of BIM design technology / I.S. Gribkova, N.O. Khashpakyants // Electronic online polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2018. – № 2. – P. 235–242.
3. Use of BIM technology in design and construction / N.A. Eroshkina [et al.] // Youth Scientific Bulletin. – 2019. – № 1(38). – P. 127–131.
4. Leonova A.N. Advantages of using BIM in the design of building structures / A.N. Leonova, A.Yu. Gorbachev // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 2. – P. 19–22.
5. Kagan P.B. Improving the Efficiency of Design and Construction / P.B. Kagan, A.O. Rybakova // Science and Business: Development Paths. – M. : TMBprint, 2019. – № 3(93). – P. 46–58.
6. Gamm M.V. Application of BIM for Structural Design / M.V. Gamm, A.N. Leonova // In the collection: Development and Innovations in Construction. Collection of Articles of the International Scientific and Practical Congress. – 2018. – P. 54–59.
7. Rumyantseva E.V. BIM technologies: an approach to designing a construction project as a single whole / E.V. Rumyantseva, L.A. Manukhina // Modern science: current problems and solutions. – 2015. – № 5. – P. 33–36.
8. Abredzh M.A. Implementation of information modeling (BIM) in the customer's database using the example of the Republic of Adygea / M.A. Abredzh, A.N. Leonova // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 4. – P. 23–28.

УДК 504.05

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

♦♦♦♦♦

FEATURES OF DESIGNING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN SEISMIC AREAS

Хорошев Алексей Алексеевич
кандидат технических наук,
Кубанский государственный технологический университет
russ61@bk.ru

Прокопцова Наталия Сергеевна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
natali240703@mail.ru

Карапыш Анастасия Олеговна
студентка,
Кубанский государственный технологический университет
a.karapyshh@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматриваются ключевые принципы и методы проектирования железобетонных конструкций, расположенных в сейсмически активных регионах. Анализируются основные факторы сейсмического воздействия, требования современных нормативных документов (СП 14.13330.2018, СП 63.13330.2018) и стратегии обеспечения сейсмостойкости. Особое внимание уделяется концепции проектирования на основе несущей способности и энергорассеивания, требованиям к формированию пластических шарниров в предсказуемых зонах, а также деталям армирования, обеспечивающим пластичность и живучесть конструкций.

Ключевые слова: сейсмостойкость, железобетонные конструкции, проектирование, пластичность, сейсмическое воздействие, армирование, диссипация энергии, нормативные требования.

Khoroshev Alexey Alekseevich
Candidate of Technical Sciences,
Kuban State Technological University
russ61@bk.ru

Prokoptsova Natalia Sergeevna
Student,
Kuban State Technological University
natali240703@mail.ru

Karapysh Anastasia Olegovna
Student,
Kuban State Technological University
a.karapyshh@gmail.com

Annotation. This article examines the key principles and methods of designing reinforced concrete structures located in seismically active regions. The main factors of seismic impact, the requirements of modern regulatory documents (SP 14.13330.2018, SP 63.13330.2018), and strategies for ensuring seismic resistance are analyzed. Special attention is given to the design concept based on load-bearing capacity and energy dissipation, the requirements for forming plastic hinges in predictable zones, as well as reinforcement details that ensure the plasticity and resilience of structures.

Keywords: seismic resistance, reinforced concrete structures, design, plasticity, seismic impact, reinforcement, energy dissipation, regulatory requirements.

Сейсмические воздействия относятся к категории наиболее разрушительных природных явлений, представляющих серьезную угрозу для жизни людей и целостности инфраструктуры. Проектирование зданий и сооружений в сейсмически активных районах коренным образом отличается от проектирования в условиях статических или динамических нагрузок иного происхождения. Основная задача инженера в данном случае заключается не только в обеспечении прочности конструкции, но и в придании ей способности воспринимать повторяющиеся знакопеременные нагрузки без обрушения, поглощая и рассеивая значительную сумму энергии землетрясения. Железобетон, как композитный материал, сочетающий высокую прочность бетона на сжатие и пластичность арматуры на растяжение, обладает большим потенциалом для создания сейсмостойких конструкций. Однако реализация этого потенциала возможна только при грамотном и ответственном проектировании, учитывающем весь комплекс специфических требований.

Целью данной статьи является комплексный анализ специфических принципов, методов и нормативных требований к проектированию железобетонных конструкций, обеспечивающих их устойчивость и живучесть при сейсмических воздействиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Раскрыть физическую природу сейсмических воздействий и их влияние на поведение зданий.

2. Охарактеризовать основную концепцию сейсмостойкого проектирования – обеспечение пластичности и диссипации энергии.

3. Проанализировать требования к материалам (бетон и арматура) для сейсмических конструкций.

4. Рассмотреть особенности расчета и конструирования основных элементов: балок, колонн, узлов и стен.

5. Описать ключевые правила армирования, обеспечивающие необходимую пластичность и прочность элементов.

Природа сейсмических воздействий и основные принципы проектирования:

Сейсмическое воздействие представляет собой сложное, случайное, многокомпонентное и многократно повторяющееся колебание основания сооружения. Его нельзя свести к простой статической нагрузке. Нормы задают его через расчетные спектры реакции и акселерограммы, которые зависят от балльности района (сейсмичности), категории грунта, периода собственных колебаний сооружения и его демпфирования.

Основная философия современного сейсмостойкого проектирования (СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах») базируется на следующих принципах:

1. Прочность и устойчивость: конструкция должна выдерживать землетрясения расчетной интенсивности без дополнительных повреждений.

2. Пластичность и энергорассеивание: при сильных землетрясениях, превышающих расчетный уровень, допускаются остаточные деформации и повреждения, но не должно происходить обрушение. Конструкция должна поглощать энергию за счет неупругой деформации в специально предусмотренных зонах (пластических шарнирах).

3. Непрерывность нагрузки: обеспечение прямолинейного пути передачи нагрузок от точки приложения до фундамента.

4. Равнопрочность и равнопластичность: прочность колонн должна превышать прочность балок («сильная колонна – слабая балка»), чтобы гарантировать, что пластические шарниры образуются в балках, а не в колоннах, что предотвращает образование механизма этажного обрушения.

5. Пространственная работа и равномерное распределение жесткости: здание должно иметь симметричную и компактную в плане форму для избежания крутильных эффектов.

Требования к материалам:

Поведение железобетона при сейсмическом воздействии напрямую зависит от свойств его компонентов.

Бетон: Должен обладать не только высокой прочностью на сжатие, но и повышенной однородностью, трещиностойкостью и ударной вязкостью. Как правило, применяются классы не ниже В22,5. Важным требованием является ограничение прочности на сжатие для высоких классов (например, выше В60), так как высокопрочные бетоны часто имеют хрупкий характер разрушения.

Арматура: Ключевое требование – высокая пластичность. Арматура должна иметь четко выраженную физическую площадку текучести и высокое относительное удлинение при разрыве $\varepsilon > (14-16)\ \%$. Это необходимо для обеспечения работы пластических шарниров без хрупкого разрыва. Применяется арматура классов А400С, А500С, А600С (буква «С» означает свариваемость). Использование жесткой арматуры классов Ат800 и выше без достаточных обоснований не рекомендуется.

Особенности расчета и конструирования балок и колонн:

Балки: основная цель – обеспечить пластическое разрушение по изгибу, а не по срезу.

Для этого:

– Повышается прочность на поперечную силу по отношению к изгибающему моменту;

– В потенциальных зонах пластических шарниров (у опор) устанавливаются закрытые хомуты с уменьшенным шагом для обеспечения прочности бетона и предотвращения выпучивания продольной арматуры. Ограничивается ширина раскрытия трещин.

Колонны: являются критически важными элементами, их разрушение ведет к прогрессирующему обрушению.

– Соблюдается принцип «сильная колонна – слабая балка»: суммарная несущая способность колонн в узле должна превышать суммарную несущую способность примыкающих балок;

– Поперечное армирование в колоннах выполняется в виде спиралей или частых хомутов, что значительно повышает прочность на сжатие и пластичность бетонного ядра, препятствуя его боковому выпучиванию;

– Осевое усилие в колонне ограничивается (как правило, не более $0,7N_u$).

Конструирование сейсмических узлов и железобетонных стен:

Соединения (узлы) – самые уязвимые места каркаса. В них сходятся усилия от всех примыкающих элементов, и они подвергаются огромным сдвигающим усилиям. Армирование узла должно быть очень плотным и непрерывным: хомуты внутри узла должны быть такими же частыми, как и в примыкающих колоннах, чтобы обеспечить передачу усилий и предотвратить хрупкое сдвиговое разрушение. Железобетонные диафрагмы (стены) жесткости – эффективны для восприятия сейсмических сил благодаря своей высокой жесткости.

Конструирование стен включает:

– Создание пояса по контуру (ребра жесткости) для предотвращения потери устойчивости;

– Устройство конструктивных элементов (граничных элементов) по краям стены, особенно интенсивно армированных для восприятия больших сжимающих и растягивающих усилий;

– Двойное армирование по всей площади стены.

Грамотное армирование – ключ к обеспечению пластичности.

Качество арматуры определяет, сможет ли конструкция реализовать заложенную в расчете пластичность.

Основные правила:

– Анкеровка арматуры: осуществляется только на загибах (крюках) или с помощью анкерующих пластин для надежной работы в условиях знакопеременных нагрузок. Сварные соединения допускаются только для арматуры, специально предназначенной для сварки;

– Поперечное армирование (хомуты): обеспечивает совместную работу бетона и арматуры, препятствует потере устойчивости сжатых стержней и воспринимает поперечные силы. Шаг хомутов в пластических зонах принимается не более 1/2 высоты сечения элемента и не более 100–150 мм;

– Запрещается: использование стержней, работающих на растяжение в качестве рабочей арматуры, использование одиночных хомутов без надежного заведения, пропуск хомутов в критических зонах.

Таким образом проектирование железобетонных конструкций в сейсмических районах – это комплексная инженерная задача, выходящая далеко за рамки простого обеспечения прочности. Она требует от проектировщика глубокого понимания природы динамических воздействий и поведения материалов и конструкций за пределом упругости. Ключевым аспектом является обеспечение пластичности и способности конструкции рассеивать энергию за счет формирования контролируемых повреждений в предсказуемых местах. Достигается это через строгое соблюдение принципа «сильная колонна – слабая балка», применение материалов с повышенными пластическими характеристиками и, что крайне важно, через тщательное и грамотное армирование арматурных элементов. Пренебрежение любым из этих аспектов может свести на нет все расчетные усилия и привести к катастрофическим последствиям. Таким образом, сейсмостойкое проектирование – это синтез точного расчета, конструкторского мастерства и строгого соблюдения норм проектирования.

Литература

1. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
2. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СП 63.13330.2018).
4. Евстифеев В.Г. Железобетонные и каменные конструкции : в 2 ч. – Ч. 1: Железобетонные конструкции : учебник для вузов. – М. : Издательский центр «Академия», 2011.
5. Kauchma S. Design of Reinforced Concrete Structures for Earthquake Resistance / S. Kauchma, L. Smirnova, A. Sargsyan. – Springer, 2020.
6. Paulay T. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings / T. Paulay, M.J.N. Priestly. – John Wiley & Sons, 1992.

References

1. SP 14.13330.2018 Construction in Seismic Areas. Updated version of SNiP II-7-81*.
2. SP 63.13330.2018 Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions. Updated version of SNiP 52-01-2003.
3. Design Guide for Concrete and Reinforced Concrete Structures Made of Heavy-Duty Concrete (to SP 63.13330.2018).
4. V.G. Evstifeev. Reinforced Concrete and Masonry Structures : in 2 parts. – Part 1: Reinforced Concrete Structures: a Textbook for Universities. – M. : Academy Publishing Center, 2011.
5. Kauchma S. Design of Reinforced Concrete Structures for Earthquake Resistance / S. Kauchma, L. Smirnova, A. Sargsyan. – Springer, 2020.
6. Paulay T. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings / T. Paulay, M.J.N. Priestly. – John Wiley & Sons, 1992.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

•••••••

SCIENCES ABOUT THE EARTH

УДК 622.279.51

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ СЕНОМАНСКОЙ ЗАЛЕЖИ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПУТЁМ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ГАЗОВОДЯНОГО КОНТАКТА

♦♦♦♦♦

INCREASING THE EFFICIENCY OF DEVELOPMENT OF THE CENOMANIAN OIL AND GAS CONDENSATE FIELD BY ANALYZING THE DYNAMICS OF CHANGES IN THE POSITION OF THE GAS-WATER CONTACT

Березовский Денис Александрович
ведущий инженер по добыче нефти и газа производственно-технического отдела филиала ООО «Газпром добыча Краснодар» – Каневское ГПУ
daberezovskiy-gaz@rambler.ru

Аннотация. В настоящее время многие крупные месторождения севера Западно-Сибирской равнины находятся на поздней стадии разработки, которая характеризуется низкими пластовыми давлениями и высокой обводнённостью. На данном этапе разработки работа газопромысловых скважин осложняется накоплением конденсационной и пластовой воды на их забоях, что приводит к эрозии порового цемента и последующему образованию песчаных пробок. При скоплении большого объёма воды скважина выходит из стабильной работы, её дебит снижается и в дальнейшем может произойти её «самозадавливание». Для предотвращения выхода скважины из строя требуются технологические решения для увеличения скорости извлечения продукции скважины с целью удаления жидких частиц и механических примесей, а также ограничения притока пластовой воды. На этой стадии резко усложняются условия эксплуатации газовых скважин, что приводит к потерям добычи газа, соответственно необходимо проводить исследования для повышения эффективности эксплуатации газовых скважин. В статье приведены рекомендации, направленные на оптимизацию режимов эксплуатации газовых скважин в условиях обводнения.

Ключевые слова: мониторинг обводнения сеноманской залежи; методы борьбы с обводнением; ранговая оценка технологий для эксплуатации обводнённых газовых скважин; обоснование применения концентрических лифтовых колонн; опыт эксплуатации скважин по концентрическим лифтовым колоннам; типовая схема скважины с концентрической лифтовой колонной; алгоритм расчёта режимов работы скважины.

Berezovskiy Denis Aleksandrovich
Lead Engineer for Oil and Gas Production, Production and Technical Department of the branch of «Gazprom Dobycha Krasnodar» LLC – Kanevskoye Gas Production Department
daberezovskiy-gaz@rambler.ru

Annotation. Currently, many large fields in the north of the West Siberian Plain are at a late stage of development, which is characterized by low reservoir pressures and high water cut. At this stage of development, the operation of gas wells is complicated by the accumulation of condensation and formation water at their bottomholes, which leads to erosion of the pore cement and the subsequent formation of sand plugs. When a large volume of water accumulates, the well ceases to operate stably, its flow rate decreases and may subsequently «self-suppress». To prevent well failure, technological solutions are required to increase the rate of extraction of well products in order to remove liquid particles and mechanical impurities, as well as limit the inflow of formation water. At this stage, the operating conditions of gas wells become much more complicated, which leads to losses in gas production, and accordingly, it is necessary to conduct research to improve the efficiency of gas well operation. The article provides recommendations aimed at optimizing the operating modes of gas wells in flooded conditions.

Keywords: monitoring flooding in the Cenomanian reservoir; methods for combating flooding; ranking technologies for operating flooded gas wells; justification for the use of concentric tubing; experience with well operation using concentric tubing; typical well design with a concentric tubing; algorithm for calculating well operating modes.

Введение

Сеноманские газовые залежи месторождений севера Западной Сибири разрабатываются уже более 30 лет и к настоящему времени вступили в период падающей добычи, для которого характерно существенное снижение добывающих возможностей, связанное с падением пластового давления, обводнением скважин, износом промыслового оборудования. В этих условиях происходит интенсивное накопление жидкости (вплоть до самоглушения – самозадавливания) и образование песчаных пробок на забоях скважин.

На газовых месторождениях для поддержания устойчивой работы скважин, в стволах которых скапливается жидкость, повсеместно используется ряд геолого-технических мероприятий. Однако традиционные способы устранения проблемы само-

задавливания обладают некоторыми существенными недостатками, многие из которых возможно устранить посредством технологии эксплуатации скважин по концентрическим лифтовым колоннам (КЛК).

Актуальность данной работы заключается в том, что в процессе эксплуатации газовых скважин на поздней стадии разработки месторождений возникают осложнения, вызванные скоплениями воды на забое и разрушением призабойной зоны. В результате снижаются рабочие дебиты скважин. Для добычи газа из крупнейших газовых месторождений России, расположенных в районах Крайнего Севера, необходимо применение эффективных технологий для удалений жидкости с забоев скважин.

Общие сведения о месторождения

Рассматриваемое нефтегазоконденсатное месторождение расположено в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области. Географически находится на юге Тазовского полуострова, в северной части Западно-Сибирской низменности.

В климатическом отношении площадь отнесена к регионам Крайнего Севера и находится за Полярным кругом.

По геокриологическим условиям район месторождения характеризуется сплошным распространением многолетнемёрзлых пород, которые залегают на глубине 50-80 м – в пределах поймы р. Пур и на глубине 150–400 м – на водораздельных участках.

Объектами разработки рассматриваемого месторождения являются сеноманская и валанжинская залежи, нефтяные оторочки нижнемелового продуктивного комплекса, а также газоконденсатные залежи ачимовской толщи берриасского яруса.

Месторождение открыто в июне 1966 года. Добыча на месторождении началась в 1978 году. На сегодняшний день оно находится на стадии падающей добычи.

В геологическом строении месторождения принимают участие отложения триаса, юры, мела, палеогена и четвертичной системы, залегающие на палеозойском складчатом фундаменте.

Залежь газа в сеномане толщиной 500–800 м представлена мощной толщей переслаивания песчано-алевролитовых и алевро-глинистых пород. Залегает на глубинах от 1040,0 до 1277,2 м.

Толщины коллекторов в разрезах скважин изменяются в широких пределах от 0,4 до 10–40 м. При этом прослои коллекторов большей толщины неоднородны по составу. Прослои глинистых и плотных пород, исключённых из эффективной газонасыщенной толщины, изменяются от 0,4 до 5–8 м. По скважинам эффективные толщины изменяются от 6 до 200 м. Процент пород-коллекторов в разрезах скважин изменяется от 49 до 100 % и в среднем составляет 81,4 %. Зоны относительно повышенной песчанистости приурочены к сводовой части.

По комплексу геофизических исследований скважин газоводяной контакт уверенно отслеживается внутри песчаного пласта с небольшим интервалом вероятности в случае присутствия плотного или глинистого прослоя на границе контакта «газ – вода».

Сеноманская залежь характеризуется высокой неоднородностью. В разрезах скважин уверенно прослеживается только кровля сеноманских отложений, в целом же продуктивный разрез представляет собой сложное сочетание проницаемых и непроницаемых прослоев. Разрезы, как правило, трудно коррелируются. Можно с уверенностью утверждать, что сеноманская продуктивная толща представляет собой единую газогидродинамическую систему.

В целом для территории рассматриваемого месторождения характерны сложные инженерно-геологические условия освоения в связи с заболоченностью, заторфованностью и заозёрностью, а также наличием многолетней мерзлоты с криогенным процессом.

Газ сеноманской залежи рассматриваемого месторождения по химическому составу весьма сходен с газом других сеноманских залежей севера Тюменской области, имеет в основном метановый состав (от 95,4 до 99,3 %). Максимальное содержание углеводородов С2+высшие – не превышает 1,0 %. Относительный удельный вес газа по воздуху колеблется от 0,557 до 0,563. Критические параметры: среднекритическое давление – 47,3 кгс/см^2; среднекритическая температура – 190,5 °К; низшая теплотворная способность – 7648–7972 ккал/м^3 (в среднем – 7883 ккал/м^3).

Анализ текущего состояния разработки месторождения

Целью разработки залежи при прогнозировании принимались:

- максимизация конечной газоотдачи;
- сохранение фонда характеристик добывающих скважин;
- снижение рисков прорывов ГВК к забоям добывающих скважин.

Действующий фонд скважин составляет 146 единиц, из них 19 наблюдательных, 5 пьезометрических и 2 поглощающие. Также на баланс приняты разведочные скважины, которые на сегодняшний день находятся в категории наблюдательные.

Скважины преимущественно наклонно-направленные, оборудованы 114 мм хвостовиком-фильтром и 114 мм НКТ. На рисунке 1 показана типовая система вскрытия залежи кустом скважин на примере куста № 1613.

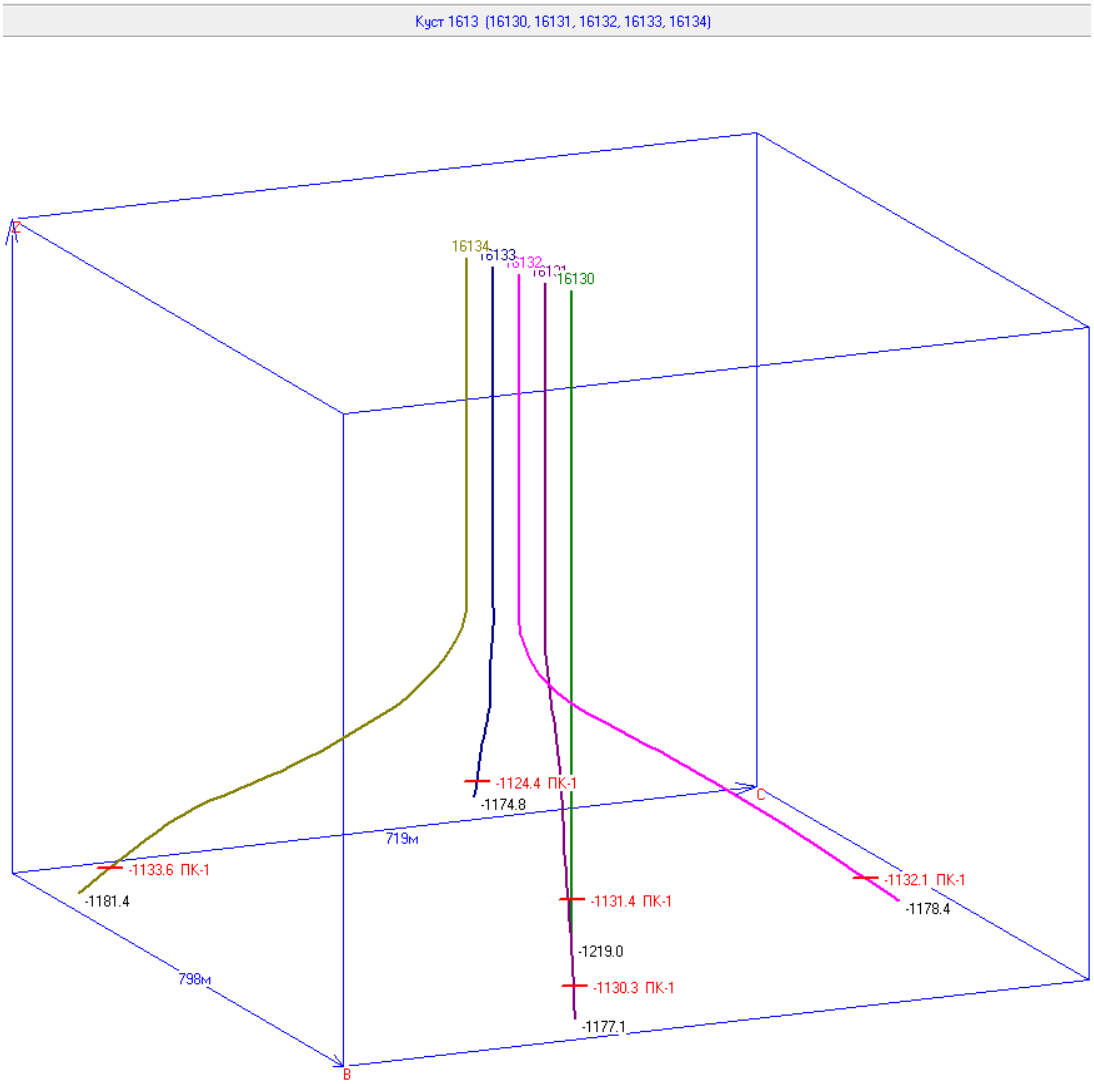


Рисунок 1 – Расположение скважин в кусте (на примере куста № 1613)

Сеноманские скважины имеют следующую конструкцию:

- кондуктор диаметром 245 мм спущен на глубину до 550 м;
- эксплуатационная колонна диаметром 168 мм спущена на глубину до 1196 м;
- лифтовая колонна диаметром 114 мм спущена до проектной глубины.

Кондуктор диаметром 244,5 мм спускается на глубину 550 (500) м для перекрытия четвертичных отложений и многолетнемёрзлых пород, неустойчивых и склонных к обвалообразованию. Оборудуется противовыбросовым оборудованием для герметизации устья скважины при возникновении флюидопроявлений при бурении под эксплуатационную колонну. Бурение под кондуктор ведётся турбинным способом долотами диаметрами 295,3 мм. Кондуктор цементируется до устья.

Эксплуатационная колонна диаметром 168,3 мм спускается в кровлю продуктивного горизонта. Глубина спуска эксплуатационной колонны по вертикали составляет 1196 м. Эксплуатационная колонна предназначена для разобщения проницаемых горизонтов, залегающих выше продуктивного пласта. Бурение под эксплуатационную колонну ведётся турбинным способом долотами диаметрами 215,9 мм.

Эксплуатация ведётся по насосно-компрессорным трубам (НКТ) диаметром 114,3 мм. Применяемая конструкция лифтовых труб – одноколонная.

Проектная конструкция эксплуатационной скважины приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Проектная конструкция эксплуатационной газовой скважины

Около 65 % скважин оборудованы сетчатым фильтром диаметром 114,0 мм, который перекрывает участок ствола скважины, вскрывающий продуктивный пласт в интервале 1196–1320 м. Фильтр предназначен для предотвращения выноса песка продуктивного пласта сеноманских отложений, сложенного слабосцементированными породами.

Контроль за процессом разработки рассматриваемого месторождения

По состоянию на 2022 год было запланировано добуривание порядка 30 скважин. По факту эти скважины были разбурены в 2024 году и подключены в 2025 году.

Фонд бездействующих скважин пополняется за счёт обводнения скважин.

Контролем за подъёмом газоводяного контакта (ГВК) в скважинах в процессе разработки сеноманской залежи наиболее полно охвачена зона эксплуатационного разбуривания. Периферийные же участки из-за недостаточного количества наблюдательных скважин данными о подъёме ГВК освещены слабо.

Причины, обуславливающие скопление жидкости, могут быть разнообразными. Состав скопившейся жидкости и характер воздействия, которое она оказывает на призабойную зону пласта, индивидуальны для каждой конкретной скважины. Скопившаяся жидкость может разрушать цемент горной породы-коллектора, ухудшая при этом фильтрационно-емкостные свойства призабойной зоны и повышая содержание механических примесей в продукции скважины, которые негативно влияют на наземное и подземное оборудование. Кроме того, жидкость, продолжительное время накапливаясь на забое, в определённый момент может достигнуть уровня перфорационных отверстий и перекрыть их. Тем самым создаётся противодавление на продуктивный пласт, которое будет возрастать с увеличением высоты столба жидкости над уровнем перфорационных отверстий. Это существенно уменьшает величину создаваемой депрессии на продуктивной пласт и, соответственно, уменьшается дебит газа, вплоть до полной остановки скважины. Принято подразделять жидкость, поступающую на забой скважины, на пластовую или конденсационную воду и газовый конденсат.

К группе пластовых вод относятся напорные подземные воды, являющиеся естественными спутниками всех газовых, газоконденсатных н нефтяных месторождений.

Поступление пластовой воды в скважину обусловлено:

- поднятием уровня газоводяного контакта;
- поступлением в скважину воды из водоносных горизонтов (через негерметичность).

В связи с этим объём водопритока может достигать довольно больших значений.

Минерализация пластовых вод определяется лабораторными исследованиями и отражена в ТПР.

Конденсационные воды являются продуктом паров воды, растворённых в природном газе.

При подъёме газа по лифтовым трубам происходит его охлаждение в зоне многолетнемёрзлых пород и выделение конденсационной воды из газа. Далее конденсационные воды стекают по стенкам лифтовых труб на забой скважины.

Минерализация конденсационных вод составляет от 0,05 до 1,0 г/л. Их химический состав отличается от химического состава пластовой воды меньшем содержанием различных ионов и солей.

При эксплуатации скважин газоконденсатных месторождений на их забое может накапливаться газовый конденсат. Это происходит из-за явления ретроградной конденсации. При уменьшении пластового давления и изотермических условий системы газ может переходить из газообразного состояния в жидкое, тем самым образуется двухфазная система.

Обычно жидкость, поступающая в скважину, выносится на поверхность потоком газа при условии, что скорость движения газа на забое выше критической скорости. Критическая скорость является условным значением скорости движения газа, при которой не обеспечивается вынос жидкости на поверхность. Для каждой скважины значение критической скорости индивидуально, в среднем оно изменяется в пределах от 3 до 4 м/с. В тот момент, когда скорость движения газа на забое становится меньше или равной критической скорости, поступающая в скважину жидкость перестаёт выноситься на поверхность. Снижение скорости движения газа на забое происходит вследствие уменьшения пластового давления. Таким образом, интенсивность накопления жидкости на забое газовых и газоконденсатных скважин возрастает на поздних стадиях разработки месторождения.

На поздних стадиях разработки важной задачей является обеспечение работоспособности скважин в условиях их обводнения пластовыми и конденсационными во-

дами. Вода отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики – изменяется режим работы скважин из-за уменьшения депрессии на пласт. На истощённую энергетику пласта накладываются дополнительные гидравлические сопротивления из-за наличия воды в лифтовых трубах и газосборных трубопроводах системы сбора газа.

Перераспределение добычи между скважинами в поздний и завершающий периоды разработки затруднительно из-за низкого пластового давления. В результате этого часть скважин эксплуатируется ниже своих потенциальных возможностей, происходит самопроизвольная остановка из-за накопления жидкости в скважине.

В ООО «Газпром добыча Уренгой» проводились исследования влияния конденсационной и пластовой воды на разрушение призабойной зоны пласта. По результатам лабораторных экспериментов с образцами сеноманского керна сделаны следующие выводы:

- взаимодействие пресной воды с керном приводит к активному разбуханию и диспергированию глинистых частиц его цемента, разрушению образцов сцементированного сеноманского керна, при этом тонкодисперсные глинистые частицы, находясь во взвешенном состоянии, обусловливают взмучивание раствора, образуя агрегатно-устойчивую структуру;
- пластовая вода по сравнению с конденсационной водой электролитически более «совместима» с минералами пород-коллекторов сеноманской залежи, поэтому разрушает их в меньшей степени в результате расклинивающего воздействия процесса гидратации на глинистые частицы цемента керна;
- пресные конденсационные воды более интенсивно разрушают структуру глинистого цемента сеноманского керна, чем минерализованные пластовые воды. Данное обстоятельство говорит о том, что наличие в скважине столба конденсационной воды, уходящей в пласт при её остановке, может привести к интенсивному разрушению ПЗП, поэтому технологический режим эксплуатации скважины должен обеспечивать достаточную скорость потока в лифтовой колонне для устойчивого выноса жидкости с забоя.

Таким образом, результаты лабораторных экспериментов подтвердили, что конденсационная вода более интенсивно разрушают структуру глинистого цемента керна, чем пластовая, а темп его разрушения возрастает по мере снижения общей минерализации воды.

На дату вскрытия бурением газоводяной контакт вскрыт в 38 скважинах.

Поверхность ГВК ещё до начала эксплуатации рассматриваемой площади в отдельных скважинах, пробуренных в 2004 году, находилась на довольно высоких отметках. Максимальная высота текущего ГВК наблюдается на отметке – 1175 м в наблюдательной скважине № 16210 на юге УКПГ-16.

С 2004 по 2013 гг. подъём ГВК составил 6,5-20 м.

Анализ динамики ГВК показал, что подъём поверхности контакта происходит неравномерно по площади и носит опережающий характер в ряде периферийных кустов № 1613, 1619, 1621, 1627, 1633 и 1637. Здесь скорость подъёма ГВК составила 1,7–6,8 м/год, а высота подъёма ГВК по ним на текущий момент составляет 16,0–20,0 м от начального.

Совокупность данных по замерам ГВК позволяет сделать вывод об интенсивном продвижении подошвенных вод в северной и северо-западной части залежи, а также об активности контурных вод на юго-востоке. Начало внедрения вод совпадает с вводом площади в разработку.

По результатам лабораторных анализов с 2017 года в скважинах рассматриваемого месторождения наблюдается пластовая и конденсационная воды. В настоящее время выделяются северный и южный очаги опережающего обводнения (рис. 3).

Формирование этих очагов связано исключительно с особенностями литологического строения, а именно, выходом в области начального ГВК мощных суперколлекторов, способствующих активному внедрению подстилающих вод в залежь. На восточном крыле также отмечаются скважины с признаками пластовой воды в продукции.

Сравнение проектных и фактических показателей по фонду действующих скважин и уровням добычи газа приведено в таблице 1.

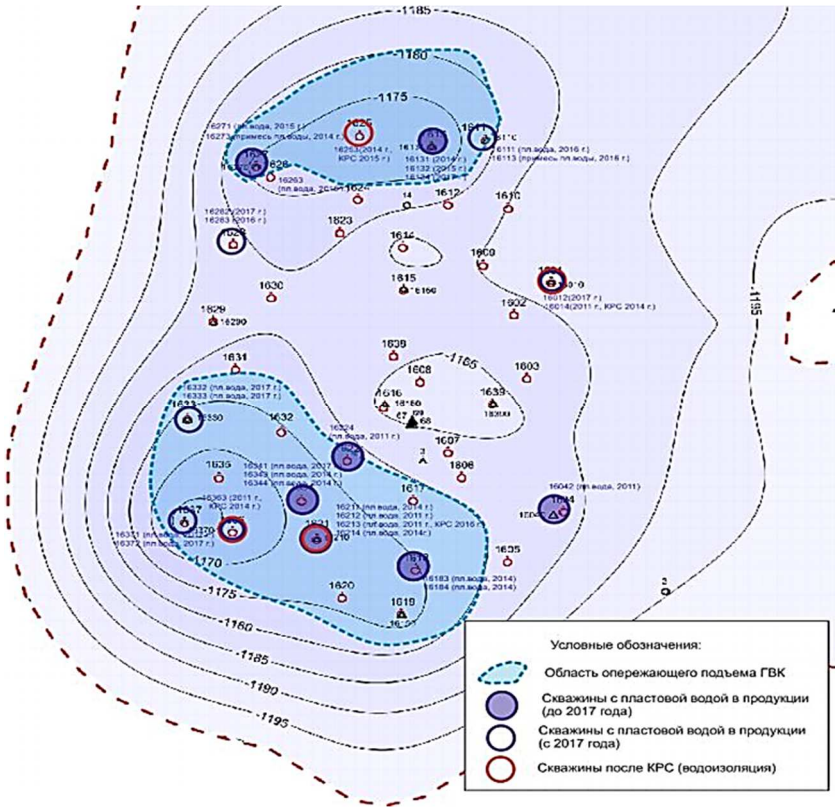


Рисунок 3 – Карта текущего положения ГВК Песцовой площади и очаги опережающего обводнения кустов скважин

Таблица 1 – Сравнение проектных и фактических показателей по фонду действующих скважин и уровням добычи газа

Показатели	4 квартал 2024 года	1 квартал 2025 года
Действующий фонд проект / факт	174 / 146	173 / 146
Действующий фонд отклонение, %	–16,1	–15,6
Предельно-допустимый режим $Q_{газа}$ тыс. м^3/сут. тыс. м^3/час	 84000 3500,0	 85500 3562,5
Проектный технологический документ тыс. м^3/сут. тыс. м^3/час	 81602,3 3400,1	 87408,0 3642,0
Отклонение тех. режим / проект %	102,9	97,8

С учётом вышесказанного происходит дополнительная нагрузка по добыче газа на действующий фонд скважин, не предусмотренная проектным технологическим документом, т.е. превышение отбора газа, что приводит к увеличению темпов продвижения газоводяного контакта в скважинах с низкой вертикальной анизотропией пласта в подошвенной части разреза и, как следствие, к поступлению пластовой воды к забоям.

Мониторинг обводнения сеноманской залежи нефтегазоконденсатного месторождения

Достаточно активный упруговодонапорный режим разработки сеноманской залежи предопределяет необходимость систематического контроля.

Положение ГВК на рассматриваемом месторождении устанавливается по данным комплексных промыслово-геофизических исследований и результатам опробования скважин. При определении контактов в обсаженных скважинах наиболее информативны нейтронные методы в силу резкого различия водородосодержания водоносных и газоносных коллекторов.

Нейтронный каротаж основан на взаимодействии потока нейтронов с ядрами элементов горных пород. Спускаемый в скважину прибор содержит источник быстрых

нейтронов и индикатор, удалённый от источника на заданном (примерно 0,5 м) расстоянии и изолированный экранной перегородкой. Существует несколько разновидностей нейтронного каротажа, как, например, нейтронный каротаж по тепловым (ННК-Т) и надтепловым (ННК-НТ) нейтронам, которые дают дополнительную информацию о коллекторе и пластовых жидкостях. В случае обводнения газонасыщенных коллекторов в ходе разработки месторождений происходит уменьшение показаний нейтронного гамма-каротажа, так как водород основной элемент, влияющий на замедление или поглощение. Чем больше водорода (воды), тем быстрее нейтроны замедляются и поглощаются и у приёмника плотность нейтронов гамма-излучения меньше.

Благодаря тому, что нейтронный гамма-каротаж решает множество задач в процессе разведки и эксплуатации скважин, этот метод по праву считается ведущим методом изучения скважин нефтяных и газовых месторождений. Метод нейтронного гамма-каротажа применяют для решения следующих задач:

- литологическое расчленение разрезов;
- выделение коллекторов;
- оценка пористости;
- отбивка ВНК, ГВК.

Анализ за обводнением сеноманской залежи проводится в наблюдательных скважинах путём проведения временных замеров НГК (ГИС-контроль). По данным геофизических исследований с целью уточнения ГВК получена информация о движении газоводяного контакта относительно начального ГВК до 30 м. По проблемным кустам происходило сокращение фактической среднесуточной добычи по сравнению с проектной: в 2021 году – на 33 %, в 2022 году – на 44 %, в 2023 году – на 40 %, в 2024 году – на 16 %. Несмотря на это темп подъёма ГВК продолжает оставаться на высоком уровне. В таблице 2 приведено положение ГВК в скважинах рассматриваемого месторождения по состоянию на 01.01.2025 г.

Таблица 2 – Положение ГВК в скважинах по состоянию на 01.01.2025 г.

№ куста	№ скважин	Положение контакта, (м)	
		начальное ГВК (на момент вскрытия)	текущее ГВК по ГИС на 01.01.2025 г.
1601	16010 наблюдательная газовая	1275,0–1275,4 а.о. 1191,33–1191,73	1266,4–1266,9 а.о. 1185,12–1185,62
1604	16040 пьезометрическая	1271,6–1273,1 а.о. 1192,11–1193,61	1268 а.о. 1188,51
1611	16110 наблюдательная газовая	1272,3–1272,8 а.о. 1191,02–1191,52	1266,4–1266,9 а.о. 1185,12–1185,62
1613	16130 неперфорированная	1278,6 а.о. 1191,64	1263,2–1265,0 а.о. 1176,27–1178,06
1615	16150 неперфорированная	1259,7–1273,0 а.о. 1175,73–1189,03	1259,7–1273,0 а.о. 1175,73–1189,03
1616	16160 неперфорированная	1279,1 а.о. 1189,68	1275,6 а.о. 1186,18
1619	16190 неперфорированная	1261,8–1272,3 а.о. 1182,68–1193,18	1256,2–1256,2 а.о. 1177,08–1177,08
1639	16390 неперфорированная	1278,8–1279,4 а.о. 1189,0–1189,6	1274,6–1279,4 а.о. 1184,8–1189,6
	68 пьезометрическая	1275,6–1277,4 а.о. 1188,7–1190,5	1272,2 а.о. 1185,3

На рисунке 4 представлена динамика обводнения эксплуатационных скважин в период 2020–2024 гг. Как видно из графика, в 2023 году число скважин, работающих с пластовой водой, резко выросло. Эта тенденция сохранилась и в 2024 году. На рисунке 5 показано изменение объёма добываемой конденсационной и пластовой воды по годам. В 2024 году наблюдается значительный рост добываемой жидкости эксплуатационными скважинами.

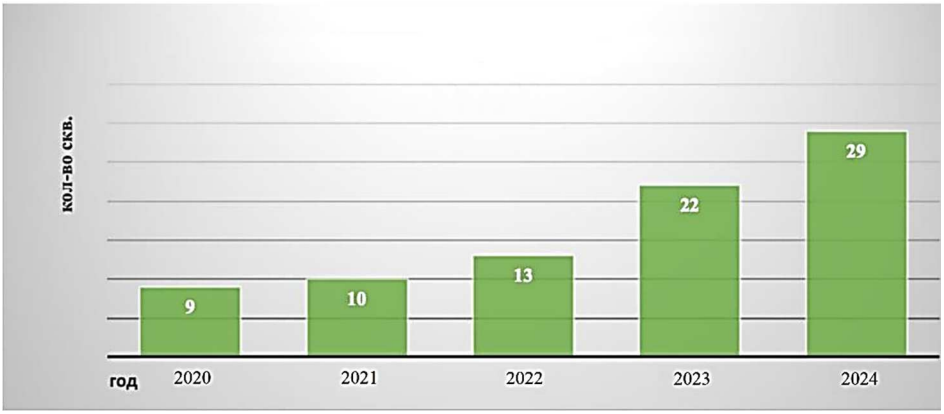


Рисунок 4 – Динамика обводнения эксплуатационных скважин в период 2020–2024 гг.



Рисунок 5 – Динамика добычи конденсационной и пластовой воды в период 2020–2024 гг.

На рисунке 6 показана динамика увеличения содержания воды в пластовом газе за период 2021–2025 (1-й квартал) гг. с 0,39 м^3/млн м^3 до 2,34 м^3/млн м^3 добытого газа.

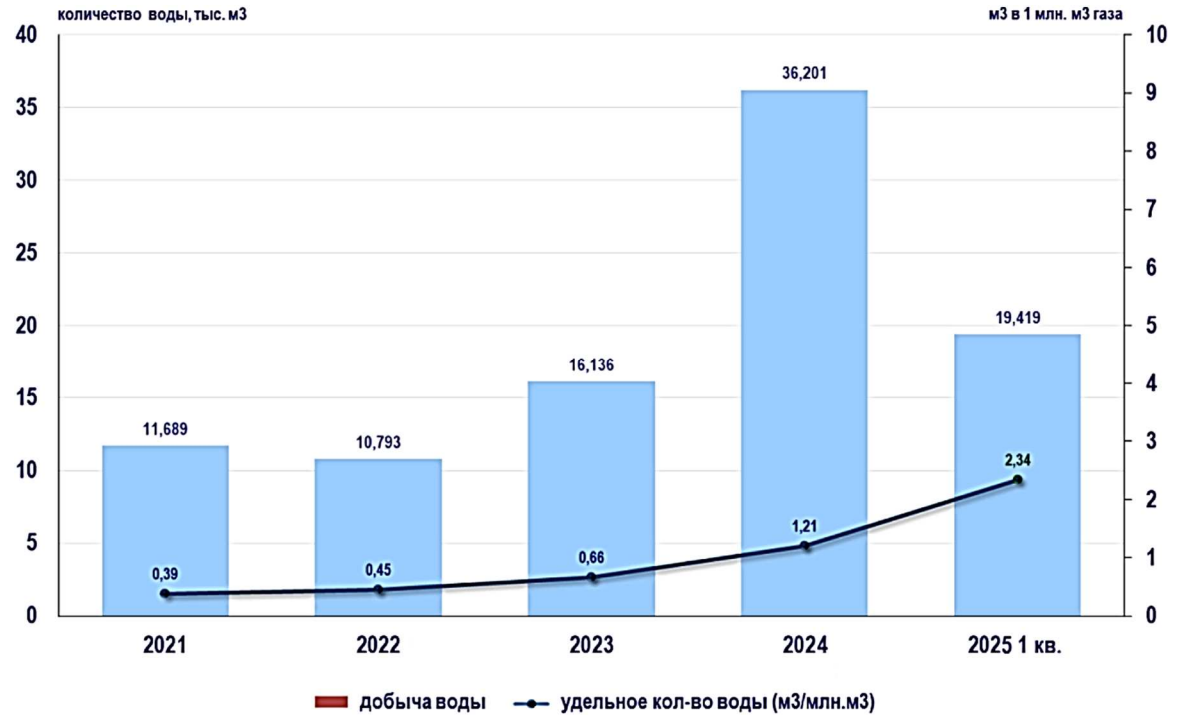


Рисунок 6 – Удельное содержание воды в добываемом газе в период 2021–2025 (1-й квартал) гг.

В 2021–2023 гг. в эксплуатационных скважинах № 16014, 16213, 16253 и 16363 выполнены работы по изоляции водопритока установкой цементного моста в нижнем обводнённом интервале ствола. Поскольку скважины оборудованы фильтром, результат данных мероприятий неоднозначен – водоприток удалось ограничить, но не исключить полностью. При этом наличие фильтра исключает поступление механических примесей из пласта в скважину. В настоящий момент в капитальном ремонте по виду «Извлечение подземного оборудования, водоизоляция, ревизия НКТ, интенсификация» находится скважина № 16212 (также оборудована фильтром). После установки цементного моста 25.01.2025 г. в ходе освоения и проведения диагностического обследования отмечено незначительное снижение водопритока, планируется проведение работ по наращиванию цементного моста.

По данным гидрохимического контроля за 2023–2024 гг. в продукции 33 скважин отмечено присутствие пластовой воды, из них 3 скважины (№ 16131, 16271 и 16212 – в КРС) вышли в бездействие по причине обводнения; 3 скважины (№ 16214, 16223 и 16282) после проведения работ по ограничению расхода работают с конденсационной водой.

По состоянию на 01.04.2024 г. 27 скважин (19 % фонда месторождения) работают со значительным содержанием пластовой воды в скважинной продукции (табл. 3).

Таблица 3 – Перечень скважин, работающих с пластовой водой

№ n/n	№ скважины	$M_{общ}$, г/л	Дебит газа (рапорт за март 2024 года), тыс. $м^3$/сут.	Дебит газа, тыс. $м^3$/час
1	16012	16,9	274,8	11,4
2	16014	21,5	302,2	12,6
3	16032	9,0	511,1	21,3
4	16042	15,8	280,3	11,7
5	16111	18,9	247,3	10,3
6	16113	16,8	219,8	9,2
7	16132	17,3	302,2	12,6
8	16134	9,9	236,3	9,8
9	16183	16,8	445,1	18,5
10	16184	12,8	445,1	18,5
11	16211	10,0	280,3	11,7
12	16213	17,5	346,2	14,4
13	16224	18,0	291,3	12,1
14	16253	17,9	280,3	11,7
15	16263	18,3	296,8	12,4
16	16273	19,1	428,6	17,9
17	16281	12,5	774,9	32,3
18	16283	18,3	516,6	21,5
19	16332	15,2	648,5	27,0
20	16333	16,7	664,9	27,7
21	16341	17,5	522,1	21,8
22	16343	18,0	417,7	17,4
23	16344	17,3	478,1	19,9
24	16363	9,5	654,0	27,2
25	16364	8,8	533,1	22,2
26	16371	13,6	593,5	24,7
27	16372	16,4	599,0	25,0

Для снижения дальнейшего преждевременного выбывания действующего фонда скважин возникает необходимость применения методов борьбы с обводнением.

Методы борьбы с обводнением

Проблема обеспечения стабильной работы скважин на поздней стадии разработки месторождений требует применения различных технологий удаления жидкости из скважин.

Методы удаления жидкости с забоев газовых скважин подразделяются на:

1) механические (плунжерный лифт, различные модификации газлифта, автоматизированные продувки и другие);

2) физико-химические (при помощи пенообразующих реагентов).

Причём те или другие методы применяют как для периодического, так и для непрерывного удаления жидкости.

В газодобыче получили распространение следующие способы удаления жидкости:

- технологические продувки скважин;
- штанговые глубинные насосы;
- плунжерный лифт;
- газлифт;
- подача ПАВ на забой скважины;
- замена лифтовых колонн на трубы малого диаметра;
- эксплуатация скважин по концентрическим лифтовым колоннам.

Выбор способа удаления жидкости с забоя скважины зависит от геолого-промысловой характеристики газонасыщенного пласта, конструкции скважины, периода разработки залежи, а также от количества поступающей жидкости в скважину.

Дебит воды – важный фактор, влияющий на выбор метода. При небольших дебитах воды достаточно эффективны периодические методы, при больших дебитах воды эффективнее непрерывные методы.

Одним из недорогих, эффективных и широко применяющихся методов удаления жидкости с забоев скважин является метод вспенивания забойной жидкости, который заключается в доставке на забой определённого количества ПАВ-пенообразователя, растворении его в жидкости на забое скважины и образовании столба пены за счёт «пробулькивания» газа, поступающего из пласта в скважину. Пена, имеющая малую плотность, легко выносится на поверхность. При использовании метода вспенивания для удаления жидкости с забоя скважины нужно выбрать тип и концентрацию ПАВ в соответствии с минерализацией воды и наличием или отсутствием конденсата в забойной жидкости. В настоящее время применяют анионоактивные ПАВ. На вспениваемость жидкости влияют как физико-химические свойства раствора (поверхностное натяжение, плотность, вязкость), так и гидродинамические условия.

На различных этапах эксплуатации месторождения получен опыт применения следующих технологий: замена НКТ на меньший диаметр, подача в скважину твёрдых и жидких поверхностно-активных веществ, плунжерный лифт. Однако перечисленные технологии имеют существенные ограничения:

- ПАВ не эффективен в скважинах с подвеской НКТ выше перфорированного интервала;
- замена НКТ на меньший диаметр уменьшает продуктивность скважины, так как сопровождается глушением и приводит к увеличению гидравлических сопротивлений;
- плунжерный лифт не получил распространения ввиду низкой конструктивной надёжности.

Проведён сравнительный анализ существующих технологий удаления жидкости с забоя скважины. Каждая из технологий соответствует определённым геологическим и экономическим условиям и имеет свои преимущества и недостатки. Сравнение проводилось на основании технологических критериев. Для измерения эффективности технологий эксплуатации использован ранговый подход. Качественные признаки технологии оцениваются по трёхбалльной шкале: 1 – плохо, 2 – нейтрально, 3 – хорошо. Данные ранжирования по основным технико-технологическим показателям показаны в таблице 4.

Технология удаления жидкости с использованием концентрических лифтовых колонн набрала максимальное количество баллов почти во всех рассматриваемых пунктах. Таким образом, данная технология является наиболее перспективной для внедрения с целью удаления жидкости с забоя газовых и газоконденсатных скважин.

Как видно из таблицы 4, условиям дальнейшей эксплуатации газовых скважин в наибольшей степени удовлетворяет технология работы по концентрическим лифтовым колоннам (КЛК). Наиболее перспективным является применение технологии эксплуатации обводняющихся малодебитных газовых скважин по концентрической лифтовой колонне. Однако её эффективность может быть значительно выше, если решить задачу реализации спуска дополнительной лифтовой колонны без проведения капитального ремонта и глушения скважины.

Таблица 4 – Ранговая оценка технологий для эксплуатации обводнённых газовых скважин

№ n/n	Процессы и условия, сопровождающие внедрение технологий удаления воды	Технология, балл						
		продувка	ШГН	плунжерный лифт	газлифт	ПАВ	НКТ меньшего диаметра	КЛК
1	Необходимость в глушении и освоении скважины при переходе на новую технологию	3	1	1	1	3	1	1
2	Замена компоновки подземного скважинного оборудования	3	1	1	1	3	1	3
3	Оперативная адаптация к переменным промысловым условиям	1	3	3	2	1	1	3
4	Автоматизация и контроль технологического процесса	1	3	3	2	1	2	3
5	Необходимость в дополнительном энергоресурсоснабжении	1	1	1	1	1	2	2
6	Эксплуатация скважины с управлением параметрами работы	1	3	3	2	1	1	3
7	Ограничения по высоте расположения башмака НКТ относительно интервала перфорации	1	1	1	1	1	3	3
8	Воздействие на окружающую среду	1	3	3	2	3	3	3
9	Экономическая составляющая	2	1	2	2	2	1	1
Итого		**14**	**17**	**18**	**14**	**16**	**15**	**22**

Обоснование применения технологии концентрических лифтовых колонн для газовых скважин на поздних стадиях разработки

Суть технологии оснащения скважины концентрической лифтовой колонной заключается в разделении восходящего потока газа по двум направлениям: «быстрого» по центральной колонне малого диаметра и «медленного» по существующей колонне лифтовых труб.

Своевременное переключение потока газа между «быстрым» и «медленным» направлениями позволяет избежать накопление на забое скважины конденсационной воды и исключить режим «самозадавливания» скважины, что позволяет продлить максимально эффективный режим эксплуатации скважины без капитального ремонта. Типовая схема скважины с КЛК приведена на рисунке 7.

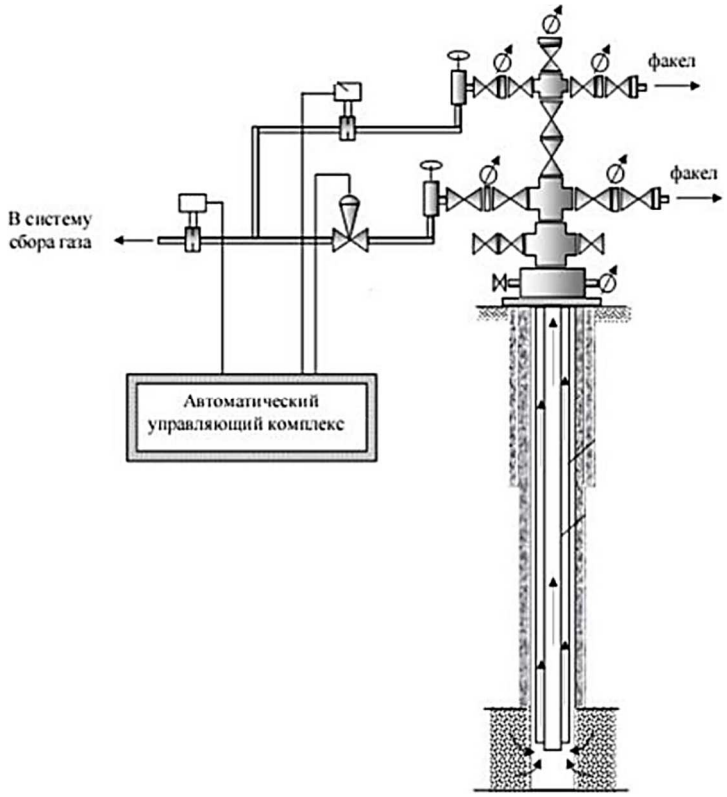


Рисунок 7 – Типовая схема скважины с концентрической лифтовой колонной

Рекомендуемая технология эксплуатации самозадавливающихся скважин с системой ЦЛК предусматривает применение:

- подземного оборудования скважины, включающим гибкую сталеполимерную трубу, трёхпозиционный клапан-отсекатель, воронку;
- наземного оборудования, включающим фонтанную арматуру и автоматизированный управляющий комплекс в случае его установки;
- сокращение количества продувок ствола скважин с выпуском газа в атмосферу;
- большой объём работ по обслуживанию по сравнению с другими скважинами;
- увеличение дебита за счёт постоянного выноса жидкости и тем самым уменьшения фильтрационных сопротивлений на забое скважины;
- снижение дебита скважины при частичном перекрытии межколонного пространства для обеспечения выноса жидкости по центральной лифтовой колонне.

Основаниями для перевода скважин на эксплуатацию по КЛК являются:

- уменьшение рабочих дебитов из-за осложнений, обусловленных скоплениями жидкости на забое и в стволе скважины;
- увеличение трудоёмкости обслуживания скважин при проведении разовых мероприятий по периодическому удалению жидкости;
- увеличение периода работы скважины с дебитом меньше минимально допустимого после цикла принудительного периодического удаления жидкости.

Критерием для перевода скважины на технологию КЛК является наличие признаков скопления жидкости в скважине, которые ограничивают рабочий дебит. Признаками скопления жидкости в скважине следует считать характерные изменения технологических параметров режима эксплуатации (давление, расход, температура), документально зафиксированные во времени средствами измерения и характеризующие режимы работы:

- «самозадавливание» скважины в процессе эксплуатации;
- резкие скачкообразные изменения давления;
- неравномерное уменьшение объёмов добычи при неизменном давлении в газосборной системе;
- уменьшение давления на выходе из лифтовой колонны, измеренного на устье скважин и одновременном увеличении давления в затрубном и/или межтрубном кольцевом пространствах;
- скачкообразное увеличение градиента давления по стволу скважины, измеренного с использованием погружных глубинных манометров во время работы, обусловленное изменением положения динамического уровня жидкости в стволе скважины;
- наличие жидкости и песка в потоке газа, песчаных пробок на забое;
- подъём уровня барботируемой жидкости в скважине.

Перевод скважин на эксплуатацию с использованием концентрических лифтовых колонн заключается в следующем. Перед началом работ проводят комплекс исследований, который включает в себя:

- газоконденсатные и гидродинамические исследования скважины;
- отбор устьевых проб с целью определения состава продукции скважины;
- контроль за давлением на устье скважины и измерение давления по стволу скважины с использованием глубинного манометра.

Кроме того, проводят полный анализ другой различной промысловой информации.

На основании полученных данных определяется характер поступления жидкости на забой скважины, скорость накопления жидкости, её объём и состав.

Далее создаётся модель водоконденсатного притока в скважину, с использованием которой происходит подбор оптимальной глубины спуска центральной лифтовой колонны и её диаметр. Созданную модель водоконденсатного притока используют для определения оптимального диаметра и глубины спуска колонны ГНКТ.

Для каждого возможного диаметра ГНКТ рассчитывается скорость движения газа при разном объёме водоконденсатного притока в скважину и величины пластового давления.

Процесс прогнозирования водоконденсатного притока в скважину является затруднительным, т.к. интенсивность притока зависит от многих различных факторов. Поэтому моделирование рассматривает все возможные варианты изменения пластового давления и величины водоконденсатного притока.

После того, как будет определён оптимальный диаметр колонны ГНКТ, производят моделирование механических нагрузок, которые могут возникнуть при спуско-подъёмных работах. После этого этапа приступают к непосредственному спуску центральной лифтовой колонны (ЦЛК). Для этого на верхнюю часть фонтанной арматуры монтируется блок превенторов, герметизатор и инжектор.

ЦЛК, составленную из гибких насосно-компрессорных труб, спускают во внутрь уже спущенной колонны лифтовых труб, с использованием которых велась эксплуатация ранее.

Диаметр спущенной лифтовой колонны и типоразмеры элементов фонтанной арматуры учитываются при подборе диаметра спускаемой лифтовой колонны. ЦЛК центрируется относительно основной лифтовой колонны (ОЛК). Для удержания ЦЛК на верхнюю часть фонтанной арматуры монтируется узел подвеса.

Фонтанную арматуру обвязывают с автоматическим управляющим комплексом (АУК), который непрерывно контролирует дебит скважины по ЦЛК и ОЛК. При уменьшении дебита скважины ниже критического значения АУК даёт команду на закрытие дистанционно-управляемого регулирующего клапана, который перекрывает пространство между двумя лифтовыми колоннами.

В результате уменьшения диаметра лифтовой колонны повышается скорость движения газа, которая становится достаточной для выноса жидкости на поверхность. В этот момент скважина эксплуатируется только по ЦЛК, дебит скважины уменьшается, но происходит вынос жидкости на поверхность. После чего клапан открывается, и скважина продолжает эксплуатироваться с максимальным дебитом.

Кроме того, управляющий комплекс осуществляет непрерывный контроль за термобарическими параметрами, передаёт их на пульт управления, осуществляет подачу ингибитора гидратоообразования.

Алгоритм расчёта режимов работы скважины

Технологию применяют при устойчивом снижении дебита ниже критического значения, при котором жидкость не выносится из скважины, что приводит к самозадавливанию, либо при скоплении в скважине жидкости, которая не выносится при существующем режиме.

Скважинами-кандидатами для удаления жидкости с использованием технологии эксплуатации обводняющихся газовых скважин по КЛК являются скважины с дебитом газа, недостаточным для непрерывного выноса жидкости. Для его оценки производят расчёт минимального дебита газа, ниже значения которого происходит накопление жидкой фазы на забое скважины.

Минимальный дебит газа Q_{min}, тыс. м^3/сут. вычисляют по формуле:

$$Q_{\min} = 86{,}4 \cdot V_{\min} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{Z \cdot T}, \quad (1)$$

где V_{min} – минимальная скорость газа, необходимая для выноса жидкости, м/с; d – внутренний диаметр лифтовой колонны, м; P – забойное давление, МПа; P_0 – давление в стандартных условиях, МПа; T_0 – температура в стандартных условиях, °К; Z – коэффициент сверхсжимаемости газа на забое; $T_{заб}$ – забойная температура, °К.

Минимальную скорость газа определяют по формуле:

$$V_{\min} = 3{,}3 \cdot \left(\frac{g \cdot \sigma \cdot \rho_{ж}^2 \cdot \sin\alpha}{\rho_{газа}^2 \cdot (\rho_{ж} - \rho_{газа})} \right), \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с*2*; σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м; $\rho_ж$ – плотность жидкости, кг/м^3; α – угол наклона лифтовой колонны к горизонту, град; $\rho_{газа}$ – плотность газа на забое, кг/м^3.

Для расчёта минимального дебита могут применяться эмпирические коэффициенты. Плотность газа можно рассчитать по зависимости от давления:

$$\rho_{газа}\left(P_{заб}, T_{заб}\right) = \rho_{газа}^{н.у.} \cdot \left(\frac{P_{заб} \cdot T_0}{P_0 \cdot T_{заб} \cdot Z}\right), \quad (3)$$

где $\rho_{газа}^{н.у.}$ – плотность газа при нормальных условиях, кг/м^3.

Поверхностное натяжение жидкости:

$$\sigma = 0{,}001 \cdot \left(0{,}0007 \cdot P_{заб}^2 - 0{,}2708 \cdot P_{заб} + 71{,}154\right). \quad (4)$$

Коэффициент сверхсжимаемости:

$$Z = \frac{P_{заб} \cdot T_0 \cdot 0{,}0888 \cdot P_{заб}^{-1{,}069}}{P_{заб} \cdot T}. \quad (5)$$

Далее приведён алгоритм расчёта режимов работы скважин, оборудованных концентрической лифтовой колонной.

Алгоритм расчёта

Забойное давление $P_{заб}$ (МПа) вычисляют по формуле:

$$P_{заб} = P_{зт} \cdot e^S, \quad (6)$$

где $P_{зт}$ – абсолютное давление газа на устье скважины в МКП при движении газа только по ЦЛК (или давление газа на устье в затрубье при работе по ЦЛК и МКП одновременно), МПа; S – безразмерный показатель, вычисляемый по формуле:

$$S = \frac{0{,}03415 \cdot \overline{\rho} \cdot L}{z_{ср} \cdot T_{ср}}, \quad (7)$$

где $\overline{\rho}$ – относительная плотность газа; L – длина лифтовой колонны, м; $z_{ср}$ – средний коэффициент сверхсжимаемости газа, соответствующий значению $P_{ср}$, МПа, вычисляемому по формуле:

$$P_{ср} = \frac{2}{3} \cdot \left(P_{заб} + \frac{P_{уст}^2}{P_{заб} + P_{уст}}\right), \quad (8)$$

где $P_{уст}$ – давление на головке абсолютное, МПа; $T_{ср}$ – средняя абсолютная температура газа в стволе скважины при движении газа от забоя до устья, °К, вычисляемая по формуле:

$$T_{ср} = \frac{T_{уст} + T_{заб}}{2}, \quad (9)$$

где $T_{уст}$ и $T_{заб}$ – соответственно температура на устье и на забое, °К.

Забойное давление Рзаб при движении газа по ЦЛК:

$$P_{заб} = \sqrt{P_{уст}^2 \cdot e^{2 \cdot S} + \xi \cdot Q_{факт}^2}, \quad (10)$$

где $Q_{факт}$ – фактический дебит скважины, тыс. м^3/сут.; $P_{уст}$ – давление на устье абсолютное, МПа; ξ – коэффициент сопротивления ствола скважины, вычисляемый по формуле:

$$\xi = 1{,}377 \cdot \lambda \cdot \frac{z_{ср}^2 \cdot T_{ср}^2}{d_{вн}^5} \cdot \left(e^{2 \cdot S} - 1\right), \quad (11)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления ствола скважин.

Средний коэффициент сверхсжимаемости газа $z_{ср}$ считается методом итераций с помощью аппроксимирующего полинома:

$$z_{ср} = z\left(\overline{P}, \overline{T}\right), \tag{12}$$

$$\overline{P} = \frac{P_{ср}}{P_{кр}}, \tag{13}$$

$$\overline{T} = \frac{T_{ср}}{T_{кр}}, \tag{14}$$

где $P_{кр}$ и $T_{кр}$ – критические значения давления и температуры, МПа и °K.

Эффективный диаметр $D_{эф}$ для кольцевого межтрубного канала, который вычисляют по формуле:

$$D_{эф} = \sqrt{D_{эк}^2 - d_н^2}, \tag{15}$$

где $D_{эк}$ – внутренний диаметр труб внешней лифтовой (или эксплуатационной) колонны, мм.

Дебит газа $Q_{зт}$ (тыс. м^3/сут.) по кольцевому каналу вычисляют по формуле:

$$Q_{зт} = Q_{скв} - Q_{баз}. \tag{16}$$

Вместо давления на устье $P_{уст}$ (МПа) вводят давление в кольцевом межтрубном канале $P_{зт}$.

Дебит скважины Qскв (тыс. м^3/сут.) после удаления жидкости из ЦЛК вычисляют по формуле:

$$Q_{скв} = \frac{\sqrt{\left(\left[P_{пл}^2 - P_{уст}^2 \cdot e^{2 \cdot S}\right] \cdot \left[b + \xi \cdot z_{ср}^2 \cdot \left(e^{2 \cdot S} - 1\right)\right] \cdot 4 + a^2\right)} - a}{2 \cdot \left[b + \xi \cdot z_{ср}^2 \cdot \left(e^{2 \cdot S} - 1\right)\right]}, \tag{17}$$

где a и b – фильтрационные коэффициенты формулы притока газа к забою скважины.

Зависимость потерь давления при движении газожидкостной смеси в вертикальной трубе от приведённого параметра Фруда Fr* вычисляют по формуле:

$$Fr^* = 217 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\overline{\rho}_{газа}}{\overline{\rho}_{ж}} \cdot \frac{P_0}{g \cdot T_{ст}} \cdot B^2 \cdot Q^2 \cdot d^{-5}, \tag{18}$$

где Q – дебит газа, тыс. м^3/сут.; B – комплексный коэффициент, вычисляемый по формуле:

$$B = \sqrt{\frac{z \cdot T}{P}}, \tag{19}$$

где $\overline{\rho}_{газа}$ и $\overline{\rho}_{ж}$ – относительные плотности газа и жидкости; z – коэффициент сверхсжимаемости; T – температура газа, °K; P – давление газа абсолютное, МПа; P_0 – стандартное давление (P_0 = 0,1013 МПа); d – внутренний диаметр трубы, м.

$$Q = \sqrt{\frac{Fr^* \cdot \overline{\rho}_{ж} \cdot g \cdot T_{ст} \cdot d^5}{217 \cdot 10^{-6} \cdot \overline{\rho}_{газа} \cdot P_0 \cdot B^2}}. \tag{20}$$

Режим работы газовой скважины характеризуется коэффициентом относительного дебита газа и относительных потерь давления ствола скважины.

Коэффициент относительного дебита газа определяется отношением фактического дебита $Q_{факт}$ (тыс. м^3/сут.) к базовому дебиту $Q_{баз}$ и вычисляется по следующей формуле:

$$K_1 = \frac{Q_{факт}}{Q_{баз}}. \quad (21)$$

Коэффициент относительных потерь давления ствола скважины определяется отношением фактических потерь давления в скважине к возможным потерям давления при работе скважины по ЦЛК с базовым дебитом газа:

$$K_\Delta = \frac{\Delta P_{факт}}{\Delta P_{баз}}, \quad (22)$$

где

$$\Delta P_{факт} = P_{заб} - P_{уст}; \quad (23)$$

$$\Delta P_{баз} = P_{заб}^{баз} - P_{уст}. \quad (24)$$

Здесь:

$$P_{заб}^{баз} = \sqrt{P_{уст}^2 \cdot e^{2 \cdot S} + \xi \cdot Q_б^2}. \quad (25)$$

Значения коэффициентов относительного дебита и относительных потерь могут быть больше или меньше единицы. Чем меньше значения коэффициентов, тем полнее используются добычные возможности скважины. При обосновании технологии эксплуатации скважин следует обеспечить эксплуатацию с минимальными коэффициентами относительных потерь и минимальным относительным дебитом.

Расчёт дебита скважины при эксплуатации одновременно по ЦЛК и кольцевому межтрубному пространству состоит в следующем:

1) определяют эффективный диаметр по формуле (15);
2) определяют дебит скважины по формуле (17);
3) определяют необходимое значение базового дебита по ЦЛК по формуле (18), при этом значение приведённого параметра Фруда, обеспечивающего минимальные потери давления, или дебит, необходимый для непрерывного выноса жидкости, определяется экспериментально в зависимости от диаметра и качества труб, наличия и свойств жидкости (для приближённых расчётов можно использовать значение параметра Фруда, равное 500);
4) вычисляют дебит газа по кольцевому межтрубному пространству по формуле (16).

Расчёт рекомендуемого дебита ЦЛК для обеспечения эксплуатации условной скважины по технологии КЛК выполнен по методике ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Рассмотрим скважину № 16042. По данным гидрохимического контроля за 2023–2024 гг. в продукции этой скважины отмечено присутствие пластовой воды. На рисунке 8 показана динамика изменения пластового давления и дебита скважины № 16042.

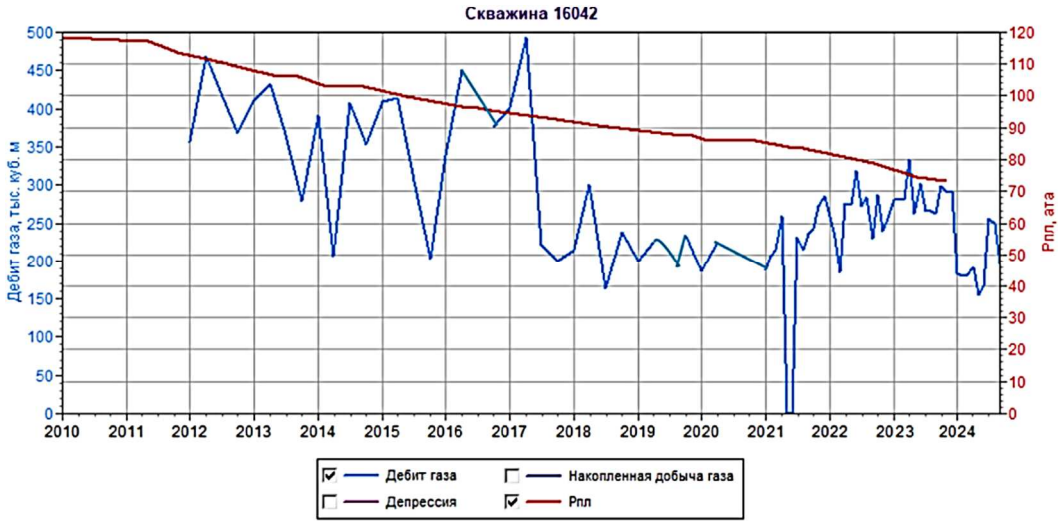


Рисунок 8 – График падения пластового давления и дебита с течением времени

Таким образом, данная скважина является скважиной-кандидатом на внедрение в неё КЛК. В качестве расчёта возьмём данные и параметры со скважины № 16042.

Основные исходные данные для расчёта:

давление в пласте абсолютное $P_{пл}$, МПа	7,1
давление в кольцевом межтрубном канале на устье скважины $P_{зт}$, МПа	6,3
фильтрационные коэффициенты формулы притока газа к забою скважины: *a* *b*	 0,43 0,000118
длина ЦЛК $L_{фт}$, м	1166
внутренний диаметр труб ЦЛК $d_{вн}$, мм	60
внутренний диаметр труб внешней лифтовой колонны $D_{эк}$, мм	168
относительная плотность газа $\overline{\rho}_{газа}$, кг/м^3	0,67
плотность жидкости $\rho_ж$, кг/м^3	998
температура газа на устье $T_{заб}$, °К;	291,3
давление на устье скважины $P_{уст}$, МПа	4,8

Поверхностное натяжение жидкости (формула (4)):

$$\sigma = 0{,}001 \cdot \left(0{,}0007 \cdot 7{,}1^2 - 0{,}2708 \cdot 7{,}1 + 71{,}154\right) = 0{,}07 \cdot$$

Коэффициент сверхсжимаемости (формула (5)):

$$Z = \frac{7{,}1 \cdot 293 \cdot 0{,}0888 \cdot 7{,}1^{-1{,}069}}{7{,}1 \cdot 291{,}3} = 0{,}78 \cdot$$

Плотность газа по зависимости от давления (формула (3)):

$$\rho_{газа}\left(P_{заб}, T_{заб}\right) = 0{,}67 \cdot \left(\frac{7{,}1 \cdot 293}{0{,}1013 \cdot 291{,}3 \cdot 0{,}78}\right) = 51{,}5 \text{ кг/м}^3.$$

Минимальную скорость газа определяют (формула (2)):

$$V_{\min} = 3{,}3 \cdot \left(\frac{9{,}8 \cdot 0{,}07 \cdot 998^2 \cdot \sin 45}{51{,}5^2 \cdot \left(998 - 51{,}5\right)}\right) = 3 \text{ м/с.}$$

Минимальный дебит газа (формула (1)):

$$Q_{\min} = 86{,}4 \cdot 3 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}1^2}{4} \cdot \frac{7{,}1}{0{,}1013} \cdot \frac{293}{0{,}78 \cdot 291{,}3} = 590 \text{ тыс. м}^3\text{/сут.}$$

Средний коэффициент сверхсжимаемости газа (формула (8)):

$$P_{ср} = \frac{2}{3} \cdot \left(7{,}1 + \frac{4{,}8}{7{,}1 + 4{,}8}\right) = 6 \text{ МПа.}$$

Средняя абсолютная температура газа в стволе скважины при движении газа от забоя до устья (формула (9)):

$$T_{ср} = \frac{287 + 291}{2} = 289 \text{ °К.}$$

Средний коэффициент сверхсжимаемости газа $z_{ср}$ (формулы (12) – (14)):

$$z_{ср} = z\left(\overline{P}, \overline{T}\right);$$

$$\overline{P} = \frac{6}{4{,}68} = 1{,}28;$$

$$\overline{T} = \frac{289}{190} = 1{,}52 .$$

Безразмерный показатель (формула (7)):

$$S = \frac{0{,}03415 \cdot 0{,}55 \cdot 1166}{0{,}88 \cdot 289} = 0{,}086 .$$

Забойное давление (формула (6)):

$$P_{заб} = 6{,}4 \cdot e^{0{,}086} = 7{,}05 \text{ МПа.}$$

Коэффициент сопротивления ствола скважины (формула (11)):

$$\xi = 1{,}377 \cdot 0{,}01 \cdot \frac{0{,}88^2 \cdot 289^2}{60^5} \cdot \left(e^{2 \cdot 0{,}086} - 1\right) = 2{,}25 \cdot 10^{-7} .$$

Забойное давление $P_{заб}$ при движении газа по ЦЛК (формула (10)):

$$P_{заб} = \sqrt{4{,}8^2 \cdot e^{2 \cdot 0{,}086} + 2{,}25 \cdot 10^{-7} \cdot 180^2} = 5{,}23 .$$

Эффективный диаметр $D_{эф}$ для кольцевого межтрубного канала (формула (15)):

$$D_{эф} = \sqrt{168^2 - 60^2} = 156 \text{ мм.}$$

Дебит скважины после удаления жидкости из ЦЛК (формула (17)):

$$Q_{скв} = \frac{\sqrt{\left(\left[7{,}1^2 - 4{,}8^2 \cdot e^{2 \cdot 0{,}086}\right] \cdot \left[0{,}001118 + 2{,}25 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}88^2 \cdot \left(e^{2 \cdot 0{,}086} - 1\right)\right] \cdot 4 + 0{,}43^2\right)} - 0{,}43}{2 \cdot \left[0{,}001118 + 2{,}25 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}88^2 \cdot \left(e^{2 \cdot 0{,}086} - 1\right)\right]} =$$

= 50,19 тыс. м^3/сут.

Комплексный коэффициент (формула (19)):

$$B = \sqrt{\frac{0{,}88 \cdot 291}{7{,}1}} \approx 7 .$$

Дебит газа, при котором потери давления в вертикальных трубах минимальны, назван *базовым* и обозначается $Q_{баз}$. Численное значение базового дебита газа определяется по формуле (20) при базовом значении комплексного параметра $Fr^* = Fr^*_{баз}$:

$$Q_{скв} = \sqrt{\frac{550 \cdot 1 \cdot 9{,}8 \cdot 291 \cdot 0{,}1^5}{217 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}67 \cdot 0{,}1013 \cdot 7^2}} = 370 \text{ тыс. м}^3\text{/сут.}$$

Дебит газа по кольцевому каналу (формула (16)):

$$Q_{зт} = 370 - 50{,}19 = 319{,}81 \text{ тыс. м}^3\text{/сут.}$$

Режим работы газовой скважины характеризуется коэффициентом относительного дебита газа и относительных потерь давления ствола скважины.

Коэффициент относительного дебита газа (формула (21)):

$$K_1 = \frac{180}{319{,}81} = 0{,}56 .$$

Коэффициент относительных потерь давления ствола скважины (формулы (22) – (25)):

$$P^{баз}_{заб} = \sqrt{4{,}8 \cdot e^{2 \cdot 0{,}086} + 2{,}25 \cdot 10^{-7} \cdot 370^2} = 5{,}3 \text{ МПа;}$$

$$\Delta P_{баз} = 5{,}3 - 4{,}8 = 0{,}5 \text{ МПа};$$

$$\Delta P_{факт} = 5{,}23 - 4{,}8 = 0{,}43 \text{ МПа};$$

$$K_{\Delta} = \frac{0{,}43}{0{,}5} = 0{,}86.$$

Существующий опыт внедрения технологии концентрических лифтовых колонн показывает, что применение технологии КЛК позволяет существенно продлить срок эксплуатации «самозадавливающихся» скважин, сделать процесс выноса жидкости с их забоя контролируемым и управляемым, а также поддерживать стабильный режим работы скважины в течение всего срока её эксплуатации.

Проанализировав исходные данные, нами сделан вывод, что дебит снижается ниже критического значения. Следовательно, для рассматриваемой скважины № 16042 целесообразно применить технологию концентрических лифтовых колонн.

Выполнив расчёт необходимых технологических показателей и опираясь на значения коэффициентов относительных потерь (так как при обосновании технологии эксплуатации скважин нужно обеспечить эксплуатацию с минимальными коэффициентами относительных потерь и минимальным относительным дебитом – в нашем случае коэффициент относительного дебита газа K_1 = 0,56, коэффициент относительных потерь давления ствола скважины K_{Δ} = 0,86), можно убедиться, что технология концентрического лифта поможет исключить остановку скважины в резерв. Спустив в лифтовую колонну диаметром 60 мм, появляется возможность избежать постоянных продувок, что в свою очередь позволяет избежать потери дебита по скважине. Рекомендуется в качестве центральной лифтовой колонны использовать бесшовные сталеполимерные трубы. Применение данных труб позволит производить установку в короткие сроки (до недели) и без глушения скважины.

Таким образом, можно сделать вывод, что проект внедрения новой технологии эксплуатации по КЛК на самозадавливающихся скважинах рассматриваемого нефтегазоконденсатного месторождения с целью дальнейшего поддержания уровней добычи газа характеризуется при принятых технологических и экономических параметрах проекта устойчивостью и надёжностью.

Проведённая технико-экономическая оценка внедрения технологии показала, что установка данного оборудования на скважинах позволит на этапе падающей добычи существенно продлить период их эксплуатации, повысить доход ПАО «Газпром» и бюджетов РФ.

С использованием новой технологии могут быть решены вопросы удаления воды из скважин за счёт спуска длинномерной лифтовой колонны на требуемую глубину. В процессе эксплуатации скважин с использованием концентрических лифтовых колонн будет возможно регулирование режима работы до последнего дня разработки месторождения. Исходя из вышеизложенного, автоматизированная система контроля и управления технологическими процессами газовых скважин может быть рекомендована к внедрению на газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождениях на поздних стадиях разработки.

Литература

1. Антонкин Д.А. Обзор и анализ современных поверхностно-активных веществ, применяемых на газовых и газоконденсатных месторождениях с целью выноса жидкости с забоя скважин / Д.А. Антонкин, Д.И. Галимов, Д.А. Березовский // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 2. – С. 183–198.
2. Березовский Д.А. Проблема «самозадавливания» скважин и пути её решения на примере Медвежьего месторождения / Д.А. Березовский, И.С. Матвеева, О.В. Савенок // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – № 11. – С. 53–62.
3. Березовский Д.А. Анализ разработки газовых и газоконденсатных месторождений Краснодарского края и проблемы их эксплуатации на различных стадиях добычи углеводородного сырья / Д.А. Березовский, С.Б. Бекетов // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 154–158.
4. Березовский Д.А. Состояние изученности проблемы эксплуатации газовых скважин с высо-

кой вероятностью самозадавливания и методы её решения // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 3. – С. 97–118.
5. Анализ методов борьбы с самозадавливанием скважин на Ямбургском нефтегазоконденсатном месторождении и обоснование выбора технологии / Д.А. Березовский [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2024. – № 2(374). – С. 33–41.
6. Величкин А.В. Способы повышения надёжности работы низкодебитных скважин в условиях их обводнения // Наука и техника в газовой промышленности. – 2013. – № 1. – С. 40–41.
7. Дикамов Д.В. Особенности эксплуатации скважин по концентрическим лифтовым колоннам на месторождении Медвежье / Д.В. Дикамов, И.В. Шулятиков, И.В. Мельников // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: тезисы докладов VIII Всероссийской научно-технической конференции, посвящённой 80-летию РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина (1–3 февраля 2010 года, г. Москва). – М. : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2010. – С. 164–165.
8. Анализ возможности внедрения технологии плунжерного лифта для эксплуатации газовых скважин на поздней стадии разработки нефтегазоконденсатного месторождения / Н.Х. Жарикова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 162–180.
9. Повышение эффективности разработки нефтегазоконденсатного месторождения в условиях самозадавливания газовых скважин / Н.Х. Жарикова [и др.] // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 1. – С. 167–178.
10. Создание комплексной геолого-технической модели для повышения эффективности разработки III эксплуатационного объекта нефтегазоконденсатного месторождения / Н.Х. Жарикова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 274-299.
11. Перспективные направления развития промыслового оборудования сеноманских УКПГ на Уренгойском месторождении / А.Ю. Корякин [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 7. – С. 68–71.
12. Кустышев А.В. Проблемы и пути повышения эффективности эксплуатации газовых скважин на завершающей стадии разработки / А.В. Кустышев, А.С. Епрынцев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 9. – С. 59–64.
13. Эксплуатация самозадавливающихся скважин в условиях завершающего этапа разработки месторождения / В.З. Минликаев [и др.] // Газовая промышленность. – 2010. – № 2. – С. 76–77.
14. Новый этап совершенствования технологий эксплуатации скважин сеноманских залежей / В.З. Минликаев [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 3. – С. 85–88.
15. Особенности диагностики источников обводнения газоконденсатных скважин Уренгойского НГКМ при планировании геолого-технических мероприятий / В.В. Мормышев [и др.] // Газовая промышленность. – 2014. – № 7. – С. 27-32.
16. Фильтрация конденсационной воды в пласт в работающих скважинах сеноманских залежей / А.А. Плосков [и др.] // Газовая промышленность. – 2013. – № 5. – С. 62–66.
17. Рагимов Т.Т. Имитация работы газовой скважины Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения, оборудованной концентрической лифтовой колонной, без управляющего комплекса / Т.Т. Рагимов, Е.С. Юшин // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2020. – № 5–6. – С. 70–78.
18. Шихалиев И.Ю. Повышение надёжности эксплуатации скважин за счёт применения комплекса эффективных технологий / И.Ю. Шихалиев, С.Н. Мохов, Р.Р. Гасумов // Газовая промышленность. – 2012. – № 7. – С. 37–40.
19. Шулятиков В.И. Опыт применения и дальнейшие перспективы внедрения технологий и оборудования для контроля и эксплуатации скважин месторождений Большого Уренгоя / В.И. Шулятиков, Г.М. Гереш, А.А. Плосков // Приоритетные направления развития Уренгойского комплекса: Сборник научных трудов ООО «Газпром добыча Уренгой». – 2013. – С. 349–357.

References

1. Antonkin D.A. Review and analysis of modern surfactants used in gas and gas condensate fields to remove liquid from well bottom / D.A. Antonkin, D.I. Galimov, D.A. Berezovskiy // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2023. – № 2. – P. 183–198.
2. Berezovskiy D.A. The problem of self-destruction of wells and ways to solve it using the example of the Medvezhye field / D.A. Berezovskiy, I.S. Matveeva, O.V. Savenok // Oil. Gas. Innovations. – 2016. – № 11. – P. 53–62.
3. Berezovskiy D.A. Analysis of the development of gas and gas condensate fields on the Krasno-

dar territory and the problems of their operation at various stages of hydrocarbon production / D.A. Berezovskiy, S.B. Beketov // Readings of A.I. Bulatov. – 2022. – Vol. 1. – P. 154–158.
4. Berezovskiy D.A. The state of knowledge of the problem of operating self-pressure gas wells with a high probability and methods for solving it // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2023. – № 3. – P. 97–118.
5. Analysis of the methods applied to combat wells self-killing at the Yamburg oil and gas condensate field and substantiation of the technology selection / D.A. Berezovsky [et al.] // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2024. – № 2(374). – P. 33–41.
6. Velichkin A.V. Methods for improving the reliability of low-yield wells in conditions of their flooding // Science and technology in the gas industry. – 2013. – № 1. – P. 40–41.
7. Dikamov D.V. Features of well operation using concentric lift columns at the Medvezhye field / D.V. Dikamov, I.V. Shulyatikov, I.V. Melnikov // Actual problems of development of the oil and gas complex of Russia: abstracts of reports of the VIII All-Russian scientific and technical conference dedicated to the 80th anniversary of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (February 1-3, 2010, Moscow). – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2010. – P. 164–165.
8. Analysis of the possibility of implementing plunger lift technology for operation of gas wells at the late stage of oil and gas condensate field development / N.Kh. Zharikova // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2025. – № 1. – P. 162–180.
9. Increasing the efficiency of oil and gas condensate field development under conditions of self-pressing gas wells / N.Kh. Zharikova [et al.] // Readings of A.I. Bulatov. – 2025. – Vol. 1. – P. 167–178.
10. Creation of a comprehensive geological and technical model to improve the efficiency of development of the III operational facility of an oil and gas condensate field / N.Kh. Zharikova [et al.] // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2025. – № 2. – P. 274–299.
11. Prospective directions of development of field equipment of Cenomanian gas treatment plants at the Urengoy field / A.Yu. Koryakin [et al.] // Gas industry. – 2014. – № 7. – P. 68–71.
12. Kustyshev A.V. Problems and ways to improve the efficiency of gas well operation at the final stage of development / A.V. Kustyshev, A.S. Epryntsev // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. – 2011. – № 9. – P. 59–64.
13. Operation of self-destructing wells in the conditions of the final stage of field development / V.Z. Minlikaev [et al.] // Gas industry. – 2010. – № 2. – P. 76–77.
14. New stage of improvement of technologies of exploitation of wells of Cenomanian deposits / V.Z. Minlikaev [et al.] // Gas industry. – 2014. – № 3. – P. 85–88.
15. Features of diagnostics of sources of waterlogging of gas condensate wells of the Urengoy oil and gas condensate field when planning geological and technical measures / V.V. Mormyshev [et al.] // Gas industry. – 2014. – № 7. – P. 27–32.
16. Filtration of condensation water into the formation in operating wells of Cenomanian deposits / A.A. Ploskov [et al.] // Gas industry. – 2013. – № 5. – P. 62–66.
17. Ragimov T.T. Simulation of the operation of a gas well of the Urengoy oil and gas condensate field equipped with a concentric lift column without a control complex / T.T. Ragimov, E.S. Yushin // Territory NEFTEGAZ. – 2020. – № 5–6. – P. 70–78.
18. Shikhaliev I.Yu. Increasing the reliability of well operation through the use of a set of effective technologies / I.Yu. Shikhaliev, S.N. Mokhov, R.R. Gasumov // Gas Industry. – 2012. – № 7. – P. 37–40.
19. Shulyatikov V.I. Experience of application and further prospects for the implementation of technologies and equipment for monitoring and operating wells in the Bolshoy Urengoy fields / V.I. Shulyatikov, G.M. Geresh, A.A. Ploskov // Priority areas for the development of the Urengoy complex: Collection of scientific papers of «Gazprom Dobycha Urengoy» LLC. – 2013. – P. 349–357.

УДК 528

ПОГРЕШНОСТИ В ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ И МЕТОДЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ НА ПРАКТИКЕ

♦♦♦♦♦

ERRORS IN GEODETIC MEASUREMENTS AND METHODS OF THEIR MINIMIZATION IN PRACTICE

Вартаваньян А.А.
Кубанский государственный технологический университет
aram.vartavanyan@mail.ru

Брябрин А.О.
Кубанский государственный технологический университет
bryabrin.artem@gmail.com

Магомедов Ш.М.
Кубанский государственный технологический университет
magomedovsh4m@yandex.ru

Тихонов Т.А.
Кубанский государственный технологический университет
timka2015@yandex.ru

Олейникова Л.А.
старший преподаватель кафедры,
Кубанский государственный технологический университет
oleynikova.li@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются основные виды погрешностей, возникающих в процессе геодезических измерений, а также методы их минимизации на практике. Геодезические измерения играют ключевую роль в строительстве, землеустройстве и картографии, однако точность получаемых данных может существенно варьироваться из-за различных факторов, таких как атмосферные условия, ошибки оборудования и человеческий фактор. В статье представлена классификация погрешностей, влияние этих погрешностей на результаты измерений и способы оценки влияния погрешностей на изменения.

Ключевые слова: погрешность, ошибки, грубые, систематические, случайные, отклонения, измерения, сферы применения, способы применения, перспектива, прогрессивность.

Vartavanyan A.A.
Kuban State Technological University
aram.vartavanyan@mail.ru

Bryabrin A.O.
Kuban State Technological University
bryabrin.artem@gmail.com

Magomedov Sh.M.
Kuban State Technological University
magomedovsh4m@yandex.ru

Tikhonov T.A.
Kuban State Technological University
timka2015@yandex.ru

Oleynikova L.A.
Senior Lecturer of the Department,
Kuban State Technological University
oleynikova.li@mail.ru

Annotation. The article discusses the main types of errors that occur during geodetic measurements, as well as methods for minimizing them in practice. Geodetic measurements play a key role in construction, land management, and cartography, but the accuracy of the data obtained can vary significantly due to various factors such as atmospheric conditions, equipment errors, and human factors. The article presents a classification of errors, the effect of these errors on measurement results, and ways to assess the effect of errors on changes.

Keywords: error, mistakes, gross, systematic, random, deviations, measurements, areas of application, methods of application, perspective, progressiveness.

При проведении измерений расстояний, превышений и углов неизбежно возникают ошибки, которые сказываются на достоверности полученных данных.

В геодезии измерения оцениваются по двум параметрам: количественному, отражающему числовое значение, и качественному, определяющему точность. Опыт показывает, что даже при максимальной аккуратности повторные измерения не дают идентичных результатов. Это свидетельствует о том, что полученные значения лишь приближаются к истинному, отклоняясь от него. Степень этого отклонения и является мерой точности измерений [1].

Погрешность измерения D по формуле 1 определяется как разница между измеренным значением l и истинным значением измеряемой величины x [2]:

$$D = l - x. \quad (1)$$

При проведении геодезических работ всегда возникают погрешности. Эти погрешности классифицируются как грубые, систематические и случайные [3].

Грубые погрешности, возникающие из-за невнимательности исполнителя или дефектов оборудования, приводят к значительным искажениям результатов и должны быть полностью устранены. Для этого необходимо проводить повторные измерения.

Систематические погрешности обусловлены известными факторами, имеют предсказуемую величину и направление, что позволяет компенсировать их влияние путем внесения поправок в процессе измерений и расчетов [4].

Случайные погрешности возникают под воздействием множества неконтролируемых факторов, и их полное исключение невозможно. В связи с этим, возникают две основные задачи: определение наиболее вероятного значения из полученных данных и оценка точности этого значения. Решение этих задач обеспечивается применением теории ошибок измерений.

Грубые ошибки возникают из-за небрежности при выполнении измерений и расчетов. Их необходимо выявлять и устранять, например, путем повторных измерений или пересчетов, можно использовать альтернативные методы или привлечь другого специалиста. Для контроля измерений также применяют анализ невязок, к примеру, при суммировании измеренных углов или превышений.

Систематические погрешности возникают из-за постоянного воздействия определенного фактора. Их сложно полностью исключить, даже при соблюдении аккуратности измерений они остаются неизбежной частью измерительного процесса. Поэтому, при выполнении и анализе измерений стремятся минимизировать их влияние, внося корректировки в результаты, калибруя приборы и проводят юстировку строго придерживаясь методики. Например, если измерительная лента короче заявленной на 2 мм, следует либо отказаться от ее использования, либо внести поправку в измеренную длину.

Для компенсации систематических погрешностей, связанных с непараллельностью визирной оси и оси цилиндрического уровня нивелира, можно устанавливать его на одинаковом расстоянии от передней и задней реек, учитывая при этом влияние кривизны Земли [5].

В процессе измерений всегда возникают случайные отклонения, которые при небольшом количестве повторных измерений, не выявляют какой-либо предсказуемой закономерности. Полностью устранить такие погрешности из получаемых данных не представляется возможным, поэтому важно минимизировать их воздействие при проведении и анализе измерений [6].

Причины этих отклонений могут быть разнообразными и установить их в момент измерения затруднительно: это может быть недостаточно высокая точность используемого оборудования, внешние воздействия или субъективная оценка при снятии показаний. Улучшение методик измерений или создание оптимальных условий позволяют уменьшить влияние случайных погрешностей, но не исключить их полностью. В геодезических работах на точность влияют в основном случайные отклонения, а в некоторых случаях добавляются неустранимые систематические ошибки.

Характерные свойства случайных погрешностей: небольшие отклонения встречаются чаще значительных; положительные и отрицательные отклонения возникают с одинаковой вероятностью; среднее арифметическое значение случайных погрешностей стремится к нулю с увеличением числа измерений.

Таким образом, среднее арифметическое значение результатов измерений, полученных даже при небольшом количестве повторов, будет ближе к истинному значению, чем любой отдельный результат. Именно поэтому среднее арифметическое называют вероятностным значением, а разницу между результатом измерения и средним арифметическим – вероятностной погрешностью [6].

В геодезической практике достоверность измеряемых параметров часто оценивается через их вероятные значения, так как истинные величины остаются неизвестными. Например, в замкнутых полигонах контроль точности осуществляется по теоретическим условиям, то есть по сумме внутренних углов или алгебраической сумме превышений. Ключевым критерием качества измерений, выполненных в однородных условиях, выступает среднеквадратическое отклонение (далее – СКО), рассчитываемое по формуле Гаусса. Этот показатель отражает степень рассеивания результатов относительно математического ожидания [7].

Статистический анализ показывает, что отклонения, превышающие СКО в 2 раза, встречаются лишь в 4,5 % случаев, а тройное СКО – менее чем в 0,3 % измерений.

Таким образом, 95,5 % погрешностей не выходят за границы ±2 m, а 99,7 % – остаются в пределах ±3 m. На этом основании тройное среднеквадратическое откло-

нение (3m) принимается за предельно допустимую погрешность, которая служит критерием для отбраковки грубых ошибок.

Установленные закономерности позволяют упростить контроль точности геодезических работ. Например, при уравнивании полигонов результаты, выходящие за 3m, считаются недостоверными и требуют повторных измерений. Этот подход обеспечивает баланс между теоретической строгостью и практической целесообразностью, снижая влияние случайных факторов на итоговые данные.

Измерения, содержащие погрешности, превышающие Dпред, признаются недействительными. Для линейных измерений точным считается показатель относительной погрешности, определяемый как отношение абсолютной величины погрешности к измеренной величине и выражаемое в виде дроби со знаменателем, равным единице [8].

Геодезические измерения, несмотря на кажущуюся простоту, требуют строгого контроля точности. Погрешности делятся на три категории: систематические (повторяющиеся и предсказуемые), случайные (непредсказуемые колебания) и грубые (ошибки, вызванные небрежностью). Рассмотрим их на примере измерений длин линий рулеткой [8].

Систематические погрешности возникают из-за стабильных факторов, влияющих на результат измерений.

В первую очередь – разница температур при компарировании (поверке) и измерениях (допуск до 8 °C) вызывает расширение или сжатие мерной ленты.

Решение: Введение поправок по формуле 2:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot (t_{изм} - t_{комп}), \quad (2)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала.

Далее – некорректное позиционирование ленты, отклонение конца ленты от створа линии (до 15 см) – например, при визуальном выравнивании на неровной местности.

Решением является использование вех или лазерных указателей для точного совмещения с линией.

Неточность компарирования – погрешность определения длины рулетки (до 3 мм) из-за износа или дефектов шкалы. Исключается регулярной поверкой инструмента в аккредитованных лабораториях (согласно ГОСТу 7502-89).

Случайные погрешности обусловлены неконтролируемыми факторами и имеют вероятностный характер.

Ошибки отсчёта. Неточность фиксации остатков линий (до 1 см на 100 м). Например, смещение взгляда при чтении шкалы. Для коротких отрезков (менее 100 м) используются стальные рулетки с миллиметровыми делениями.

Влияние рельефа. Провис ленты (до 0,1 м) или погрешность учета наклона (ошибка измерения угла до 50 угловых минут, превышения – до 1,5 м на 100 м). Применение электронных тахеометров для прямого измерения горизонтальных проложений практически полностью устраняет такие погрешности.

Неоднородность грунта, то есть проседание рулетки на вязких почвах или песке. Необходимо использовать так называемые «башмаки» для фиксации ленты или проводить измерения в сухую погоду.

Грубые погрешности – критические ошибки, возникающие из-за нарушений методики, а именно:

– Некорректное натяжение. Превышение допустимой разницы силы натяжения (более 1,5 кг) ведет к растяжению ленты. Необходимо использовать динамометр для контроля усилия;

– Игнорирование условий местности – измерения на липком грунте без подготовки поверхности. Нужно очищать трассу от мусора, ленту укладывать на деревянные прокладки;

– Неправильная фиксация реперов и смещение контрольных точек из-за оседания штатива. Решением является установка оборудования на твёрдое основание с использованием костылей или анкеров.

Исходя из вышеизложенного очевидно, что минимизация погрешностей требует комбинации методов:

– Для систематических погрешностей – математические поправки и калибровка инструментов;

– Для случайных – увеличение числа измерений и статистическая обработка данных;

– Для грубых – строгий контроль соблюдения инструкций и обучение персонала.

В статье рассмотрены основные виды погрешностей, возникающих в процессе геодезических измерений, инструментальные ошибки и человеческий фактор. Подчеркивается значимость точности геодезических данных для таких областей, как строительство, землеустройство и картография. Проанализирована классификация погрешностей и их влияние на результаты измерений.

Литература

1. Гордеев В.А. Основы теории ошибок измерений : монография». Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2023. – 197 с. ISBN 978-5-8333-1199-8; Корнейчук А.И. Территориальный план развития как виртуальная реальность / А.И. Корнейчук, В.И. Семенов // Журнал «Геодезия и Картография». – 2017. – № 10. – С. 40–49.
2. Теория математической обработки геодезических измерений : учеб. пособие. – Ч. I: Теория ошибок измерений. – М. : МИИГАиК, 2016. – 56 с.
3. Об исследованиях оптических теодолитов и электронных тахеометров / А.П. Пинчук [и др.] // Журнал «Наука. Техника. Технологии» (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 109–113.
4. Оценка погрешности измерения горизонтальных углов при геодезическом сопровождении высотного строительства / Ч.Н. Желтко [и др.] // В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия. Научные чтения памяти профессора В.Б. Федосенко. – 2015. – С. 389–394.
5. Куликов А.Е. Анализ систематических ошибок в геодезических измерениях / А.Е. Куликов, Н.В. Петрова // Труды Московского государственного университета геодезии и картографии. – 2018. – № 25(1). – С. 102–109.
6. Шуршилин Е.А. Оценка случайных и неисключенных систематических погрешностей в основных методах геодезических измерений / Е.А. Шуршилин, Я.А. Олехнович // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 27(79). – С. 79–87.
7. Ковалев С.И. Методы оценки и минимизации ошибок в геодезических измерениях / С.И. Ковалев, А.Н. Лисовский // Геоинформатика. – 2019. – № 3(2). – С. 34–41.
8. Сидоренко А.Н. Геодезические измерения: источники ошибок и методы коррекции / А.Н. Сидоренко, П.В. Тихомиров // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 45–50.

References

1. Gordeev V.A. Fundamentals of the Theory of Measurement Errors: Monograph. Publishing House of FGBOU VO «KubSTU», 2023. – 197 p. ISBN 978-5-8333-1199-8; Korneichuk A.I. Territorial Development Plan as a Virtual Reality / A.I. Korneichuk, V.I. Semenov // Journal «Geodesy and Cartography». – 2017. – № 10. – P. 40–49.
2. Theory of Mathematical Processing of Geodetic Measurements : tutorial. – Part I: Theory of Measurement Errors. – M. : MIIGAiK, 2016. – 56 p.
3. On the study of optical theodolites and electronic tacheometers / A.P. Pinchuk [et al.] // Magazine «Science. Technology. Technologies» (Polytechnic Bulletin). – 2016. – № 2. – P. 109–113.
4. Assessment of the error in measuring horizontal angles during geodetic support of high-rise construction / Ch.N. Zheltko [et al.] // In the collection: Regional aspects of the development of science and education in the field of architecture, construction, land management and cadastres at the beginning of the 3rd millennium. Scientific readings in memory of Professor V.B. Fedosenko. – 2015. – P. 389–394.
5. Kulikov A.E. Analysis of systematic errors in geodetic measurements / A.E. Kulikov, N.V. Petrova // Proceedings of the Moscow State University of Geodesy and Cartography. – 2018. – № 25(1). – P. 102–109.
6. Shurshilin E.A. Assessment of random and non-excluded systematic errors in the main methods of geodetic measurements / E.A. Shurshilin, Ya.A. Olekhnovich // Construction and technogenic safety. – 2022. – № 27(79). – P. 79–87.
7. Kovalev S.I. Methods for Estimating and Minimizing Errors in Geodetic Measurements / S.I. Kovalev, A.N. Lisovsky // Geoinformatics. – 2019. – № 3(2). – P. 34–41.
8. Sidorenko A.N. Geodetic measurements: sources of errors and correction methods / A.N. Sidorenko, P.V. Tikhomirov // News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography. – 2015. – № 4. – P. 45–50.

УДК 628.147.22

АНАЛИЗ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С КОРРОЗИОННОЙ АГРЕССИЕЙ В УСЛОВИЯХ АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ УРЕНГОЙСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

♦♦♦♦♦

ANALYSIS OF METHODS IN COMBATING CORROSION AGGRESSION ON THE ACHIMOV DEPOSITS OF THE URENGOY OIL AND GAS CONDENSATE FIELD

Горпинченко Алексей Николаевич
ООО «Газпром персонал» проект «Ачим Деведопмент»
swengorr@yandex.ru

Поварова Лариса Валерьевна
кандидат химических наук,
доцент,
доцент кафедры химии,
Кубанский государственный технологический университет
larispv08@gmail.com

Аннотация. Коррозионная агрессивность среды на нефтегазоконденсатных месторождениях определяется рядом факторов, включая физико-химические свойства углеводородного и водного компонентов системы, их состав, количественное соотношение, наличие растворённых газов, таких как сероводород, углекислый газ и кислород. Также не менее важным являются условия разработки и эксплуатации месторождений, тип скважин, способ добычи, температура, давление, скорости движения среды и другие факторы. Борьба с коррозионной агрессивностью позволяет обеспечить бесперебойную и безопасную работу месторождения. Благодаря этому повышается межремонтный период работы скважин, повышается технологическая и экономическая эффективность добычи, актуальность данной темы всегда находится на высоком уровне в связи с агрессивностью добываемых сред. Важным фактом является то, что борьба с коррозионной агрессией является многоплановым процессом и включает в себя несколько мероприятий и стратегий. Регулярный мониторинг, обслуживание и предупредительные меры помогают минимизировать риски, связанные с коррозией, и обеспечивают безопасную и эффективную работу на месторождениях.

Ключевые слова: коррозионная агрессивность; виды и методы борьбы с высокой фоновой скоростью коррозии; способы защиты оборудования и трубопроводов от коррозионной агрессии; противокоррозионная защита внутренних поверхностей элементов выкидных линий и фонтанной арматуры; разработка мероприятий защиты газосборных коллекторов и трубопроводов обвязки скважин; постоянная подача ингибитора коррозии; периодическая подача ингибитора коррозии.

Gorpinchenko Alexey Nikolaevich
LLC «Gazprom personnel»
project «Achim Development»
swengorr@yandex.ru

Povarova Larisa Valeryevna
Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor
of the Department of Chemistry,
Kuban State Technological University
larispv08@gmail.com

Annotation. The corrosive aggressiveness of the environment in oil and gas condensate fields is determined by a number of factors, including the physicochemical properties of the hydrocarbon and water components of the system, their composition, quantitative ratio, and the presence of dissolved gases such as hydrogen sulfide, carbon dioxide and oxygen. Also no less important are the conditions for the development and operation of fields, the type of wells, the method of production, temperature, pressure, speed of movement of the medium and other factors. The fight against corrosion aggressiveness allows us to ensure uninterrupted and safe operation of the field. Thanks to this, the turnaround time of wells increases, the technological and economic efficiency of production increases, the relevance of this topic is always at a high level due to the aggressiveness of the extracted environments. An important fact is that the fight against corrosion is a multifaceted process and includes several activities and strategies. Regular monitoring, maintenance and preventive measures help minimize the risks associated with corrosion and ensure safe and efficient field operations.

Keywords: corrosiveness; types and methods of combating high background corrosion rates; methods of protecting equipment and pipelines from corrosive aggression; anti-corrosion protection of internal surfaces of flow line elements and Christmas tree fittings; development of measures to protect gas collection collectors and well piping pipelines; constant supply of corrosion inhibitor; periodic supply of corrosion inhibitor.

Виды коррозии

Нефтегазовая отрасль, как и любое другое промышленное производство, сталкивается с проблемой коррозии. В этой отрасли существует несколько видов коррозии, каждый из которых имеет свои особенности и требует индивидуального подхода к борьбе с ним. К ним относятся поверхностная коррозия, контактная коррозия, интеркристаллическая коррозия, а также общая коррозия. Каждый вид имеет свою специфику и может вызвать серьёзные технические проблемы, объёмные затраты и даже люд-

ские потери, если не бороться с ним эффективно. Именно поэтому в нефтегазовой отрасли необходим постоянный контроль за состоянием оборудования, использование высококачественных материалов, специализированных ингибиторов коррозии и соблюдение всех необходимых процедур.

Электрохимическая коррозия

Электрохимическая коррозия является наиболее распространённым видом коррозии, возникающим при взаимодействии металла с электролитами, которые могут быть представлены нефтью, газом, водой и химическими реагентами.

Когда металл контактирует с электролитом, возникает электрохимическая реакция, приводящая к разрушению структуры металла. Электролиты, помимо поверхностной коррозии, способны проникать в металл через микротрещины и дефекты поверхности, такие как царапины и сколы, в результате чего внутренние части металла также становятся уязвимыми для коррозии.

Данный вид коррозии наблюдается в различных условиях, включая окислительные среды и повышенные температуры, а наличие солей или кислот в электролите может ускорить процесс коррозии. Это значит, что любое оборудование, которое подвергается контакту с электролитом, подвержено риску электрохимической коррозии.

Для предотвращения этого вида коррозии рекомендуется применение защитных покрытий на металлических поверхностях, контроль содержания солей и кислот в электролите и регулярная обработка и очистка металлических поверхностей – данные меры помогут снизить риск коррозии, продлят срок службы и увеличат надёжность оборудования.

Коррозионная усталость

Коррозионная усталость – одна из существенных проблем, с которой сталкиваются на месторождениях. Этот вид коррозии возникает вследствие длительной эксплуатации при повторяющихся циклах динамической нагрузки в коррозионной среде. Продолжительная эксплуатация металлических конструкций приводит к постепенному их деградированию, потере прочности и упругости. Выявление факторов, влияющих на коррозионную усталость, является важной задачей. Частота и длительность циклов нагрузки, температура, характер агрессивных сред и свойства материала – все эти факторы оказывают существенное влияние на процесс коррозионной усталости. Применение материалов с более высокой усталостной прочностью при проектировании и изготовлении оборудования является одним из наиболее эффективных способов предотвращения коррозионной усталости. Также важно проводить регулярные испытания с целью обнаружения возможных дефектов и повреждений на ранней стадии эксплуатации. Технологии неразрушающего контроля (такие как метод инфракрасной термографии) могут быть использованы для обнаружения скрытых дефектов и эффективного контроля состояния оборудования.

Сплошная коррозия

Сплошная коррозия также является достаточно распространённым видом коррозии в промышленности. Этот вид коррозии возникает на поверхности металла при взаимодействии с различными агрессивными веществами, такими как растворы солей, серная кислота и т.д. Для защиты металла от сплошной коррозии существует несколько способов. Один из наиболее распространённых – нанесение защитных покрытий на поверхность металла. Лакокрасочные материалы обеспечивают защиту поверхности металла от контакта с агрессивной средой. Также возможно использование специальных технологий для защиты, таких как оцинкование, которое защищает металлические поверхности от коррозии, формируя защитную плёнку из цинка на поверхности металла. Использование инфракрасной термографии – ещё один эффективный метод, который помогает вовремя обнаружить коррозию. Эта технология основана на измерении температурных изменений на поверхности металла. Она позволяет быстро обнаруживать поверхностные дефекты, трещины и другие повреждения, которые могут стать причиной сплошной коррозии. В целом, защита металла от сплошной коррозии требует комплексного подхода, включающего в себя применение защитных покрытий, контроль условий эксплуатации, регулярную проверку состояния оборудования и использование современных технологий контроля и диагностики.

Ручейковая коррозия

Процесс ручейковой коррозии представляет собой появление мелких канавок или ручейков на поверхности металла. Источник ручейковой коррозии обычно связан с

постоянным потоком агрессивной среды, которая воздействует на металлическую поверхность. Основная проблема ручейковой коррозии состоит в низком давлении и низкой подаче при перекачке агрессивного по отношению к металлу флюида. Эти факторы создают условия для появления данного типа коррозии. Чтобы бороться с ручейковой коррозией, можно применить несколько методов. Один из наиболее эффективных подходов включает смену режима перекачки флюида. Повышение давления и подачи может изменить ламинарное течение на турбулентное, что распределит поток по всей длине трубопровода и будет оказывать равномерное воздействие на поверхность металла. Это затруднит формирование ручейковой коррозии и поможет увеличить срок службы оборудования. Кроме того, ингибиторная защита – это ещё один важный инструмент в борьбе с ручейковой коррозией. Использование ингибиторов обеспечивает защиту металла, предотвращая химическую реакцию, которая провоцирует коррозию.

Способы защиты оборудования и трубопроводов от коррозионной агрессии

Катодная защита

Катодная защита – эффективный метод, используемый для предотвращения коррозии металлических конструкций и сооружений. Этот процесс основан на применении электрохимических свойств, позволяющих значительно снизить скорость коррозии металла. Основная суть катодной защиты заключается в подключении защищаемой конструкции к источнику постоянного тока с отрицательным потенциалом. При этом на поверхности металла образуется слой электронейтральных ионов металлов, формирующих защитный слой. Этот слой защищает металлическую конструкцию от электрохимической реакции с окружающей средой.

Важно заметить, что катодная защита – один из самых эффективных методов предотвращения коррозии и продления срока службы металлических конструкций.

Защитные покрытия

Защитные покрытия – наиболее эффективный метод борьбы с коррозией металлических поверхностей. Защитные покрытия представлены в виде различных плёнок и покрытий в зависимости от свойств материала, используемого для создания покрытия.

Плёнки наиболее часто изготавливаются из полимерных материалов, таких как полиуретаны или эпоксиды, благодаря чему обеспечивается эффективная защита от коррозии и продление срока службы оборудования. Они служат препятствием для контакта проникновения агрессивных веществ в металл, что способствует снижению скорости коррозии.

Покрытия, защищающие металл от коррозии и механических повреждений, как правило, изготавливаются из коррозионностойких металлов, таких как нержавеющая сталь или титан. Такие покрытия имеют более долгий срок службы, чем полимерные плёнки, и могут быть нанесены на металл методом покраски с последующим нагревом, диффузионным насыщением или спеканием.

Между тем, необходимо отметить, что использование защитных покрытий не всегда является универсальным и эффективным решением для всех типов коррозии металла, так как является дорогостоящим процессом, требующим специальных знаний и оборудования.

Ингибиторы коррозии

Ингибиторы коррозии являются особым типом химических веществ, разработанных для замедления или предотвращения процесса коррозии – биологического или химического разрушения металла на атомном уровне. Обычно они приготавливаются из активной основы и различных присадочных веществ, способствующих повышению адгезии, стабилизации и других факторов, которые помогают контролировать коррозию. Использование ингибиторов коррозии принято во многих отраслях, поскольку они обеспечивают надёжный и относительно недорогой способ предотвращения коррозии металла.

При внесении ингибиторов в агрессивную среду, будь то кислый раствор или солёная вода, происходит замедление скорости коррозии металла. Это связано с формированием на поверхности металла защитной плёнки, которая препятствует проникновению вредных веществ и электролитов, провоцирующих коррозию.

Применение ингибиторов коррозии широко распространено в различных сферах промышленности, особенно там, где требуется защищать металлические конструкции от взаимодействия с агрессивными средами. Это может включать такие области, как

химическая, нефтяная, газовая, авиационная и морская промышленность, а также строительство и производство, где использование металла является ключевым.

Изменение конструкции

Существует множество способов борьбы с коррозией, однако использование коррозионностойкого оборудования является одним из самых эффективных. Коррозионностойкое оборудование изготавливается из сплавов, содержащих хром, никель, ванадий и другие элементы, которые обладают более высокой стойкостью к коррозии. Однако при выборе таких сплавов необходимо учитывать их параметры, такие как стойкость к высоким температурам, давлению, механическим воздействиям и другим факторам.

Важно отметить, что данный способ является самым дорогим и используется очень редко, несмотря на его эффективность.

Противокоррозионная защита внутренних поверхностей элементов выкидных линий и фонтанной арматуры

В процессе добычи углеводородов особое внимание уделяется фонтанной арматуре, которая играет ключевую роль в герметизации устья, поддержке насосно-компрессорных труб и управлении потоком флюидов. Непрерывная работа фонтанной арматуры является важнейшим фактором успешной эксплуатации нефтяных месторождений. Чтобы обеспечить надёжную защиту от коррозии, в производстве фонтанной арматуры применяются специальные коррозионностойкие сплавы.

Выбор подходящего коррозионностойкого сплава для фонтанной арматуры осуществляется на основе тщательного анализа и испытаний. Одним из методов является гравиметрическое испытание, которое позволяет оценить степень коррозии сплавов при эксплуатации в агрессивных условиях добычи нефти. Задача заключается в выборе сплава, который обладает высокой стойкостью к коррозии и сохраняет свои механические и технические свойства в длительной перспективе.

Таким образом, основной целью исследований и испытаний является предотвращение коррозии фонтанной арматуры. Это позволяет обеспечить эффективную и безопасную работу эксплуатационной системы и продлить срок службы оборудования. Благодаря использованию коррозионностойких сплавов, достигается не только сохранение функциональности фонтанной арматуры, но и улучшение показателей производительности при добыче нефти.

Самой главной целью является недопущение коррозии фонтанной арматуры, в связи с чем используются коррозионностойкие сплавы при производстве. В связи с этим выполнен подбор сплава на основании испытаний образца свидетеля коррозии (ОСК) гравиметрическим способом из сплавов на примере трубопроводов обвязки скважин № 2111, 2112 и 2113 Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения. По окончании испытаний произведены расчёты скорости коррозии ОСК. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сводные результаты гравиметрических испытаний материалов в трубопроводах обвязки скважин КГС № 211

Материал	Скорость коррозии, мм/год			Балл коррозионной стойкости по ГОСТ 9.502-82
	I этап	II этап	среднее значение	
309L	0	0	0	1
Inconel 625	0	0	0	1
07Х16Н6	0	0	0	1
13ХФА	0,146	0,118	0,132	6
30ХМА	0,254	0,211	0,233	6
09Г2С	0,284	0,373	0,329	6

По результатам гравиметрических испытаний выявлено, что материалы, которые обладают наиболее высокой устойчивостью к углекислотной коррозии, это коррозионностойкие стали марки 309L и 07Х16Н6, а также сплав на основе никель-хрома, известный как Inconel 625. Оценка их коррозионной устойчивости на основании шкалы (ГОСТ 9.502-82) показала полную устойчивость к коррозии и высокую оценку – 1 балл. Низколегированные стали, как и предполагалось, имеют более низкую коррозионную устойчивость и оцениваются по этой же шкале на 6 баллов.

После проведения испытаний материалов изготовлена фонтанная арматура, на которую нанесено защитное покрытие. После этого проведены опытно-промысловые испытания фонтанной арматуры. На рисунке 1 представлены элементы фонтанной арматуры, которые подверглись испытаниям в рамках данной программы.

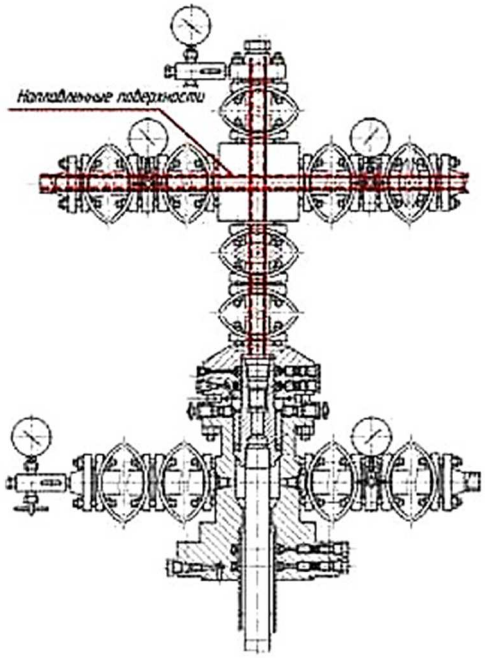


Рисунок 1 – Схема фонтанной ёлки
(красными линиями отмечены элементы с нанесённым защитным покрытием)

Для проверки стойкости к коррозии выбрана арматура, в наплавке которой использовались материалы марки 309L и сплав Inconel 625. Оба материала демонстрировали высокую устойчивость к коррозии, однако учитывая тот факт, что защитное покрытие на основе стали марки 309L оказалось дешевле, его рекомендовано для промышленного использования. Тесты показали, что этот материал был подходящим для фонтанных арматур, используемых в контакте с агрессивными средами всех скважин на втором участке ачимовских отложений Уренгойского НГКМ. Всем внутренним поверхностям нанесено защитное покрытие из стали марки 309L.

Для успешного решения поставленной задачи проведены испытания, включающие опытную эксплуатацию участка трубопровода, протянувшегося от углового дросселя до первой фланцевой пары. Указанный участок выполнен в коррозионностойком исполнении и имел нанесённое изнутри покрытие из стали марки 309L (рис. 2).

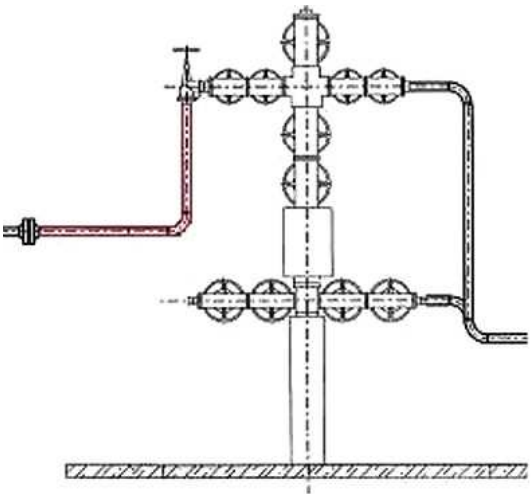


Рисунок 2 – Схема обвязки газоконденсатной скважины
(красным отмечен экспериментальный участок с коррозионностойкой наплавкой)

Результаты годичных испытаний показали полное отсутствие повреждений на внутренней поверхности трубопровода, независимо от того, являются ли они коррозионными или эрозионными. Этот успех является ключевым фактором в планировании реконструкции трубопровода.

Разработка мероприятий защиты газосборных коллекторов и трубопроводов обвязки скважин с постоянной подачей ингибитора коррозии

Проект, направленный на защиту объектов от коррозии, включал защиту трубопроводов обвязки скважин после регулятора давления и газосборных коллекторов от углекислотной коррозии. В рамках проекта изучены различные методы защиты, в том числе замена материалов трубопроводов, применение защитных покрытий и изменение параметров добываемого продукта для снижения скорости коррозии. В результате технико-экономического обоснования принято решение в пользу ингибиторной защиты как оптимального варианта.

Для успешной реализации данного метода подобран подходящий ингибитор и определена оптимальная дозировка, которая соответствует условиям, характерным для второго участка ачимовских отложений Уренгойского НГКМ. Подробные описания результатов исследования приведены ниже.

Для создания модели коррозионных условий водной среды выбрана вода одной из скважин с высокой скоростью коррозии, которой присвоено название Ач1. За этим последовал статистический анализ состава ионов воды в разных скважинах и найден усреднённый состав модельной среды, которой присвоено название $Ач_2$ (табл. 2). Для репликации этой модельной среды в лаборатории её состав пересчитан.

Для подбора наиболее эффективного ингибитора проведены испытания методом гравиметрии с углекислотной коррозией в условиях модельной воды $Ач_1$, имеющей большую минерализацию по сравнению с $Ач_2$. Шесть ингибиторов коррозии перед испытаниями прошли процесс обезличивания и им присвоены индексы ИК1-ИК6, из них с испытаниями справились 3. При t_1 = 60 °С они показали высокую эффективность, далее 3 успешных ингибитора протестировали при температуре t_2 = 40 °С и определили, что они эффективны и скорость коррозии не более 0,1 мм/год.

Таблица 2 – Состав модельных вод

Наименование солей	Содержание, мг/дм^3	
	вода $Ач_1$	вода $Ач_2$
Na_2SO_4	154,3	34,5
$NaHCO_3$	1142,4	41,7
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	603,9	30,2
$MgCl_2$	144,4	10,1
NaCl	6791,6	733,5
KCl	679,2	91,0
Общая минерализация	9367,9	1308,5

Самую высокую эффективность показали ингибиторы с индексами ИК2 и ИК3, в связи с этим проведены ещё одни испытания двухфазной водно-углеродной среды с концентрацией C_{CO2} = 100 мг/дм^3.

Результаты испытаний (табл. 3) показали, что с испытаниями справился только образец с индексом ИК3, поддерживая скорость коррозии до 0,1 мм/год.

Таблица 3 – Результаты лабораторных испытаний с концентрацией продавки C_{CO2} = 100 мг/дм^3

Условия испытаний	Модельная вода	Ингибитор	Температура			
			40 °С		60 °С	
			скорость коррозии, мм/год	защитная эффективность, %	скорость коррозии, мм/год	защитная эффективность, %
1	2	3	4	5	6	7
Водный раствор при постоянной продувке CO_2	$Ач_2$	ИК2	0,060	96,3	0,150	92,6
		ИК3	0,050	96,6	0,090	94,7

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Двухфазная водно-углеводородная среда при постоянной продувке CO_2	$Ач_1$	ИК2	0,061	95,8	0,076	96,0
		ИК3	0,056	96,1	0,076	92,1
	$Ач_2$	ИК2	0,074	88,6	0,166	76,9
		ИК3	0,061	90,6	0,040	94,4

После чего образец ИК3 повторно испытан в автоклавных условиях с моделью пластовой воды $Ач_2$ и температуре t_1 = 60 °С, показатели парциального давления CO_2 при этом составляли от 0,21 до 0,4 МПа. По результатам испытаний выявлена скорость коррозии, которая составляла менее 0,1 мм/год.

Результаты проведения четырёх этапов эксплуатационных испытаний ингибитора ИК3 в реальных условиях объекта добычи установлены на ОСК. В каждом этапе производилось измерение скорости коррозии в нескольких точках трубопроводов при различных расходах ингибитора. В точках с ОСК скорость коррозии удерживалась на уровне не выше 0,1 мм/год, что соответствует требованию СТО Газпром 9.3-028-2014, которое предписывает не менее 85 % защитной эффективности ингибитора коррозии. На некоторых участках оценена величина остаточной скорости общей коррозии в присутствии ингибитора, которая также не превышала 0,1 мм/год. Поэтому показатель «защитный эффект» может считаться удовлетворительным (табл.4).

Таблица 4 – Результаты промысловых испытаний ингибитора коррозии ИК3

Место установки	Скорость коррозии (мм/год) в среде					Степень защиты Z, %			
	без ИК	в присутствии ингибитора коррозии							
		1 этап	2 этап	3 этап	4 этап	1 этап	2 этап	3 этап	4 этап
ГКС № 2А15 1 МОС линия ГС2	1,406	0,0064	0,0128	0,0131	0,0368	99,5	99,1	99,1	97,4
ГКС № 2А15 2 МОС линия ГС2	0,085	0,0020	0,0028	0,0040	0,0078	97,6	96,7	95,2	90,8
ГКС № 2А15 3 МОС линия ГС2	0,050	0,0021	0,0030	0,0035	0,0068	95,8	94,0	93,0	86,4
ГСК 2А15 после МОС	н/д	0,0118	0,0123	0,0120	0,0162	–	–	–	–
ГСК 2А15 в ЗПА	0,011	0,0087	0,0093	0,0095	0,0105	20,9	15,5	13,9	4,5

На первых трёх этапах испытаний использовалась методика непрерывной подачи раствора ингибитора коррозии как основной метод защиты от углекислотной коррозии. В то же время на четвёртом этапе при периодической подаче ИК3 следует отметить, что эффективность защиты находится на грани допустимого значения по критерию ингибирования, который составляет 86,4 %. Непрерывный процесс подачи ингибитора коррозии имеет ряд преимуществ по сравнению с периодическим методом, потому что последний может привести к повышению риска локальной коррозии, что, в свою очередь, может способствовать раннему выводу трубопроводов из эксплуатации, особенно если система защиты от коррозии не применяется вовсе.

Для обеспечения надёжной защиты от коррозии объектов добычи второго участка ачимовских отложений Уренгойского НГКМ разработана постоянная ингибиторная защита с использованием ингибитора ИК3 в соответствии с третьим этапом эксплуатационных испытаний, дозировка которого равна 21 г/1000 м^3 газа.

Для защиты сети газосборных коллекторов необходимо создать парк хранения ингибитора коррозии, проложить трубопроводы и насосную станцию. Этот метод требует значительных капитальных затрат, в связи с чем для сокращения расходов и обеспечения полноценной защиты от коррозии предложено использовать существующий парк хранения метанола, насосную станцию и метанолопроводы для доставки ингибитора, внося изменения в обвязку оборудования. Данная система защиты от коррозии также эффективно борется с осложнениями в виде гидратообразования благодаря присутствию метанола в растворе ингибитора коррозии, который выступает в роли растворителя.

Разработка мероприятий защиты газосборных коллекторов и трубопроводов обвязки скважин с периодической подачей ингибитора коррозии

Постоянная подача раствора ингибитора коррозии осуществляется по существующим метанолопроводам до точки обвязки скважин после регулятора давления (рис. 3). Однако переместить точку ввода раствора ингибитора коррозии к фонтанной ёлке и трубопроводу обвязки скважин до регулятора давления невозможно. Это связано с тем, что расчёт толщины стенки метанолопровода выполнен на основе рабочего давления после редукции давления. Поэтому участок от фонтанной ёлки до точки ввода раствора ингибитора коррозии остаётся незащищённым от коррозии. Решение задачи обеспечения противокоррозионной защиты для этого участка является сложным, поскольку постоянная подача ингибитора коррозии невозможна, а внедрение требует значительных капитальных вложений.

Помимо этого, участок подвержен наибольшему коррозионному воздействию в присутствии CO_2 из-за более высокой температуры и парциальных давлений CO_2 и других факторов, увеличивающих риск коррозии.

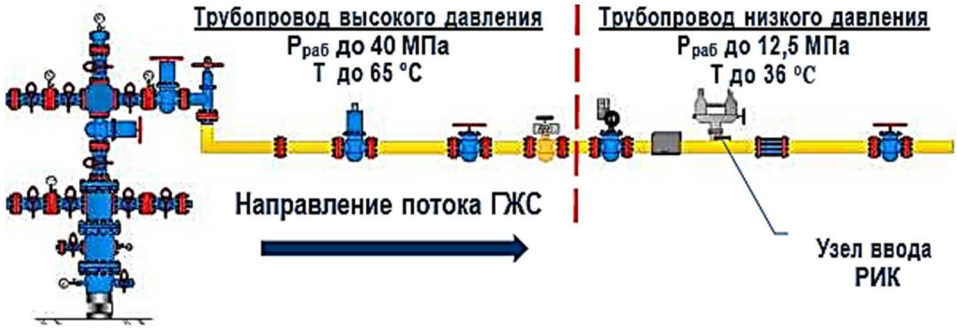


Рисунок 3 – Схема трубопровода обвязки скважин

Для того чтобы решить данную проблему, предложен метод, который включает использование передвижной насосной установки для кислотной обработки скважин СИН 32.05.00.00.000, осуществляющей периодическую прокачку раствора ингибитора коррозии. Чтобы оценить эффективность периодического дозирования ингибитора коррозии, проведены лабораторные исследования ингибитора ИКЗ на модели пластовой воды $Ач_1$ (табл. 2). Эти исследования включали тестирование ингибитора в водной фазе при барботировании CO_2 при температурах 40 °С и 60 °С (табл. 3). Кроме того, проведены испытания в динамических условиях в двухфазной водно-углеводородной среде при барботировании CO_2 с температурой 60 °С (табл. 4), а также тестирование ингибитора в автоклаве при температуре 60 °С и парциальном давлении CO_2, равном 0,3 МПа.

Эффективность защитного действия испытуемых ингибиторов коррозии определяется по значениям фоновой и контрольной скорости коррозии. В таблице 5 приведены результаты гравиметрических испытаний плёнки ингибитора коррозии.

Таблица 5 – Результаты гравиметрических испытаний плёнки ингибитора коррозии

Условия испытаний	Скорость коррозии, мм/год	Защитная эффективность, %
Плёнка из 20 % раствора ингибитора коррозии (Т = 40 °С)	0,108	92,8
Плёнка из 10 % раствора ингибитора коррозии (Т = 60 °С)	0,249	87,4
Плёнка из 10 % раствора ингибитора коррозии (без выдержки) (Т = 60 °С)	0,393	80,1
Плёнка из 20 % раствора ингибитора коррозии (Т = 60 °С)	0,170	91,4
Плёнка из 10 % раствора ингибитора коррозии с добавлением в воду ингибитора коррозии 100 мг/дм^3 (Т = 60 °С)	0,112	94,3

При проведении испытаний в водной среде при t_1 = 60 °С скорость коррозии в присутствии плёнки ингибитора коррозии, выдержанной в течение 1 часа в 10 %-ном растворе ингибитора, составляет в среднем 0,25 мм/год (при выдержке после контакта с раствором в течение 30 минут) и 0,39 мм/год (без выдержки после контакта). Степень защиты от коррозии равна 87 % (при выдержке после контакта с раствором в течение 30 минут) и 79 % (без выдержки после контакта). Важно отметить, что отсутствие выдержки после контакта с раствором значительно уменьшает защитные свойства ингибиторной плёнки. В таблице 6 приведена скорость коррозии ОСК во время гравиметрических испытаний с использованием защитной плёнки растворами ингибиторов разной концентрации.

При использовании 20 %-ной концентрации раствора ингибитора коррозии и поддержании температуры на уровне t_1 = 60 °С технология способна сократить скорость коррозии до 0,16–0,18 мм/год, обеспечивая при этом 90–91 % защиты от процесса коррозии. При использовании той же концентрации раствора ингибитора коррозии, но при более низкой температуре (t_2 = 40 °С) скорость коррозии может быть дополнительно снижена до 0,11 мм/год, обеспечивая 93 % защиты от коррозии. Исследования проводились после 30-минутного контакта с раствором ингибитора коррозии.

Таблица 6 – Скорость коррозии ОСК во время гравиметрических испытаний с использованием защитной плёнки растворами ингибиторов разной концентрации

Условия испытаний	Скорость коррозии, мм/год	Защитная эффективность, %
Плёнка из 20 % раствора ингибитора коррозии (Т = 40 °С)	0,131	80
Плёнка из 10 % раствора ингибитора коррозии (Т = 60 °С)	0,293	59
Плёнка из 10 % раствора ингибитора коррозии (без выдержки) (Т = 60 °С)	0,678	8,4

При проведении тестов в динамических условиях в двухфазной водно-углеводородной среде (таблица 7) скорость коррозии в присутствии плёнки, содержащей ингибитор коррозии, которая выдержана в 10 %-ном растворе ингибитора коррозии в течение часа, в среднем составляет 0,24 мм/год (после выдержки контактной среды с раствором ингибитора коррозии в течение 30 минут) и 0,67 мм/год (без выдержки). Использование 20 %-ной концентрации раствора ингибитора коррозии способно дополнительно снизить скорость коррозии до 0,13 мм/год.

Таблица 7 – Скорость коррозии ОСК во время автоклавных гравиметрических испытаний с использованием защитной плёнки растворами ингибиторов разной концентрации

Условия испытаний	Скорость коррозии, мм/год	Защитная эффективность, %
Плёнка из 10 % раствора ингибитора коррозии (Т = 60 °С)	0,116	54,7
Плёнка из 20 % раствора ингибитора коррозии (Т = 60 °С)	0,037	85,5

Из таблицы 7 видно, что результаты автоклавных испытаний подтверждают более высокую эффективность использования плёнки, содержащей 20 %-ный раствор ингибитора коррозии.

При использовании периодических прокачек можно наблюдать более высокую скорость коррозии, чем при постоянном дозировании, и в некоторых условиях она может превышать 0,1 мм/год. Важно отметить, что тестирование проведено в суровых условиях. Тем не менее, результаты и сравнение скорости коррозии в условиях, когда отсутствует подача ингибитора коррозии, показывают, что плёнка с применением ингибитора действительно может защищать от коррозии и оказывать некоторый остаточный эффект.

Для того чтобы обеспечить полноценную защиту трубопроводов от коррозии в условиях промышленного производства разработана технология проведения ингибиторных обработок, которая гарантирует эффективную защиту и имеет оптимальную периодичность обработок. Эта технология включает в себя несколько этапов:

1) остановка скважины с последующим отсечением и полным опорожнением обрабатываемого участка;

2) заполнение обрабатываемого участка 20 %-ным раствором ингибитора коррозии посредством передвижного насосного агрегата (рис. 4);

3) выдерживание реагента не менее 1 часа в обрабатываемом участке;

4) очистка обрабатываемого участка от раствора ингибитора коррозии выдерживанием в течение 10 минут;

5) скважину выдерживают не менее 30 минут с целью успешной адгезии ингибирующей плёнки раствора ингибитора коррозии;

6) пуск скважины в работу.

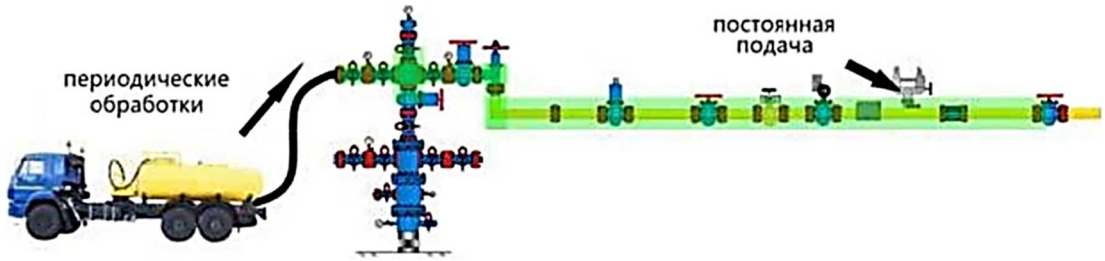


Рисунок 4 – Схема ударной подачи раствора ингибитора коррозии через линию фонтанной арматуры

Следующий этап подразумевает проведение опытно-промышленных испытаний предлагаемой технологии ингибирования, в ходе которых будет оценена её эффективность и подобрана оптимальная периодичность прокачек гравиметрического методом измерения скорости коррозии образца свидетеля коррозии за 1 месяц.

Объектом опытно-промышленных испытаний ингибитора коррозии служит фонтанная арматура и нефтесборная трубопроводная обвязка.

Для определения наиболее подходящей периодичности прокачек разработана специальная схема. Начальные гравиметрические испытания проводились через каждые 5 дней, в то время как последующие – раз в неделю, раз в 10 дней, раз в 2 недели, раз в 3 недели и, наконец, раз в 5 недель. В течение трёх лет собран значительный объём данных. Результаты оценки эффективности периодической технологии ингибиторной защиты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Сводная таблица остаточной скорости коррозии при различной периодичности обработок

Фоновая скорость коррозии	Средняя скорость коррозии (мм/год) при периодичности обработок: 1 раз					
	в 5 дней	в неделю	в 10 дней	в 2 недели	в 3 недели	в 5 недель
менее 0,1 мм/год	не требуются обработки					
0,1–0,5 мм/год	0,032	0,045	0,038	0,041	0,198	0,234
более 0,5 мм/год	0,060	0,065	0,124	0,127	–	–

Заключение

Для коррозионностойкого исполнения элементов выкидной линии и фонтанной арматуры требуется сталь марки 309L в связи с дешевизной и схожими коррозионностойкими характеристиками с Inconel 625.

Постоянная подача ингибитора коррозии показала свою эффективность при проведении опытно-промышленных испытаний при концентрации 21 г/1000 м^3 газа, также выполнены требования СТО Газпром 9.3-028-2014. Остаточная скорость коррозии не превышает 0,1 мм/год, а защитная эффективность остаётся не менее 85 %.

Периодичная обработка растворами ингибиторов коррозии не менее 20 % имеет высокую эффективность, для каждой скважины периодичность подбирается индивидуально в соответствии с условиями и скоростью коррозии. Также выявлено, что для скважин с фоновой коррозией до 0,5 мм/год периодичность составляет 2 раза в месяц, а при скорости коррозии выше 0,5 мм/год периодичность обработок составляет 4 раза в месяц.

Литература

1. Александров В.В. Коррозионное состояние оборудования и трубопроводов второго участка ачимовских отложений Уренгойского НГКМ / В.В. Александров, И.В. Колинченко, А.Д. Юсупов // Диагностика оборудования и трубопроводов, подверженных воздействию сероводородсодержащих сред: материалы XI Международной научно-технической конференции (15–18 ноября 2016 года, г. Оренбург.). – М. : Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2017. – С. 117–120.
2. Организация коррозионного мониторинга на объектах второго участка ачимовских отложений Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / В.Ю. Артеменков [и др.] // Газовая промышленность. – 2017. – № S2(754). – С. 74–79.
3. Вагапов Р.К. Опыт защиты от внутренней коррозии объектов добычи газа в условиях воздействия коррозионно-агрессивных сред // Инженерная практика. – 2017. – № 10. – С. 36–40.
4. Внутренняя коррозия шлейфов добывающих скважин / Н.И. Васильев [и др.] // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 4. – С. 19–22.
5. Горпинченко А.Н. Обзор и анализ современных ингибиторов, применяемых на месторождениях в условиях повышенной коррозионной активности // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 4. – С. 296–309.
6. Горпинченко А.Н. Оценка методов борьбы с коррозией в системе сбора и подготовки нефти и газа в условиях разработки месторождений Западной Сибири // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 3. – С. 119–134.
7. Анализ результатов коррозионного мониторинга Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Горпинченко [и др.]; Под ред. Р.В. Агиней // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ – 2023: материалы XXIV Международной молодёжной научной конференции (30–31 марта 2023 года, г. Ухта). – Ухта : Издательство «Ухтинский государственный технический университет», 2023. – С. 352–359.
8. Горпинченко А.Н. Анализ проблем на начальном этапе разработки 2 участка Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Технические и технологические системы: материалы XIII Международной научной конференции «ТТС – 23» (22–24 ноября 2023 года, г. Краснодар). – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2023. – С. 229–241.
9. Горпинченко А.Н. Расчёт скорости углекислотной коррозии внутрискважинного оборудования по различным методикам / А.Н. Горпинченко, А.А. Мельникова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 1. – С. 133–146.
10. Горпинченко А.Н. Оценка эффективности технологии ингибирования газовых и газоконденсатных скважин в условиях углекислотной коррозии / А.Н. Горпинченко, Л.В. Поварова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 147–161.
11. Горпинченко А.Н. Анализ коррозионного мониторинга на одном из участков Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Н. Горпинченко, Л.В. Поварова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 2. – С. 237–252.
12. Ивановский В.Н. Коррозия скважинного оборудования и способы защиты от неё // Инженерная практика. – 2011. – № 3. – С. 18–25.
13. Классификация коррозионных процессов / Г.И. Кореновский [и др.] // REFERATOTECH: материалы II Международной научно-практической конференции (23 октября 2021 года, г. Краснодар) : в 2 томах. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2022. – Т. 2. – С. 17–22.
14. Условия протекания углекислотной коррозии на объектах добычи ачимовских отложений, методы контроля и прогнозирования / А.Ю. Корякин [и др.] // Газовая промышленность. – 2017. – № 12. – С. 84–89.
15. Разработка системы коррозионного мониторинга на объектах второго участка ачимовских отложений Уренгойского НГКМ / А.Ю. Корякин [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2018. – № 5(65). – С. 63–67.
16. Опыт подбора ингибиторов коррозии для защиты от углекислотной коррозии объектов второго участка ачимовских отложений Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения /

А.Ю. Корякин [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2018. – № 6. – С. 48–55. DOI: 10.30713/1999-6934-2018-6-48-55
17. Поварова Л.В. Коррозия трубопроводов и нефтегазового оборудования / Л.В. Поварова, В.С. Мунтян, А.С. Скиба // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 130–135.
18. Лабораторные испытания по оценке коррозионной агрессивности сред в условиях присутствия CO_2 / В.В. Полников [и др.] // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 368–371.
19. Савенок О.В. Особенности эксплуатации нефтяных и газовых скважин в условиях высокой коррозионной агрессии / О.В. Савенок, А.Н. Горпинченко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 2. – С. 155–170.
20. Савенок О.В. Анализ коррозионно-механических разрушений конструкционных материалов нефтегазопромыслового оборудования / О.В. Савенок, А.Н. Горпинченко, П.П. Порывкин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 133–147.
21. Методический подход к выбору водных сред газовых месторождений в условиях присутствия CO_2 для оценки их коррозионной агрессивности / А.И. Федотова [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2018. – № 4. – С. 59–65. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-4-59-65
22. Разработка технического решения по предупреждению углекислотной коррозии / А.В. Шептухин [и др.] // Рассохинские чтения: материалы Международной конференции / под редакцией Р.В. Агиней (02–03 февраля 2023 года, г. Ухта). – Ухта : Издательство «Ухтинский государственный технический университет», 2023. – С. 119–126.
23. Состояние изученности проблемы углекислотной коррозии на примере Уренгойского месторождения / А.В. Шептухин [и др.] // Булатовские чтения. – 2023. – Т. 1. – С. 307–315.
24. Gorpinchenko A.N. Selection of a corrosion inhibitor taking into account the properties of the produced fluid / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova, P.P. Poryvkin // Bulatov Readings. – 2025. – Vol. 1. – P. 150–153.
25. Дозировочное устройство трубопровода / А.Е. Верисокин [и др.]. Патент на изобретение RU 2833743 C1, 28.01.2025 г. Заявка № 2024109879 от 11.04.2024 г.

References

1. Aleksandrov V.V. Corrosion condition of equipment and pipelines of the second section of the Achimov deposits of the Urengoy oil and gas condensate field / V.V. Aleksandrov, I.V. Kolinchenko, A.D. Yusupov // Diagnostics of equipment and pipelines exposed to hydrogen sulfide-containing environments: Proceedings of the XI International scientific and technical conference (November 15-18, 2016, Orenburg). – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 2017. – P. 117–120.
2. Artemenkov V.Yu. Organization of corrosion monitoring at the facilities of the second section of the Achimov deposits of the Urengoy oil and gas condensate field / V.Yu. Artemenkov [et al.] // Gas industry. – 2017. – Special issue № 2(754). – P. 74–79.
3. Vagapov R.K. Experience of protection against internal corrosion of gas production facilities exposed to corrosive environments // Engineering practice. – 2017. – № 10. – P. 36–40.
4. Internal corrosion loops of oil wells / N.I. Vasilyev [et al.] // Readings of A.I. Bulatov. – 2017. – Vol. 4. – P. 19–22.
5. Gorpinchenko A.N. Review and analysis of modern inhibitors used on fields in conditions of increased corrosion activity // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2022. – № 4. – P. 296–309.
6. Gorpinchenko A.N. Assessment of methods for combating corrosion in the oil and gas collection and treatment system in the conditions of field development in Western Siberia // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2023. – № 3. – P. 119–134.
7. Analysis of the results of corrosion monitoring of the Urengoy oil and gas condensate field / A.N. Gorpinchenko [et al.]; Edited by R.V. Aginei // SEVERGEOECOTECH – 2023: Proceedings of the XXIV International youth scientific conference (March 30–31, 2023, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2023. – P. 352–359.
8. Gorpinchenko A.N. Analysis of problems at the initial stage of development of the second section of the Urengoy oil and gas condensate field // Technical and technological systems: materials of the XIII International scientific conference «TTS – 23» (November 22–24, 2023, Krasnodar). – Krasnodar : «Publishing House – South» JSC, 2023. – P. 229–241.
9. Gorpinchenko A.N. Calculation of the rate of carbon dioxide corrosion of downhole equipment using various methods / A.N. Gorpinchenko, A.A. Melnikova // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2024. – № 1. – P. 133–146.

10. Gorpinchenko A.N. Evaluation of the efficiency of inhibition technology for gas and gas condensate wells under conditions of carbon dioxide corrosion / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2025. – № 1. – P. 147–161.
11. Gorpinchenko A.N. Analysis of corrosion monitoring in one of the sections of the Urengoy oil and gas condensate field / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2025. – № 2. – P. 237–252.
12. Ivanovsky V.N. Corrosion of downhole equipment and methods of protection against it // Engineering practice. – 2011. – № 3. – P. 18–25.
13. Classification of corrosion processes / G.I. Korenovskiy [et al.] // REFERATOTECH: Proceedings of the II International scientific and practical conference (October 23, 2021, Krasnodar) : in 2 volumes. – Krasnodar : «Publishing House – South» LLC, 2022. – Vol. 1. – P. 17–22.
14. Conditions of the carbon dioxide corrosion on the production facilities of Achimov deposits, methods of monitoring and forecasting / A.Yu. Koryakin [et al.] // Gas industry. – 2017. – № 12. – P. 84–89.
15. Development of a corrosion monitoring system at the facilities of the second area of the Achimov deposits of the Urengoy oil, gas and condensate field / A.Yu. Koryakin [et al.] // Oil and Gas Exhibition. – 2018. – № 5(65). – P. 63–67.
16. Experience of corrosion inhibitors selection to protect the objects of the second site of Achimov deposits of Urengoy oil and gas-condensate field from carbon acid corrosion / A.Yu. Koryakin [et al.] // Equipment and technologies for the oil and gas industry. – 2018. – № 6. – P. 48–55. DOI: 10.30713/1999-6934-2018-6-48-55
17. Povarova L.V. Corrosion of pipelines and oil and gas equipment / L.V. Povarova, V.S. Muntian, A.S. Skiba // Readings of A.I. Bulatov. – 2020. – Vol. 4. – P. 130–135.
18. Laboratory tests to assess the corrosivity of media under conditions of CO2 presence / V.V. Polnikov [et al.] // Readings of A.I. Bulatov. – 2020. – Vol. 2. – P. 368–371.
19. Savenok O.V. Features of operation of oil and gas wells under high corrosion aggression / O.V. Savenok, A.N. Gorpinchenko // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2022. – № 2. – P. 155–170.
20. Savenok O.V. Analysis of corrosion-mechanical fault of structural materials of oil and gas production equipment / O.V. Savenok, A.N. Gorpinchenko, P.P. Poryvkin // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2022. – № 3. – P. 133–147.
21. Choice of gas fields water media in conditions of CO_2 presence to assess their corrosion agressiveness / A.I. Fedotova [et. al] // Environmental protection in the oil and gas industry. – 2018. – № 4. – P. 59–65. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-4-59-65
22. Development of a technical solution for the prevention of carbon dioxide corrosion / A.V. Sheptukhin [et al.] // Readings of G.V. Rassokhin readings: materials of the International conference (February 2-3, 2023, Ukhta). – Ukhta: Ukhta State Technical University, 2023. – P. 119–126.
23. State of study of the problem of carbon dioxide corrosion on the example of the Urengoyskoye field / A.V. Sheptukhin [et al.] // Readings of A.I. Bulatov. – 2023. – Vol. 1. – P. 307–315.
24. Gorpinchenko A.N. Selection of a corrosion inhibitor taking into account the properties of the produced fluid / A.N. Gorpinchenko, L.V. Povarova, P.P. Poryvkin // Readings of A.I. Bulatov. – 2025. – Vol. 1. – P. 150–153.
25. Pipeline dosing device / A.E. Verisokin [et al.]. Patent for invention RU 2833743 C1, 28.01.2025. Application № 2024109879 dated 11.04.2024.

УДК 550.822.622.24

ПРИЧИНА ПОГЛОЩЕНИЙ И ПОТЕРЬ ЦИРКУЛЯЦИИ БУРОВОГО РАСТВОРА НА НЕФТЯНЫХ ПЛОЩАДЯХ АЗЕРБАЙДЖАНА

♦♦♦♦♦

THE CAUSE OF ABSORPTION AND CIRCULATION LOSSES OF DRILLING MUD IN THE OIL FIELDS OF AZERBAIJAN

Ибрагимов Рафик Салман оглы
кандидат технических наук,
доцент,
Азербайджанский государственный
университет нефти и промышленности
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Бахшалиуева Ширин Октай кызы
доктор философии,
Азербайджанский государственнвй
университет нефти и промышленности
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Махмудова Вафа Зейнал кызы
младший научный сотрудник
НИИ «Геотехнологические проблемы нефти, газа и химии»
Азербайджанского государственного
университета нефти и промышленности
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Аннотация. В статье указано, что одним из серьезных осложнений при бурении месторождения Азербайджана является поглощение бурового раствора. Поглощения и потери циркуляции можно объяснить самопроизвольным гидравлическим разрывом вследствие действия на стенки сквжаины значительных величин гидродинамического давения, превышающего давление гидравлического разрыва. Поглощение бурового раствора наблюдается, в основном, при восстановлении циркуляции бурового раствора после спуска бурильного инструмента, при проработке ствола скважины, а иногда и в процессе бурения. Цель работы выяснить причина поглощений и потерь циркуляции бурового раствора на нефтяных скважинах Азербайджана. В статье указано, что продолжая спуск инструмента на малой скорости до забоя, при небольшом расходе насосов можно восстановливать циркуляцию. По-видимому, потеря циркуляции при спуске инструмента можеть быть вызвана образованием сальника на долоте или же большой скоростью спуска инструмента. Предложен, регулирования параметров бурового раствора, главным образом, снижения предельного папряжения сдвига.

Ключевые слова: бурение скважин, буровые растворы, гидродинамического давения, поглощение, проработка ствола, осложнение, удельный вес, утяжеления.

Ibragimov Rafik Salman
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Azerbaijan State University
of Oil and Industry
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Bakshaliuova Shirin Oktay
Doctor of Philosophy,
Azerbaijan State University of Oil
and Industry
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Mahmudova Vafa Zeynal
Junior Researcher Research Institute
of Geotechnological Problems of Oil,
Gas and Chemistry
Azerbaijan State University of Oil
and Industry
rafiq.ibrahimov@yahoo.com

Annotation. The article indicates that one of the serious complications during drilling of the Azerbaijan field is the absorption of drilling fluid. Absorption and loss of circulation can be explained by spontaneous hydraulic fracturing due to the action on the well walls of significant values of hydrodynamic pressure exceeding the hydraulic fracture pressure. Absorption of drilling fluid is observed mainly when restoring the circulation of drilling fluid after lowering the drilling tool, when working the wellbore, and sometimes during drilling. The purpose of the work is to find out the cause of absorption and loss of circulation of drilling fluid in oil wells of Azerbaijan. The article indicates that by continuing to lower the tool at a low speed to the bottom, with a small pump flow rate, it is possible to restore circulation. Apparently, the loss of circulation when lowering the tool can be caused by the formation of a seal on the bit or a high speed of lowering the tool. It is proposed to regulate the parameters of the drilling fluid, mainly by reducing the ultimate shear stress.

Keywords: well drilling, drilling fluids, hydrodynamic pressure, absorption, wellbore reaming, complication, specific gravity, weighting.

Введение. За последние годы в Азербайджане бурение скважин малых диаметров находит все более широкое распротранение. В связи с этим наблюдается тенденция к уменьшению зазоров между спускаемыми обсадными колоннами и стенками скважины.

Эти скважины пробурены на осложненных площадях, где применяются буровые растворы большого удельного веса с высокмими структурно-механическими свойствами. По нашему мнению, указанные случаи поглощения и потери циркуляции можно

объяснить самопроизвольным гидравлическим разрывом вследствие действия на стенки скважины значительных величин гидродинамического давения, превышающего давление гидравлического разрыва [1, 3, 9, 11].

Цель работы. Выяснить причина поглощений и потерь циркуляции бурового раствора на нефтяных скважинах Азербайджана.

Материалы и методы. Одним из серьезных осложнений при бурении месторождения Азербайджана является поглощение бурового раствора. В период 2000–2015 гг. наблюдалось поглощение бурового раствора в 65 скважинах.

Установено, что потери циркуляции приурочены к балаханской свите, свите «I перерыва» и НКП свите. Эти пласты характеризуются развитой системой трещиноватости. Установлено, что все скважины, в которых наблюдались поглощения, расположены в зонах нарушения [12].

Поглощение бурового раствора наблюдается, в основном, при восстановлении циркуляции бурового раствора после спуска бурильного инструмента, при проработке ствола скважины, а иногда и в процессе бурения. Имеются случаи поглощения в скважинах во время спуска бурильного интсрумента на большой скорости, при этом оно выражается в том, что при спуске из скважины буровой раствор совсем не выходит или же выходит частично [7, 8, 11].

Ниже приводятся некоторые данные по нескольким скважинам, в которых наблюдались поглощения. Скважина № 656 до глубины 804 м пробурена без каких-либо осложнений. На глубине 804 м, при прохождении свиты «I перерыва» произошла потеря циркуляции. Буровой раствор имел удельный вес 1,42 г/см^3, вязкость – 130 сек по СПВ-5.

Уход произошел во время бурения при давлении на насосе 8,0–9,0 МПа

Несмотря на неоднократную заливку, при переходе на роторное бурение наблюдалось сильное поглощение раствора – интенсивность 20 м^3/сут. Поглощение раствора при проработке отмечено в скважинах № 656, 379, 519, 593, 520, 416 и других. Например, в скважине № 623 во время проработки в интервале 600–1192 м произошел уход ратсвора при удельном весе 1,60 г/см^3, чего не наблюдалось во время других работ.

При проработке скважины № 623 величина гидродинамического давления достигла 220,7 кг/см^2, что соответствует удельному весу бурового раствора 1,94 г/см^3 и может привести к разрыву пласта балаханской свиты.

Характерна скважина № 546, если в процессе бурения поглощение происходило при удельном весе бурового раствора 1,44–1,48 г/см^3, то при проработке ствола в тех же интервалах, при которых в процессе бурения наблюдалось поглощение, уход возник при удельном весе бурового раствора 1,40–1,42 г/см^3 почти при одинаковых других параметрах.

Такое же положение наблюдалось в скважине № 445, при проводке которой с глубины 585 м произошло поглощение при удельном весе бурового раствора 1,38 г/см^3. В дальнейшем удельный вес бурового раствора был увеличен до 1,48 г/см^3, что привело к росту интенсивности поглощения. В последствие, при проработке роторным способом в интервале 535–935 м, для подготовки ствола скважины под забойную заливку, отмечалось сильное поглощение.

Несмотря на снижение удельного веса бурового раствора до 1,30 г/см^3 существенного изменения интенсивности поглощения не произошло.

В ряде скважин (№ 379, 756, 623, 520 и других) поглощение наблюдалось при восстановлении циркуляции после спуска инструмента.

В скважине № 379 после спуска инструмента до забоя во время продавки раствора при давлении 8,5–9,0 МПа началось поглощение. Пришлось инструмент поднять в башмак. Второй раз поглощение в этой скважине наблюдалось после спуска инструмента на глубину 1200 м во время продавки для восстановления циркуляции при удельном весе раствора 1,54 г/см^3 и давлении 6,0 МПа. Всего было поглощено 20 м^3 раствра.

Сильные уходы происходили при бурении долотом диаметром 215,9 мм применением турбобуров ТС 5А-7 1/2" и 5 9/16" бурильного инструмента.

Отмечено, что интенсивность поглощения с увеличением механической скорости растет. Это вполне естественно, т.к. с увеличением скорости бурения повышается гидродинамическое давление [13, 14].

Аналогичные уходы и поглощения наблюдаются при бурении на площади Мишовдаг Азербайджана. Здесь поглощения в основном имеют место при восстановлении циркуляции после спуска инструмента в скважину, при расширении и проработке ствола, при повышенных значениях раствора, при уменьшении зазора между стенками скважины и колонной труб, спускаемой в скважину, а также при наматывании на долото сальника [2, 10]. Поглощающие пласты залегают до глубины 600 м.

На глубину 300 м спускается 10 3/4" кондуктор, после спуска которого интервал в 300–600 м, состоящий из трещиноватых пород, остается неперекрытым.

Поглощение наблюдается после утяжеления глинистого раствора до 1,50 г/см^3 и выше. Приведем несколько примеров.

В скважине № 174 10 3/4" кондуктор был спущен на глубину 278 м, при забое скважины 1310 м и параметрах бурового раствора γ=1,60 г/см^3, вязкости 80 сек по СПВ-5. Во время продавки для восстановления циркуляции после спуска инструмента при давлении на выкиде бурового насоса 7,0–8,0 МПа наблюдалось поглощение.

В скважине № 220 10 3/4", кондуктор был спущен на глубину до 278 м при забое 1359 м. После спуска инструмента (давление 7,0 МПа) при продавке наблюдалось поглощение бурового раствора при γ = 1,54 г/см^3, вязкости «нетекучей». Закачав 120 м^3 бурового раствора и одновременно вращая инструмент, восстановили циркуляцию.

В скважине № 177 10 3/4" кондуктор был спущен на глубину 300 м при забое 1242 м параметрах бурового раствора: γ = 1,64 г/см^3, вязкости 110 сек по СПВ-5. Во время спуска инструмента, не доходя 5 свечей до забоя, выход бурового раствора из скважины прекратился. Путем расхаживания и вращения бурильной колонны и закачки раствора в скважину удалось восстановить циркуляцию. Продолжая спуск инструмента на малой скорости до забоя, при небольшом расходе насосов продавили и восстановили циркуляцию. В дальнейшем в этой скважине поглощения не наблюдалось.

По-видимому, потеря циркуляции при спуске инструмента была вызвана образованием сальника на долоте или же большой скоростью спуска. Аналогичные случаи поглощения бурового раствора при спуске инструмента, восстановлении циркуляции после спуска и при проработке имели место и в других скважинах [4, 8].

Характерным примером гидроразрыва вследствие увеличения гидродинамического давления из-за уменьшения зазора может служить скважина № 45 (Мишовдаг).

Проводка этой скважины после спуска 11 3/4" технической колонны на глубину 1986 м осуществлена без каких-либо осложнений.

В результате начавшихся газопроявлений удельный вес бурового раствора постепенно повышали. Несмотря на это, на глубине 2557 м во время бурения раствор перебило газом и удельный вес его снизился с 2,03 до 1,76 г/см^3, что вынудило увеличить удельный вес бурового раствора до 2,14–2,20 г/см^3.

Интервал 2560–2578 м пробурили с раствором удельного веса 2,34 г/см^3, вязкостью «нетекучей», τ_0 = 200 мг/см^2. Во время проработки интервала 2500–2578 м в скважине было незначительное поглощение. Это привело к некоторому снижению удельного веса бурового раствора – до 2,22–2,28 г/см^3. При этом компоновка низа была следующей: долото трехшарошечное диаметром 269,9 мм, УБТ-176 мм 2 свечи и 5 9/16" бурильные трубы.

При бурении этого интервала осложнения, главным образом, заключались в выходе пачек перебитого газом бурового раствора в процессе восставноления циркуляции после подъема и спуска бурильного инструмента.

Интервал 3103–3320 м пробурен при γ = 2,30 г/см^3, вязкости 130 сек по СПВ-5, τ_0 = 200 мг/см^2. На этой глубине скважина была закончена и в нее спустили 6 5/8" эксплуатационную колонну. При спуске эксплуатационной колонны после выхода из-под башмака циркуляции не было; восстановить ее на забое, как и следовало ожидать, не удалось.

Результаты и обсуждение. Закачиваемый раствор вначале при давлении 13,0 МПа, потом 9,0 МПа, поглощало, в результате чего обсадную колонну зацементировать не удалось.

Как видно, при бурении величина гидродинамического давления была близка к градиенту геостатического давления [5, 6].

Иногда эквивалентный удельный вес бурового раствора превышает величину градиента геостатического давления, в некоторых же случаях он несколько меньше давления разрыва. Поглощения и уходы в этих скважинах, по всей вероятности, связаны с перемещением жидкости из скважины в трещины, что в основном имеет место в том случае, когда трещины насыщены газом и в результате сжимаемости последнего происходит перемещение. Поглощения и уходы могут происходить при меньшем давлении, в случаях, когда имеет место повторный гидравлический разрыв пластов [9].

Выводы.

Для предупреждения резкого повышения гидродинамического давления на стенки скважины при восставнолении циркуляции бурового раствора после спуска интсрумента, при проработке ствола и расширении в тех районах, где увеличение гидродинамического давления ведет к гидравлическому разрыву вести нижеперечисленные работы:

1) регулирования параметров бурового раствора, главным образом, снижения предельного папряжения сдвига;

2) регулирования величины гидродинамического давления на стенки скважины путем подъема, опускания или же вращения бурильного инструмента, изменения скорости спуска, более плавного запуска насосов, изменением количества подаваемой в скважину жидкости и т.д.;

3) определения зазоров между стенками скважины и турбобуром, утяжеленными и обычными бурильными трубами и обсадными колоннами.

Литература

1. Булатов А.И. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин / А.И. Булатов, Ю.М. Проселков, С.А. Шаманов. – 2003.
2. Воларович М.П. К вопросу о течении вязкопластических жидкостей / М.П. Воларович, А.М. Гуткин. – М. : Недра, 1971. – С. 230.
3. Ильницкая Е.И. Свойства горных пород и методы их определения. – М. : Недра, 1973.
4. Овчинников В.П. Современные составы буровых растворов. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. – 156 с.
5. Кистре Э.Г. Химическая обработка буровых растворов. – М. : Недра, 1972. – С. 392.
6. Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин / А.И. Спивак, А.Н. Попов. – М. : Недра, 1994.
7. Сидоров Н.А. Осложнения при бурении скважин / Н.А. Сидоров, Г.А. Ковтунов. – М. : Гостоптехиздат, 1959.
8. Руководство по технологии бурения, предупреждению аварии и осложнение при проводке скважин (РД39-0147213-017-91) / М.К. Сеид-Рза [и др.]. – Баку : АзНИПИнефть, 1991.
9. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М. : Недра, 1978. – 390 с.
10. Норман Дж. Хайн. Геология, разведка, бурение и добыча нефти. – М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. – 752 с.
11. Миловзоров А.Г. Бурение скважин малым диаметром // Мат. Всерос. науч. конф. – 2019. – С. 93–99.
12. Мирзаджанзаде А.Х. Временная инструкция по предупреждению осложнений, связанных с изменением гидродинамических давлений при бурении нефтяных и газовых скважин / А.Х. Мирзаджанзаде, А.А. Мовсумов, Я.И. Сафаров. – Баку : АзНИИбурнефть, 1970.
13. Бурение нефтяных и газовых скважин / Р.А. Шацов [и др.] // Гостоптехиздат. – 1980. – С. 219.
14. Шищенко Р.И. Гидравлика глинистых растворов. – Баку : Азернефтиздат, 1951.

References

1. Bulatov A.I. Engineering and Technology of Drilling Oil and Gas Wells / A.I. Bulatov, Yu.M. Proselkov, S.A. Shamanov. – 2003.

2. Volarovich M.P. On the Flow of Viscoplastic Fluids / M.P. Volarovich, A.M. Gutkin. – M. : Nedra, 1971. – P. 230.
3. Ilnitskaya E.I. Properties of Rocks and Methods for Their Determination. – M. : Nedra, 1973.
4. Ovchinnikov V.P. Modern Compositions of Drilling Fluids. – Tyumen : Tyumen State Oil and Gas University, 2013. – 156 p.
5. Kistre E.G. Chemical treatment of drilling fluids. – M. : Nedra, 1972. – P. 392.
6. Spivak A.I. Destruction of rocks during well drilling / A.I. Spivak, A.N. Popov. – M. : Nedra, 1994.
7. Sidorov N.A. Complications during well drilling / N.A. Sidorov, G.A. Kovtunov. – M. : Gostoptekhizdat, 1959.
8. Guide to drilling technology, accident prevention and complications during well drilling (RD39-0147213-017-91) / M.K. Seid-Rza [et al.]. – Baku : AzNIPIneft, 1991.
9. Rzhevsky V.V. Fundamentals of rock physics / V.V. Rzhevsky, G.Ya. Novik. – M. : Nedra, 1978. – 390 p.
10. Norman J. Hein. Geology, Exploration, Drilling and Production of Oil. – M. : Olimp-Business JSC, 2008. – 752 p.
11. Milovzorov A.G. Drilling Small-Diameter Wells // Proceedings of the All-Russian Scientific Conference. 2019. – P. 93–99.
12. Mirzajanzade A.Kh. Temporary Instructions for the Prevention of Complications Associated with Changes in Hydrodynamic Pressures During Drilling Oil and Gas Wells / A.Kh. Mirzajanzade, A.A. Movsumov, Ya.I. Safarov. – Baku : AzNIIburneft, 1970.
13. Drilling Oil and Gas Wells / R.A. Shatsov et al. // Gostoptekhizdat. – 1980. – P. 219.
14. Shishchenko R.I. Hydraulics of clay solutions. – Baku : Azerneftizdat, 1951.

УДК 528

ГЕОДЕЗИЯ В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ – ГДЕ ВСТРЕЧАЮТСЯ С ЕЕ РЕЗУЛЬТАТАМИ

♦♦♦♦♦

GEODESY IN EVERYDAY LIFE – WHERE ITS RESULTS ARE ENCOUNTERED

Кочкин Александр Александрович
Кубанский государственный технологический университет
oooparrrr@gmail.ru

Тихонов Тимофей Андреевич
лаборант-исследователь,
Кубанский государственный технологический университет
timka2015@yandex.ru

Грибкова Ирина Сергеевна
старший преподаватель кафедры,
Кубанский государственный технологический университет
istizfo@mail.ru

Вартаваньян Арам Арамович
Кубанский государственный технологический университет
aram.vartavanyan@mail.ru

Магомедов Шамиль Мухтарович
Кубанский государственный технологический университет
magomedovsh4m@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается роль геодезии в повседневной жизни и причины, по которым ее результаты становятся неотъемлемой частью современного общества. Геодезия, как наука о измерениях и представлении земной поверхности, находит применение в различных сферах. В заключение обсуждаются перспективы развития геодезии с учетом новых технологий, что подчеркивает её значимость в будущем. Статья предназначена для широкой аудитории, интересующейся наукой и ее воздействием на повседневную жизнь.

Ключевые слова: геодезия, землеустройство и кадастр, GPS.

Kochkin Alexander Alexandrovich
Kuban State Technological University
oooparrrr@gmail.ru

Tikhonov Timofey Andreevich
Laboratory Research Assistant,
Kuban State Technological University
timka2015@yandex.ru

Gribkova Irina Sergeevna
Senior Lecturer, Department,
Kuban State Technological University
istizfo@mail.ru

Vartavanyan Aram Aramovich
Kuban State Technological University
aram.vartavanyan@mail.ru

Magomedov Shamil Mukhtarovich
Kuban State Technological University
magomedovsh4m@yandex.ru

Annotation. This article explores the role of geodesy in everyday life and the reasons why its results have become an integral part of modern society. Geodesy, as the science of measuring and representing the Earth's surface, finds applications in various fields. The article concludes by discussing the future of geodesy, taking into account new technologies, highlighting its significance in the future. This article is intended for a broad audience interested in science and its impact on everyday life.

Keywords: geodesy, land management and cadastre, GPS.

Введение

Геодезия представляет собой научную дисциплину, которая изучает измерения, представление и моделирование земной поверхности, также определение географических координат и форм земной поверхности. Эта область науки охватывает широкий спектр методов и технологий, позволяющих осуществлять точные измерения, которые имеют большое значение для различных секторов экономики и жизни общества [1].

В современном мире геодезия играет ключевую роль, являясь основой для множества процессов и услуг, которые мы повседневно используем. Например, GPS-навигация, городское планирование или строительство объектов, всё это – результаты геодезических исследований, они становятся неотъемлемой частью инфраструктуры и повышения качества жизни. С ростом технологий, таких как беспилотные летательные аппараты и спутниковые системы, значимость геодезии только усиливается, предоставляя возможности для более точного и эффективного управления ресурсами и пространством.

Целью данной работы является анализ влияния геодезии на нашу повседневную жизнь и выявление тех областей, где результаты геодезических работ непосредственно взаимодействуют с потребностями и интересами общества. В статье продемонстрированы, как достоверные измерения и данные, полученные с помощью геодезических методов, способствуют улучшению качества жизни, безопасности и устойчивого развития.

Основные области применения геодезии

Геодезия находит широкое применение в различных сферах деятельности человека, каждая из которых способствует улучшению качества жизни. Вот одни из них:

1. В строительстве и архитектуре геодезические методы являются незаменимыми. Геодезические работы помогают определить координаты земельных участков, контролировать вертикальные и горизонтальные отклонения, а также создавать топографические планы, которые служат основой для дальнейшего проектирования.

2. Землеустройство и кадастр также не обходятся без геодезических исследований. Геодезия помогает проводить инвентаризацию земельных участков, минимизировать конфликты в вопросах границ и повышать прозрачность в системе собственности. Благодаря геодезическим данным осуществляется эффективное управление земельными ресурсами, а также формируется актуальная и достоверная кадастровая информация.

3. В транспортной отрасли геодезия играет ключевую роль в проектировании и строительстве дорог, мостов и других инфраструктурных объектов. Геодезические исследования помогают оптимизировать маршруты, повысить безопасность передвижения и уменьшить затраты на транспортировку. Они необходимы для создания карт и навигационных систем, что делает перемещение и доставку товаров более оперативными и удобными.

4. Съемка и картография – сфера науки, где геодезические технологии находят свое применение. Создание детализированных карт позволяет не только планировать и развивать территории, но и решать экологические и социальные проблемы. Топографические, тематические и специальные карты, основанные на геодезических данных, используются в научных исследованиях, в образовании, а также в сфере отдыха и туризма.

Таким образом, геодезия охватывает множество областей, каждая из которых приносит полезные результаты в повседневную жизнь, демонстрируя важность достоверных измерений и аналитики [2, 3].

Геодезия в повседневной жизни

Геодезия, как наука о земле и пространственных измерениях, играет критически важную роль в нашей повседневной жизни. Ее достижения и методы сегодня используются повсеместно, превращая сложные географические данные в понятные и полезные инструменты, а именно:

1. GPS в навигационных системах – стал неотъемлемой частью нашей жизни. Давая возможность определять точное местоположение, GPS технологии упростили способы передвижения. Благодаря спутникам и геодезическим сетям, можно легко находить оптимальные маршруты, получать информацию о дорожной ситуации и даже планировать поездки с учетом пробок или задержек. Это значительно упростило жизнь как автомобилистам, так и пешеходам.

2. Влияние геодезических данных на городское планирование невозможно переоценить. Используя современные технологии, городские власти могут анализировать пространство города, планировать новые жилые и коммерческие объекты, а также улучшать инфраструктуру. Геодезия, опираясь на данные, собранные с помощью различных методов, помогает создавать устойчивую и безопасную городскую среду.

В целом, геодезия участвует в множестве аспектов повседневной жизни, от навигации до градостроительства, показывая свою незаменимость и актуальность в современных реалиях [4, 5].

Аналитические данные

Аналитические данные играют ключевую роль в понимании значимости геодезии в повседневной жизни человека. Геодезия охватывает широкий спектр задач, свя-

занных с измерениями и картографией, что находит применение в различных аспектах нашей жизни.

1. Современные технологии достигают высокой степени достоверности. Применение спутниковых систем, таких как GPS и Глонасс, а также геодезических станций, обеспечивает возможность для получения координат с точностью до нескольких сантиметров. Эти данные становятся основой для различных прикладных решений, от картографических приложений до научных исследований, что подтверждает их ценность в разных областях.

2. Влияние геодезии на экономическую эффективность также неоспоримо. Геодезические данные помогают компаниям оптимизировать цепочки поставок и рационально распределять ресурсы. Например, точная информация о местоположении позволяет улучшить логистику и снизить издержки. Кроме того, использование геоинформационных систем (ГИС) предоставляет бизнесу возможности для анализа рынков и планирования дальнейших шагов, что в результате способствует устойчивому экономическому росту.

Таким образом, аналитические данные подчеркивают, как геодезия пронизывает многие аспекты нашей повседневной деятельности, от личной навигации до серьезного влияния на экономику и бизнес-процессы. Это подчеркивает важность геодезического подхода в современном мире и его влияние на качество жизни [7, 6].

Будущее геодезии в повседневной жизни

Геодезия, несмотря на свою научную природу, находит все большее применение в повседневной жизни, начиная с картографии и заканчивая строительством. В последние годы с развитием новых технологий роль геодезии лишь усиливается. Одним из ключевых направлений являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые обеспечивают сбор данных с высокой точностью и эффективностью. Эти устройства могут охватывать большие территории за короткий срок, что делает их ценным инструментом в таких отраслях, как сельское хозяйство и экология.

В дополнение к БПЛА, лидарные технологии становятся основой для создания детализированных трехмерных моделей местности. С помощью лазерного сканирования достигается высокая степень достоверности, что позволяет не только исследовать изменения в ландшафте, но и находить оптимальные решения для градостроительных проектов. Лидар может применяться для анализа лесных массивов, уклона земель и даже для оценки состояния инфраструктуры, что подчеркивает его универсальность.

Перспективы дальнейших исследований в области геодезии перспективны. Интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения в геодезию приведет к созданию автоматизированных систем обработки данных. Это откроет новые горизонты для анализа и визуализации геопространственной информации, делая ее более доступной для широкой аудитории.

Таким образом, будущее геодезии будет определяться постоянным развитием технологий и их интеграцией в различные сферы. Это не только улучшит качество жизни, но и сделает управление ресурсами более эффективным и устойчивым. Геодезия станет неотъемлемой частью нашего повседневного опыта, обеспечивая прагматичный подход в решении актуальных задач [8, 9].

Заключение

В ходе исследования можно прийти к нескольким ключевым выводам о роли геодезии в повседневной жизни. Геодезия является основополагающей наукой, которая обеспечивает создание достоверных геопространственных данных, необходимых для различных сфер деятельности. Значение геодезии для общества невозможно переоценить. Геодезия присутствует в самых разных аспектах нашей жизни – от планирования городской инфраструктуры до охраны окружающей среды. Достоверные данные о земле и построенных объектах помогают принимать более обоснованные решения в сфере градостроительства, управления природными ресурсами и экологии. Более того, с развитием геодезических технологий общество получает доступ к качественным картографическим материалам и аналитическим данным, что способствует повышению уровня информированности граждан.

Таким образом, геодезия не только укрепляет научные основания нашего мира, но и становится важным инструментом для улучшения качества жизни. В будущем её роль лишь возрастёт, что открывает новые горизонты для исследований и применения этой науки в различных сферах. В итоге, геодезия продолжает оставаться важным связующим звеном между наукой и практическими нуждами общества, влияя на наше окружение и среду обитания [10].

Литература

1. Определение параметров ориентации плоских элементов конструкций по результатам измерений прямоугольных пространственных координат точек // Журнал «Геодезия и Картография». – 2025. – № 5. – С. 2–8.
2. Геодезические приборы и технологии при строительстве автомобильных дорог / И.С. Грибкова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 128–132.
3. Корнейчук А.И. Территориальный план развития как виртуальная реальность / А.И. Корнейчук, В.И. Семенов // Журнал «Геодезия и Картография». – 2017. – № 10. – С. 40–49.
4. Кравченко Э.В. Мониторинг состояния городской среды для целей размещения и строительства объектов недвижимости / Э.В. Кравченко, З.Н. Сташ // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – 2020. – № 6. – С. 774–781.
5. Гордеев В.А. Исследование точности определения горизонтальных смещений при геодезическом мониторинге зданий и сооружений / В.А. Гордеев, Г.Г. Шевченко // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 4. – С. 21–31.
6. Кравцова В.И. Картографирование ландшафтно-морфологической структуры восточного Бугазского участка Анапской пересыпи по материалам цифровой аэрофотосъемки / В.И. Кравцова, Е.Р. Чалова // В журнале Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка, издательство. – М. : Изд-во Моск. ун-та геодезии и картографии, 2018. – № 3. – С. 303-31.
7. Будагов И.В. К вопросу об изъятии земель сельскохозяйственного назначения для нужд строительства // В сборнике: Проблемы строительства, инженерного обеспечения и экология городов. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. – 2002. – № 7. – С. 223–224.
8. Анализ современного состояния улично-дорожной сети на примере города Краснодар / А.В. Осенняя [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 2. – С. 66–69.
9. Гура Д.А. Создание 3D кадастра объекта недвижимости для постановки на кадастровыхй учёт на примере железнодорожного вокзала Адлерского района г. Сочи / Д.А. Гура, Т.Э. Алкачев // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 11. – С. 362–369.
10. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 11. – С. 362–369; Мониторинг изменений местности по разновременным аэрокосмическим изображениям с применением технологий глубокого обучения нейронных сетей / В.Г. Иванов [и др.] // Журнал «Геодезия и Картография». – 2025. – № 5. – С. 39–46.

References

1. Determination of the orientation parameters of flat structural elements based on the results of measurements of rectangular spatial coordinates of points // Journal «Geodesy and Cartography». – 2025. – № 5. – P. 2–8.
2. Geodetic Instruments and Technologies in the Construction of Highways / I.S. Gribkova [et al.] // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2016. – № 2. – P. 128–132.
3. Korneichuk A.I. Territorial development plan as a virtual reality / A.I. Korneichuk, V.I. Semenov // Journal «Geodesy and Cartography». – 2017. – № 10. – P. 40–49.
4. Kravchenko E.V. Monitoring the state of the urban environment for the purposes of placement and construction of real estate / E.V. Kravchenko, Z.N. Stash // In the collection: Development and Innovations in Construction. Collection of Materials of the III International Scientific and Practical Conference. – 2020. – № 6. – P. 774–781.
5. Gordeev V.A. Research of the accuracy of determining horizontal displacements in geodetic monitoring of buildings and structures / V.A. Gordeev, G.G. Shevchenko // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2022. – № 4. – P. 21–31.

6. Kravtsova V.I. Mapping of the landscape-morphological structure of the eastern Bugazsky section of the Anapa embankment based on digital aerial photography / V.I. Kravtsova, E.R. Chalova // In the journal Izvestia of Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerial Photography, Moscow Publishing House. University of Geodesy and Cartography. – M., 2018. – № 3. – P. 303-31.
7. Budagov I.V. On the issue of the seizure of agricultural land for the needs of construction //In the collection: Problems of construction, engineering and ecology of cities. Collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference. – 2002. – № 7. – P. 223–224.
8. Analysis of the Current State of the Street and Road Network in the City of Krasnodar / A.V. Osennyaya [et al.] // Science. Technique. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 2. – P. 66–69.
9. Gura D.A. Creation of a 3D cadastral record of a real estate object for registration in the cadastral registry on the example of the railway station in the Adler district of Sochi / D.A. Gura, T.E. Alkachev // Electronic network polythematic journal «Scientific Works of KubSTU». – 2015. – № 11. – P. 362–369.
10. Electronic network polythematic journal «Scientific Works of KubSTU». – 2015. – № 11. – P. 362–369; Monitoring terrain changes using multi-temporal aerospace images using deep learning neural network technologies / V.G. Ivanov [et al.] // Journal «Geodesy and Cartography». – 2025. – № 5. – P. 39–46.

УДК 622.276

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОБЫЧИ НЕФТИ ЗА СЧЁТ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ВЫСОКООБВОДНЁННОГО ФОНДА СКВАЖИН

♦♦♦♦♦

SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF INCREASING OIL PRODUCTION BY OPTIMIZING THE OPERATION OF HIGHLY WATERED WELLS

Петрушин Евгений Олегович
начальник укрупнённого нефтепромысла № 4
ООО «ННК – Северная нефть»
eopetrushin@yahoo.com

Григулецкий Владимир Георгиевич
доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой высшей математики
Кубанский государственный аграрный университет
имени И.Т. Трубилина
gvg-tnc@mail.ru

Аннотация. На поздних стадиях разработки нефтяных месторождений одной из ключевых проблем становится высокая обводнённость добывающего фонда, которая приводит к снижению экономической эффективности эксплуатации. По мере выработки запасов доля попутно добываемой воды увеличивается, что создаёт значительную нагрузку на инфраструктуру – системы сбора, подготовки и транспорта углеводородов. В таких условиях актуальной задачей становится поиск оптимального баланса между сохранением объёмов добычи нефти и минимизацией затрат на эксплуатацию месторождения. Одним из эффективных методов решения этой проблемы является селективное отключение высокообводнённых скважин. Такой подход позволяет снизить нагрузку на инфраструктуру, уменьшить объёмы перекачиваемой воды и высвободить потенциал менее обводнённых скважин за счёт улучшения гидродинамических условий в системе. В статье рассматривается применение выборочного отключения добывающих скважин с целью уменьшения нагрузки на сеть нефтесбора и увеличения добычи нефти от реализации потенциала скважин с низкой обводнённостью. В качестве целевой функции оптимизации рассматривается суточная добыча нефти, а также снижение операционных затрат. Особое внимание уделяется упрощённому (прокси) моделированию системы «пласт – скважина – система сбора», что значительно ускоряет процесс расчётов без существенной потери точности.

Ключевые слова: оптимизация эксплуатационного фонда скважин; поиск наименее эффективных скважин и вывод их из эксплуатации; высокая обводнённость добываемой продукции; минимизация затрат на эксплуатацию месторождения; селективное отключение высокообводнённых скважин; принципы отбора скважин для отключения; реализация потенциала скважин с низкой обводнённостью.

Petrushin Evgeniy Olegovich
Head of the enlarged oil field № 4
of «NNK – Severnaya neft»
Limited Liability Company
eopetrushin@yahoo.com

Griguletsky Vladimir Georgievich
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Head of the Department
of Higher Mathematics,
Kuban State Agrarian University
named after I.T. Trubilin
gvg-tnc@mail.ru

Annotation. At the later stages of oil field development, one of the key problems is high water cut of the producing stock, which leads to a decrease in the economic efficiency of operation. As the reserves are developed, the share of produced water increases, which creates a significant load on the infrastructure – the systems for collecting, preparing and transporting hydrocarbons. In such conditions, the search for the optimal balance between maintaining oil production volumes and minimizing field operation costs becomes an urgent task. One of the effective methods for solving this problem is the selective shutdown of highly watered wells. This approach reduces the load on the infrastructure, reduces the volume of pumped water and releases the potential of less watered wells by improving the hydrodynamic conditions in the system. The article discusses the use of selective shutdown of producing wells in order to reduce the load on the oil gathering network and increase oil production from realizing the potential of wells with low water cut. Daily oil production, as well as reducing operating costs, are considered as the target optimization function. Particular attention is paid to simplified (proxy) modeling of the «reservoir – well – collection system» system, which significantly speeds up the calculation process without significant loss of accuracy.

Keywords: optimization of the operating well stock; search for the least efficient wells and their decommissioning; high water cut of the extracted products; minimization of field operation costs; selective shutdown of high-water-cut wells; principles of selecting wells for shutdown; realization of the potential of wells with low water cut.

Общая характеристика месторождения

Рассматриваемое нефтяное месторождение находится на территории Пуровского района, который входит в состав Ямало-Ненецкого автономного округа. Гео-

графически месторождение расположено в центральной зоне Западно-Сибирской равнины, между реками Пурпе и Пяку-Пур.

По величине запасов нефти месторождение относится к крупным. Начальные геологические / извлекаемые запасы нефти составляют 173170 / 61594 тыс. тонн, в том числе в пределах промышленной категории АВ1 – 153009 / 55870 тыс. тонн.

Согласно действующему проектному документу, для дальнейшей разработки нефтяного месторождения выделено 6 нефтяных объектов: $БС_{8/1}$, $БС_{10/1}$, $БС_{10/2}$, $БС_{11}$, $Ач_1$ и $Ю_1$.

В настоящее время месторождение находится в стадии активного освоения – в разработку введено 5 объектов: $БС_{8/1}$, $БС_{10/1}$, $БС_{10/2}$, $БС_{11}$ и $Ач_1$. Запасы пласта $Ю_1$ в разработку не введены, согласно действующему проектному документу, ввод в эксплуатацию планируется с 2027 года.

Распределение извлекаемых запасов нефти промышленных категорий АВ1 и накопленных отборов нефти по объектам разработки представлено на рисунке 1.

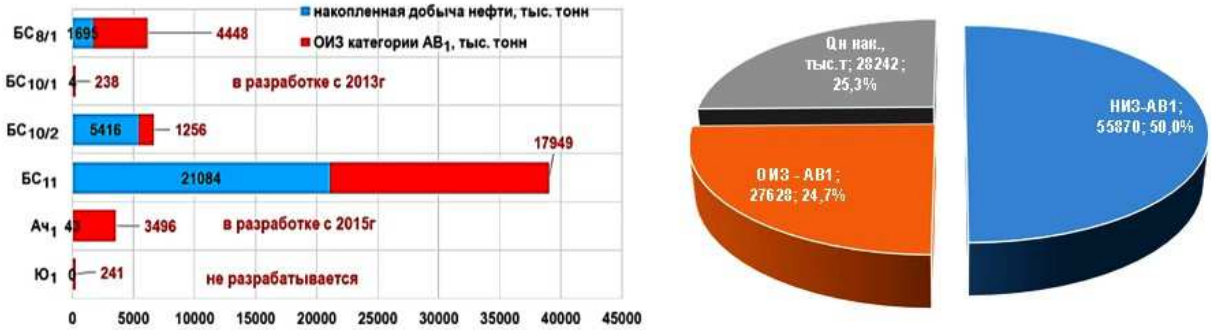


Рисунок 1 – Распределение накопленной добычи нефти и извлекаемых запасов нефти по объектам разработки и в целом по месторождению

Наиболее перспективным объектом разработки на месторождении (в плане обеспечения добычи нефти) является основной $БС_{11}$ (накопленная добыча – 74,7 %, текущая – 38,7 %), содержащий 70,8 / 70,3 % начальных геологических / извлекаемых запасов нефти месторождения промышленной категории $АВ_1$.

На долю основных объектов $БС_{8/1}$, $БС_{10/2}$ и $БС_{11}$, пребывающих в разработке, приходится 139,205 млн тонн нефти (или 91 % геологических запасов нефти промышленной категории $АВ_1$). Доля мало вовлечённых запасов ($БС_{10/1}$ и $Ач_1$) и не вовлечённых ($Ю_1$), отнесённых к категории $АВ_1$, несмотря на кажущийся небольшим относительный показатель – 9 %, в абсолютном значении составляет 13,804 млн тонн, что является резервом для наращивания объёмов добычи.

Характеристика фонда скважин

По состоянию на 01.01.2024 г. на месторождении пробурено 590 скважин, в том числе 34 разведочные и 556 эксплуатационных. Эксплуатационный фонд скважин составляет 139 скважин, из них 78 эксплуатационных (72 действующих и 6 бездействующих) и 61 нагнетательная скважина, все они находятся в эксплуатации. Кроме того, на месторождении имеется 112 ликвидированных скважин, что составляет 19 % от общего фонда скважин. Характеристика фонда скважин рассматриваемого нефтяного месторождения приведена на рисунке 2.

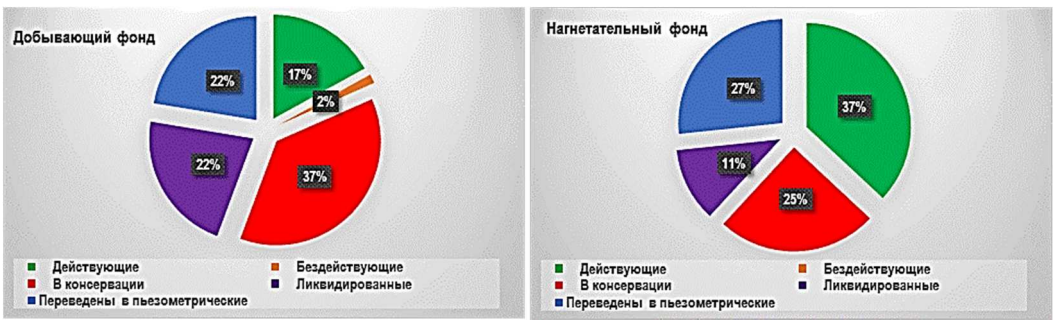


Рисунок 2 – Характеристика фонда скважин по нефтяному месторождению

Согласно действующей технологической схеме разработки месторождения, проектный фонд скважин на месторождении составляет 531 единицу, в том числе 48 скважин, подлежащих бурению: 32 эксплуатационные скважины (из них 26 горизонтальных), 13 нагнетательных и 3 водозаборные. На текущую дату реализация проектного фонда скважин достигла 91 %. Оставшийся фонд скважин, подлежащих бурению, в основном расположен в приконтурных зонах разрабатываемых коллекторов или на небольших, слабоизученных залежах. Учитывая, что объекты $БС_{8/1}$, $БС_{10/1}$, $БС_{10/2}$ и $БС_{11}$ практически полностью разбурены и находятся в стадии разработки, в дальнейшем будут проводиться работы не только по бурению, но и по геолого-техническим мероприятиям, таким как зарезка боковых стволов, перевод скважин и другие ГТМ на скважинах.

Объекты разработки месторождения различаются по сложности структуры, характеристикам пласта и объёмам начальных извлекаемых запасов нефти (категория $АВ_1$). Конфигурация фонда скважин формировалась в соответствии с промышленной значимостью каждого объекта. Большинство скважин (514 шт.) пробурено на основной продуктивный горизонт $БС_{11}$, а 75 скважин (12,7 %) нацелены на другие пласты, такие как $БС_{8/1}$, $БС_{10/1}$, $БС_{10/2}$ и $АЧ_1$, разработка которых началась в 1983, 1986, 2013 и 2015 годах соответственно.

Совместная разработка пластов осуществляется на 14 добывающих скважинах (10 % от эксплуатационного фонда добычи). В 12 эксплуатационных скважинах совместно эксплуатируются 2 пласта (11 скважин: $БС_{8/1}$ + $БС_{11}$, одна скважина: $БС_{10/2}$ + $БС_{11}$), а одна скважина одновременно эксплуатирует три пласта ($БС_{10/2}$ + $БС_{11}$ + $БС_{10/1}$). Среди нагнетательных скважин совместно работают две скважины: одна на $БС_{10/2}$ + $БС_{11}$ и одна на $БС_{10/2}$ + $БС_{10/1}$.

Текущая структура фонда скважин считается неоптимальной, 344 скважины (58,4 %) относятся к категории неработающих (бездействующих, законсервированных или входящих в контрольный фонд). Большинство простаивающих скважин (77,6 %) связаны с пластом $БС_{11}$. Несмотря на близкое завершение, системы разработки $БС_{11}$, $БС_{10/2}$ и $БС_{8/1}$ по-прежнему оставляют периферийные зоны и остаточные запасы неразработанными.

В целом стратегия разработки реализуется, ведутся значительные работы по ремонту, расконсервации и консервации скважин. Добывающие скважины демонстрируют коэффициент использования 0,923 и коэффициент эксплуатации 0,802 по сравнению со стандартными показателями 0,90 и 0,95 соответственно. Для нагнетательных скважин коэффициент использования составляет 1,0, но коэффициент эксплуатации остаётся низким и составляет 0,629. Снижение коэффициента эксплуатации в 2022 году во многом обусловлено бездействием скважин, вызванным высокой обводнённостью, низкими дебитами и снижением потребности в закачке.

Анализ текущего состояния разработки месторождения

Основные технологические показатели разработки по разрабатываемым объектам нефтяного месторождения на 01.01.2024 г. приведены в таблице 1.

Разбуривание месторождения начато в 1986 году с основного объекта разработки $БС_{11}$ и происходило от центральной части к периферии, ввод в активную разработку запасов произведён в 1989–1993 гг. (в среднем по 80 скважин в год), максимальный ввод скважин из бурения наблюдается в 1989 году – 92 ед. В 1997–2000 гг. происходило уплотнение сетки скважин вводом из бурения новых скважин. Северная залежь основного объекта разработки $БС_{11}$ разведана позже и введена в разработку одной скважиной в 2002 году, активно её разбуривание начато в 2006 году, с 2012 года бурение на месторождении не велось, поскольку оно практически разбурено. Бурение 48 скважин для выработки остаточных запасов УВ в краевых и межскважинных зонах, согласно действующему проектному документу, планировалось начать с 2026 года.

Основные технологические показатели объектов разработки нефтяного месторождения по состоянию на 01.01.2024 г. приведены на рисунке 3.

Таблица 1 – Технологические показатели разработки по состоянию на 01.01.2024 г.

Основные показатели разработки	Объект $БС_{8/1}$	Объект $БС_{10/1}$	Объект $БС_{10/2}$	Объект $БС_{11}$	Объект $АЧ_1$	Объект $Ю_1$	Месторождение
Начальные геологические запасы нефти ($АВ_1$), тыс. тонн	17531	592	13317	108357	12293	919	153009
Доля НГЗ в общем объёме запасов, %	11,5	0,4	8,7	70,8	8,0	0,6	100,0
Начальные извлекаемые запасы нефти ($АВ_1$), тыс. тонн	6143	242	6672	39033	3539	241	55870
Доля НИЗ в общем объёме запасов, %	11,0	0,4	11,9	69,9	6,3	0,4	100,0
Год ввода в разработку	1989	2019	1992	1986	2021	2021	1986
Текущая добыча нефти, тыс. тонн/год	33,1	0,7	61,2	69,3	14,6		179,0
Доля в общей добыче, %	18,5	0,4	34,2	38,7	8,2	0,0	100,0
Накопленная добыча нефти, тыс. тонн	1695	4	5416	21084	43	0,2	28242
Доля в общей добыче, %	6,0	0,0	19,2	74,7	0,2	0,0	100,0
Текущий коэффициент извлечения нефти (КИН), доли ед.	0,097	0,007	0,407	0,195	0,003	0,000	0,185
Утверждённый КИН, доли ед.	0,350	0,409	0,501	0,360	0,288	0,262	0,365
Отбор от НИЗ, % ($АВ_1$)	27,6	1,7	81,2	54,0	1,2	0,1	50,5
Годовая добыча жидкости, тыс. тонн/год	842	40	1336	1204	35		3457
Накопленная добыча жидкости, тыс. тонн	20513	163	27863	60894	139	0,2	109572
Обводнённость, %	96,1	98,2	95,4	94,2	58,0		94,8
Водонефтяной фактор, тонн/тонн	24,4	53,7	20,8	16,4	1,4		18,3
Накопленный водонефтяной фактор, тонн/тонн	11,1	39,7	4,1	1,9	2,2		2,9
Фонд добывающих скважин	23	1	12	51	4		78
Действующий фонд добывающих скважин	22	1	11	47	4		72
Действующий фонд нагнетательных скважин	14	1	14	34			61
Средний дебит нефти, тонн/сут.	5,4	2,2	12,3	4,2	8,2		6,1
Средний дебит жидкости, тонн/сут.	137,8	119,7	267,7	73,7	19,5		116,9
Средняя приёмистость скважины, $м^3$/сут.	293	60	256	170			215
Годовая закачка воды, тыс. $м^3$/год	842	14	875	1527			3258
Накопленная закачка воды, тыс. $м^3$	14613	124	21780	79860	2		116379
Годовая компенсация отборов жидкости закачкой воды, %	100,0	35,7	65	125,5	0,0		93,6
Накопленная компенсация отборов жидкости закачкой воды, %	70,4	76,5	74	117,6	1,2		98,8
Добыча попутного газа, млн $м^3$/сут.	1,4	0,033	2,8	8,3	0,8		13,3
Перебывало в эксплуатации всего, скв.	97	3	73	483	8	1	527
Всего пребывало под закачкой воды, скв.	21	1	25	146	1		187
Удельный отбор нефти, тыс. тонн / 1 скв.	17,5	4,0	74,2	43,7	5,4	0,2	53,6
Удельный объём закачки воды, тыс. $м^3$ / 1 скв.	696	124	871	547	2		622
Остаточные извлекаемые запасы нефти, тыс. тонн ($АВ_1$)	4448	238	1256	17949	3496	241	27628
Кратность запасов, лет	134	324	21	259	239		154

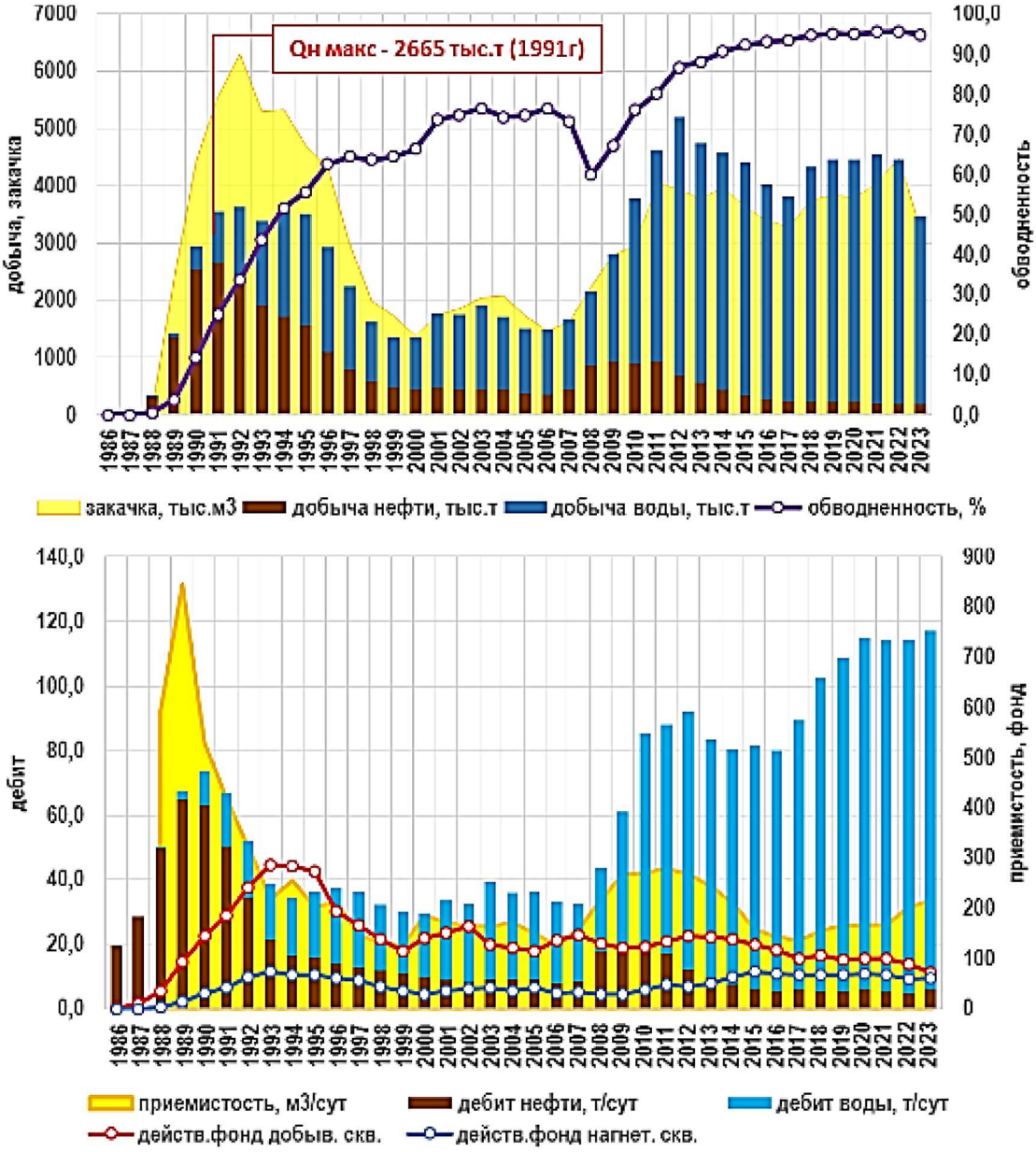


Рисунок 3 – Динамика технологических показателей разработки нефтяного месторождения

За историю разработки месторождения можно выделить следующие этапы.

С начала ввода в разработку и по 1992 год наблюдается наращивание объёмов бурения на основном объекте $БС_{11}$, и бурение скважин на объектах $БС_{8/1}$ и $БС_{10/2}$, отмечается рост отборов нефти и жидкости. За 7 лет отобрано около 9,3 млн тонн нефти, что составляет 33,6 % от всей накопленной добычи нефти по месторождению, среднегодовая обводнённость в 1996 году составила 33,7 %, в 1991 году отмечается самый высокий темп отбора от НИЗ – 5,4 %. В этот период (1991 год) достигнут максимальный уровень добычи нефти – 2,7 млн тонн при обводнённости продукции 25 %.

С 1993 по 1996 гг. – продолжается период разбуривания объекта $БС_{11}$, в основном на периферии, а также разбуривание объектов $БС_{8/1}$ и $БС_{10/2}$, на конец этого периода пробурено 85 % скважин от всего объёма бурения на сегодняшний день. Несмотря на достаточно высокие годовые уровни добычи нефти (в среднем 1,5 млн тонн/год), наблюдается закономерное снижение добычи УВ, падение добычи в среднем составляет 17 % в год с одновременным ростом обводнённости до 62,7 %. Годовая добыча нефти за 4 года снизилась почти в 2 раза с 1,9 млн тонн до 1,1 млн тонн.

С 1997 по 2007 гг. – к этому времени большая часть месторождения разбурена, интенсивно ведётся формирование систем разработки на объектах, накопленная ком-

пенсация отборов составляет порядка 125 %, в результате пластовое давление в зоне отборов по объектам $БС_{11}$ и $БС_{10/2}$ выше начального в среднем на 4–5 %, по объекту $БС_{8/1}$ на уровне начального. Этот период характеризуется некоторым снижением добычи нефти и стабилизацией на уровне 450 тыс. тонн/год. Годовая добыча нефти за период 1997–2007 гг. снижается с 0,793 млн тонн до 0,449 млн тонн, обводнённость при этом возрастает с 63,1 до 76,5 %. В результате снижения объёмов закачки накопленная компенсация на конец периода составила 110 % при текущей 85,4 %.

В период с 2014 по 2023 гг., несмотря на большой объём проводимых ГТМ (осуществлено 1057 скважино-операций, таких как боковые горизонтальные стволы скважин, солянокислотная обработка, гидравлический разрыв пласта, форсированный отбор, выравнивание профиля приёмистости, оптимизация, вывод скважин из неработающей категории, перестрел и т.п.), дополнительно добыто порядка 390 тыс. тонн нефти. Отмечается закономерное снижение годовой добычи нефти с 428 тыс. тонн в 2014 году до 179 тыс. тонн в 2023 году. Это связано в основном с сокращением добывающего фонда скважин из-за обводнения как закачиваемой водой, так и пластовой. Годовой темп добычи нефти в 2014–2023 гг. составлял в среднем 0,32 %. По состоянию на 01.01.2024 г. на месторождении отобрано 109,51 млн тонн жидкости, добыто 28,24 млн тонн нефти, что составляет 50,5 % от начальных извлекаемых запасов (НИЗ). В 2023 году добыча нефти составила 179 тыс. тонн, темп отбора – 0,32 % от НИЗ. Обводнённость добываемой продукции за 2023 год составила 94,8 %; среднесуточный дебит по нефти составил 6,1 тонн/сут., по жидкости 117 тонн/сут.

Накопленная закачка по месторождению составляет 116,379 млн $м^3$, в 2023 году закачано 3,258 млн $м^3$. Накопленная компенсация отборов по месторождению составляет 94 %, текущая компенсация 91 %.

Анализ технологической эффективности предлагаемого решения

Повышением эффективности разработки месторождения на поздней стадии является определение баланса между сохранением уровня добычи и снижением эксплуатационных затрат. В условиях наличия обводнённого фонда добывающих скважин эффективным рычагом может стать сокращение добычи с высокой долей попутно добываемой воды, что приводит к снижению нагрузки на инфраструктуру, и, как следствие, высвобождает потенциал низкообводнённого фонда. Таким образом, при сохранении уровня добычи нефти значительно сокращается количество попутно добываемой воды, что положительно сказывается на уровне операционных затрат. Реализация данного подхода на крупных зрелых месторождениях с развитой и оптимизированной инфраструктурой сопряжена с несколькими вызовами:

1) инженеру сложно выделить визуально участки для сокращения добычи, которые положительно повлияли бы на систему в целом (в рамках описанного выше подхода), даже с наличием моделей-компонент или интегрированной модели;

2) необходимо ориентироваться на экономическую целесообразность;

3) совокупная погрешность определения дебитов, обводнённости и давлений на забое, устье и в точках врезки сильно выше, чем точность вычислений, даже при условии хорошей адаптации модели на исторические параметры. Это зачастую приводит к несоответствию планируемых и фактических показателей при реализации мероприятий.

С помощью интегрированной модели актива и использования оптимизационного алгоритма необходимо определить, какие скважины следует отключить для получения прироста по добыче нефти за счёт эффекта снижения линейного и, как следствие, забойного давления на реагирующем фонде скважин. Использовалась модель месторождения с действующим фондом 179 скважины и средней обводнённостью по фонду 70 %.

Зрелые месторождения характеризуются высокой погрешностью исходных данных, используемых при моделировании. Кроме описанных ранее критичных параметров также играют роль недостаточная изученность продуктивности скважин, дебиты газа, альтитуды нефтесборного коллектора на всём его протяжении. Это вносит ощутимую неопределённость в результат прогноза на основе моделирования. Учитывая уровень неопределённости исходных данных, всё, что возможно получить в результате вычислений оптимума целевой функции, – выявление перспективного направления с оказывающими влияние скважинами и реагирующим фондом, которое в любом случае необходимо анализировать инженеру и подтверждать опытным путём, параллельно адаптируя модель.

С целью уменьшения времени, затрачиваемого на поиск оптимального варианта фонда до приемлемых значений, необходимо уменьшить количество возможных состояний фонда и снизить время расчёта. Для этого на стадии препроцессинга формируется список скважин для потенциального отключения. Данный алгоритм анализа и подготовки данных позволяет заранее определить, какие скважины потенциально могут быть отключены в процессе оптимизации исходя из фильтров по обводнённости, дебиту жидкости или газовому фактору. Если фильтры не используются, то в оптимизации участвуют все скважины в модели.

Критерии отбора скважин для отключения

Основные параметры для выбора кандидатов:

- обводнённость > 95 % – главный показатель;
- низкий дебит нефти (менее 1–2 тонн/сут.) при высоком дебите жидкости (десятки $м^3$/сут.);
- топология системы сбора – отключаются скважины, влияющие на ключевые узлы инфраструктуры.

Всего в секторной модели по данным параметрам для оптимизационного расчёта участвовало 16 скважин (фильтр по обводнённости > 95 %). В результате оптимизационного расчёта секторной модели получена комбинация из 11 скважин, при отключении которых добыча нефти увеличивается на 4,5 тонн/сут. Всего проведено 8 оптимизационных расчётов, которые позволили найти оптимальное решение с увеличением добычи. По результатам работы можно сделать вывод, что при отключении 8 скважин с общим дебитом по нефти 17,93 тонн/сут. система сбора и транспорта отреагирует на изменение приростом на 4,59 тонн/сут. по нефти. Также следует обратить внимание на то, что наибольший прирост по дебиту нефти принесло отключение скважин с не самой высокой добычей жидкости и обводнённостью. Эффективность показала отключение скважин от 100 $м^3$/сут. и обводнённостью от 96 %, но находящихся на узлах нефтесборного коллектора, объединяющих скважины в среднем 50 % обводнённости.

Проведение компьютерного моделирования отключения скважин

С целью анализа действующего добывающего фонда месторождения и моделирования отключения высокообводнённого фонда нами построены и адаптированы на фактические показатели разработки объекты $БС_{10/2}$, $АЧ_1$, $АЧ_2$, $БС_{11}$ и $БС_{8/1}$. Построение наземной инфраструктуры происходило с использованием ПО «ИСКРА» – отмечены водоводы высокого давления (ВВД), нефтесборный коллектор (НСК), к трубопроводам привязаны кустовые площадки и отмечены забои скважин (рис. 4).

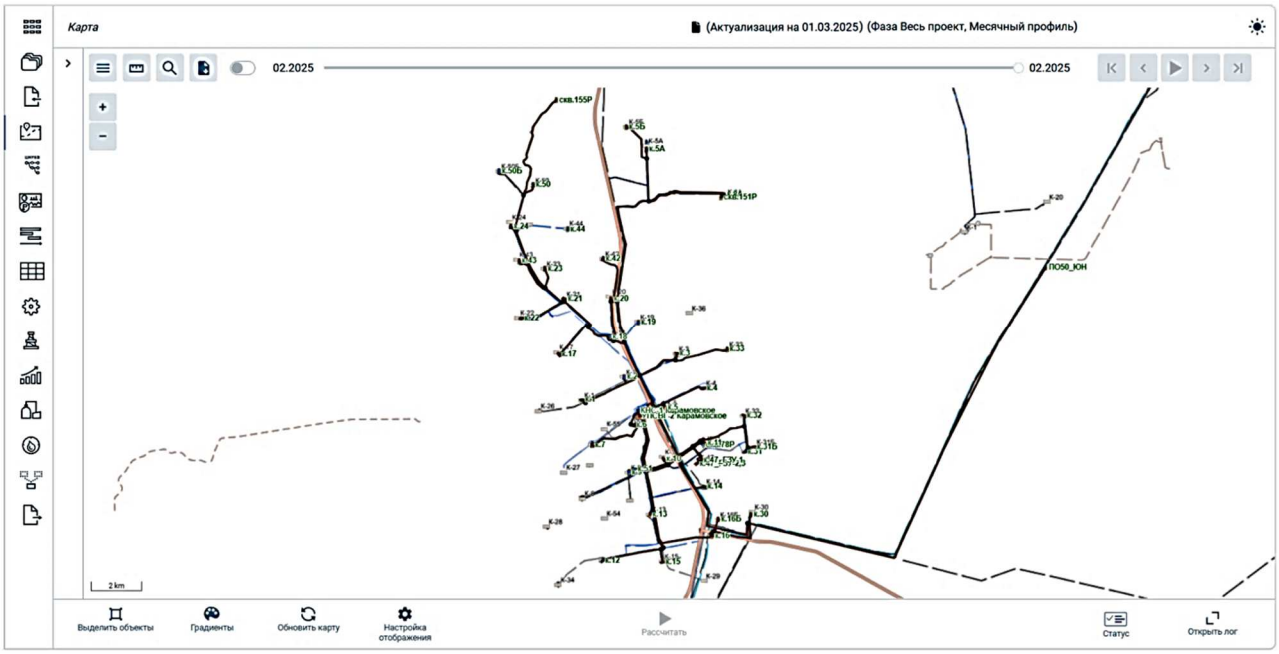


Рисунок 4 – Результат построения модели наземной инфраструктуры месторождения

Адаптация пластов происходила в программном продукте Б6К (Блочный 6К) компании ООО «Газпромнефть». Блочный продукт представляет собой инструмент для построения физико-математической модели пласта для прогнозирования основных производственных показателей разработки месторождения, в основе которой лежит материальный баланс для ячейки заводнения. В каждом из блоков своё пластовое давление и зависимые от него PVT параметры.

Определение объёмов добычи и закачки жидкости, а также пластового давления в каждом блоке сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений для получения согласованного решения. В отличие от классической формы уравнения материального баланса, этот подход учитывает поток жидкости и нефти между ячейками заводнения. Добыча и закачка из маргинальных скважин распределяются в соответствии с геометрическим положением скважины и геологическими характеристиками каждого блока. Кроме того, вводится термин для моделирования дегазации нефти, когда поток происходит в ячейку, где пластовое давление падает ниже давления насыщения (рис. 5 и 6).



Рисунок 5 – Интерфейс окна вводных данных и истории параметров каждого пласта

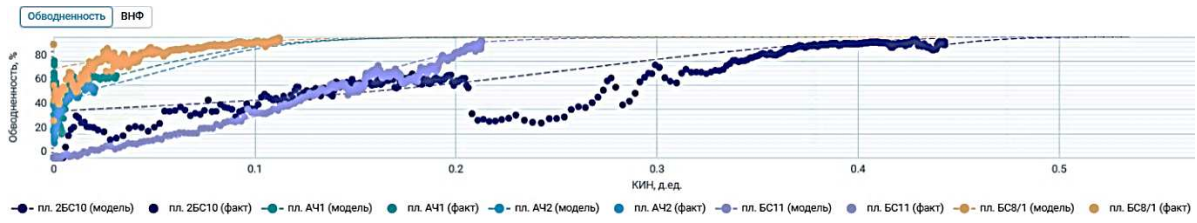


Рисунок 6 – Характеристика вытеснения рассматриваемых объектов разработки

После введения всех входных данных и построения характеристик вытеснения происходит в первом приближении автоматическая адаптация каждого блока каждого рассматриваемого объекта месторождения (рис. 7).

После автоматической адаптации необходима ручная корректировка, которая происходит путём подбора сочетания параметров сжимаемости породы, продуктивности и запаса воды в аквифере, а также проницаемостей граничных зон ячеек и перетоков между ними.

По завершению адаптации до приемлемых значений отклонения от фактических показателей рассчитывается базовый сценарий без ввода мероприятий по отключению скважин.

Подбор скважин-кандидатов на отключение происходит на основе их дебита жидкости и нефти, а также с учётом расположения на нефтесборном коллекторе относительно других скважин.



Рисунок 7 – Результат адаптации объектов под фактические данные
(пример адаптации одной ячейки заводнения для каждого пласта)

На рассматриваемом месторождении добывающий фонд включает в себя 164 скважины, из которых 34 имеют объёмную обводнённость 95 % и более. Нами использованы разные стратегии отбора кандидатов с целью выявления основных факторов, влияющих на увеличение добычи нефти остального добывающего фонда (табл. 2 и 3).

Таблица 2 – План отключения скважин при разных сценариях

Сценарий	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
1	+	+	+	+						
2	+		+	+	+					
3	+	+	+	+	+					
4	+		+	+						
5	+		+		+					
6	+		+	+	+	+				
7	+		+	+	+		+			
8	+		+	+	+			+	+	
9	+		+	+	+					+
10	+		+	+		+				

Таблица 3 – Режимы работы рассмотренных на отключение скважин

Скважины	$Q_ж$, м^3/сут.	$Q_н$, тонн/сут.	Обводнённость, %	$P_{заб}$, МПа	$P_{пл}$, МПа	$P_{лин}$, МПа
x1	688	4,17	99,70	13,91	25,46	1,8
x2	581	8,56	98,20	11,53	16,85	2,1
x3	254	2,64	97,50	9,30	17,65	2,4
x4	225	2,14	97,50	6,69	11,20	2,1
x5	212	2,76	98,90	5,58	19,56	2,0
x6	289	5,01	98,60	7,88	18,12	1,7
x7	82	0,57	98,40	3,97	18,56	2,2
x8	104	1,70	99,10	2,93	20,36	1,3
x9	138	1,61	98,60	4,68	24,18	1,3
x10	158	3,78	96,30	3,05	15,02	2,1

В сценарии 1 отключены скважины с высокой добычей жидкости в ключевых узлах, влияющие на ближайший фонд независимо от их дебита нефти. В сценарии 2 отключены скважины также в ключевых узлах для разгрузки трубопровода, но уже с учётом потери по дебиту нефти из-за отключения, т.е. с высокой добычей жидкости и дебитом нефти до 5 тонн/сут.

Так как первые два сценария оказались с положительным эффектом, 3 сценарий – это попытка их объединения, один эффект оказался отрицательным. В данном сценарии ошибка заключается в отключении слишком большого суммарного дебита нефти и отключении скважины x2, несущественно нагружающей НСК, но имеющий нереализованный потенциал по добыче.

Сценарий 4 был проверкой гипотезы о том, что скважины x2 и x5 снижают эффект оптимизации, что не было видно из суммарного результата, так как компенсировалось положительным эффектом от отключения других скважин x1, x3 и x4. Гипотеза оказалась неверна, эффект негативный, хоть и не такой, как при сценарии 3 с отключением большего количества скважин. Сценарий 5 имел ту же цель, что и 4, но для проверки скважин x2 и x4.

Сценарий 6 уже исходил из того, что отключение скважин x1, x3, x4 и x5 дают наибольший прирост по добыче нефти. Отталкиваясь от сценария 2, добавлена скважин x6 с большим объёмом добычи жидкости и дебитом нефти более 5 тонн/сут., но находившейся на узле 2-х крупных веток трубопровода. Сценарий показал практически нулевой эффект, негативный эффект отключения скважины x6 компенсировал прирост по дебиту нефти от отключения x1, x3, x4 и x5.

В сценарии 7 исследовалось влияние обводнённости скважины независимо от её дебита. Скважина x7 находится на перегруженной ветке трубопровода при дебите 82 м^3/сут. и 0,57 тонн/сут. Добавление к сценарию 2 скважины x7 практически никак не повлияло на результат, что говорит о прямом влиянии дебита жидкости на давление в НСК.

Сценарий 8 добавляет к сценарию 2 скважины x8 и x9 (скважины со средним дебитом по жидкости и минимальным дебитом по нефти) с целью минимизации потерь из-за отключения, однако расположение x8 и x9, как предполагается, не оказывает влияние на окружающий фонд вследствие расположения не на перегруженном участке НСК. Положительный эффект практически полностью скомпенсирован потерями по дебиту скважин x8 и x9, что доказывает важность учёта расположения скважин и линейного давления.

В сценарии 9, помимо уже принятых на отключение скважин x1, x3, x4 и x5, добавляется скважина x10, расположенная на той же кустовой площадке, что и x2 и x4. Участок этих скважин перегружен и целью добавления в сценарий x10 является ещё большее снижение линейного давления. Однако скважина имеет не такой высокий дебит жидкости при дебите нефти – выше, чем x4, что может привести к снижению эффекта прироста от отключения достаточно рентабельной скважины x10. В результате расчёта эффект вышел отрицательным, что говорит о нереализованном потенциале x10 даже несмотря на забойное давление 3,05 МПа.

В сценарии 10 стало добавление к сценарию 2 скважины х6 вместо х5, так как первая расположена на ветке, выходящей на один из центральных узлов нефтесбора. Данная замена была проверкой взаимного влияния положительного эффекта от более ближнего расположения к узлам и отрицательного – от увеличения объёма отключаемого дебита нефти.

Расположение скважин-кандидатов и показатели линейного давления на общей схеме нефтесборного коллектора приведено на рисунке 8.

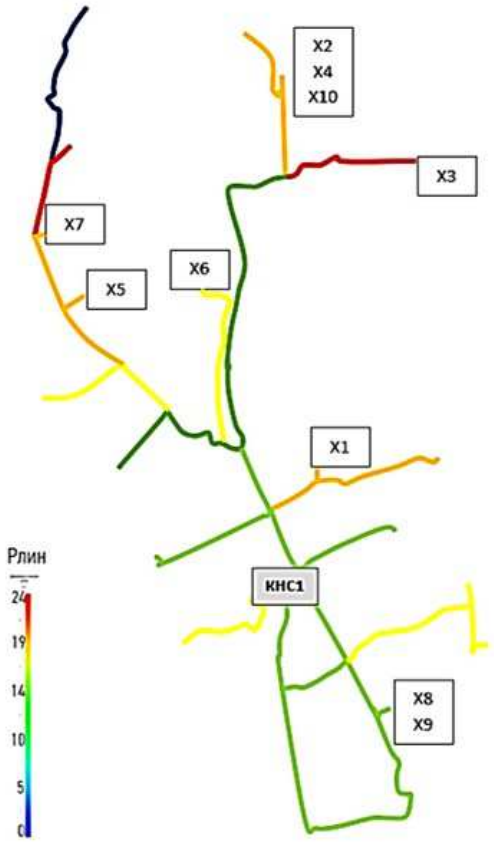


Рисунок 8 – Расположение скважин-кандидатов и показатели линейного давления на общей схеме нефтесборного коллектора

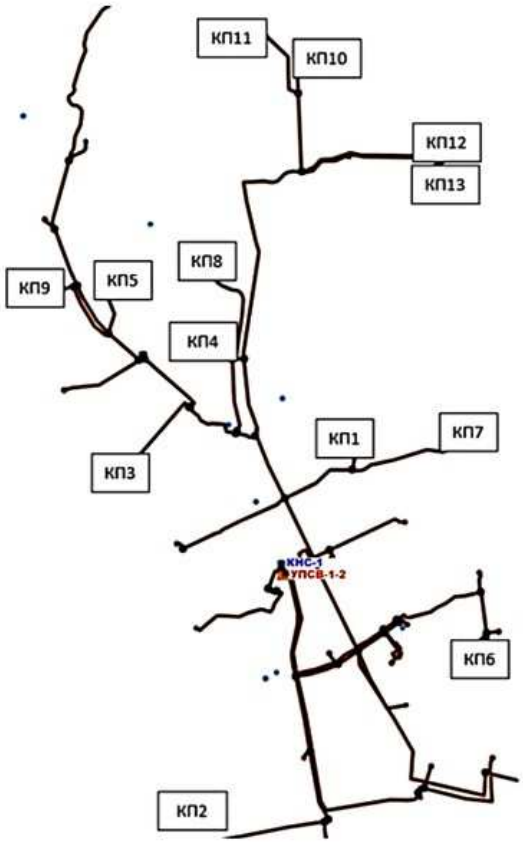


Рисунок 9 – Расположение кустовых площадок со скважинами, получившими прирост по дебиту нефти

Сравнение добычи нефти по сценариям отключения скважин с базовым вариантом показано в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение добычи нефти по сценариям отключения скважин с базовым вариантом

Сценарий	$Q_ж$, тыс. м^3	$Q_н$, тыс. тонн	d$Q_ж$, тыс. м3	d$Q_н$, тонн	$Q_ж$ откл., тыс. м^3	$Q_н$ откл., тонн	Обв. откл, %
Базовый	430,597	60,673	–	–	–	–	–
1	421,302	60,994	–15,169	321	–53,314	–564	98,76
2	404,887	61,452	–25,710	779	–42,060	–354	99,01
3	373,350	60,247	–57,247	–426	–68,595	–771	98,68
4	399,828	60,548	–30,769	–124	–35,594	–273	99,10
5	395,630	60,518	–34,967	–155	–35,197	–292	99,03
6	410,893	60,666	–7,383	–7	–50,874	–510	98,83
7	405,411	61,072	–25,186	399	–44,561	–375	99,01
8	406,788	60,592	–23,809	–81	–49,441	–458	98,92
9	388,955	60,622	–41,642	–51	–46,879	–472	98,82
10	391,376	60,470	–39,221	–203	–44,408	–426	98,88

Таким образом, наибольший эффект обеспечило отключение скважин х1, х3, х4 и х5 по сценарию 2 с потерями по добыче 354 тонн (или 11,79 тонн/сут.), но с суммарным по месторождению месячным приростом к добыче за счёт реализации потенциала остального фонда в 1132 тонн (или 37,74 тонн/сут.). В таблице 5 приведены отключаемые по сценарию 2 скважины.

Таблица 5 – Отключаемые по сценарию 2 скважины

Скважины	$Q_ж$, м^3/сут.	$Q_н$, тонн/сут.	Обводнённость, %	$P_{заб}$, МПа	$P_{пл}$, МПа	$P_{лин}$, МПа
х1	688	4,17	99,70	13,91	25,46	1,80
х3	254	2,65	97,50	9,30	17,65	2,40
х4	225	2,21	97,50	6,69	11,20	2,10
х5	212	2,76	98,90	5,58	19,56	2,00

Отключаемые скважины существенно влияли на нагрузку НСК из-за большого дебита жидкости. При этом дебит нефти на них не превышал 5 тонн/сут., что позволило отключить их без серьёзных потерь, средняя обводнённость составляла 98,81 %. Также каждая скважина располагается на отдельном от остальных трёх скважин участках, таким образом, охватывая все перегруженные ветки и наиболее полно реализуя ранее недостигнутый потенциал остальных менее обводнённых скважин.

Оценка снижения давления на насосное оборудование

Моделирование сценария 2 оптимизации действующего добывающего фонда показало прирост в 22,67 тонн/сут., эффект распределён между 13 кустовыми площадками и 53 скважинами (рис. 9). В таблице 6 приведены суммарные дебиты кустовых площадок с положительным эффектом до и после оптимизации.

Таблица 6 – Суммарные дебиты кустовых площадок с положительным эффектом до и после оптимизации

Куст	Кол-во скважин, ед.	Сумм. $Q_ж$ до мероприятия, м^3/сут.	Сумм. $Q_ж$ после мероприятия, м^3/сут.	d$Q_ж$ сумм	Относительное изменение $Q_ж$, доли ед.	Сумм. $Q_н$ до мероприятия, тонн/сут.	Сумм. $Q_н$ после мероприятия, тонн/сут.	d$Q_н$ сумм, тонн/сут.	Относительное изменение $Q_н$, доли ед.
КП1	2	850	234	–616	–0,725	11,79	8,62	**–3,17**	–0,269
КП2	1	15	15,3	0,3	0,021	1,45	1,48	**0,03**	0,021
КП3	5	102	136,8	34,8	0,341	11,31	15,17	**3,86**	0,341
КП4	12	1122	1168,6	46,6	0,041	153,9	160,29	**6,39**	0,041
КП5	6	517	348,8	–168,2	–0,325	64,19	66,87	**2,68**	0,042
КП6	1	5	5,1	0,1	0,025	2,81	2,88	**0,07**	0,025
КП7	1	31	33	2,0	0,066	4,85	5,17	**0,32**	0,066
КП8	2	283	292,3	9,3	0,033	6,79	7,01	**0,22**	0,033
КП9	13	1225	1297,6	72,6	0,059	170,83	180,96	**10,13**	0,059
КП10	5	1326	1213,3	–112,7	–0,085	26,01	26	**–0,01**	–0,085
КП11	2	837	897,2	60,2	0,072	16,21	17,38	**1,17**	0,072
КП12	5	667	469,5	–197,5	–0,296	47,29	48,64	**1,35**	0,029
КП13	1	184	195,5	11,5	0,063	46,52	49,44	**2,92**	0,063
Сумм./ сред.	**56**	**7164**	**6307**	**–857**	**–0,055**	**564**	**590**	**25,95**	**0,04**

По относительному изменению дебита жидкости как отношению $\frac{Q_{ж}^{после}}{Q_{ж}^{до}}$ можно сделать вывод о влиянии отключённых скважин на ближние и дальние кустовые площадки (рис. 10). Однако данный эффект менее нагляден из-за падения дебита на самих кустах с отключёнными скважинами, из-за чего фактически наибольший прирост приходится на кустовые площадки, наиболее приближённые к кустам с отключёнными скважинами, но не на них самих (рис. 11).

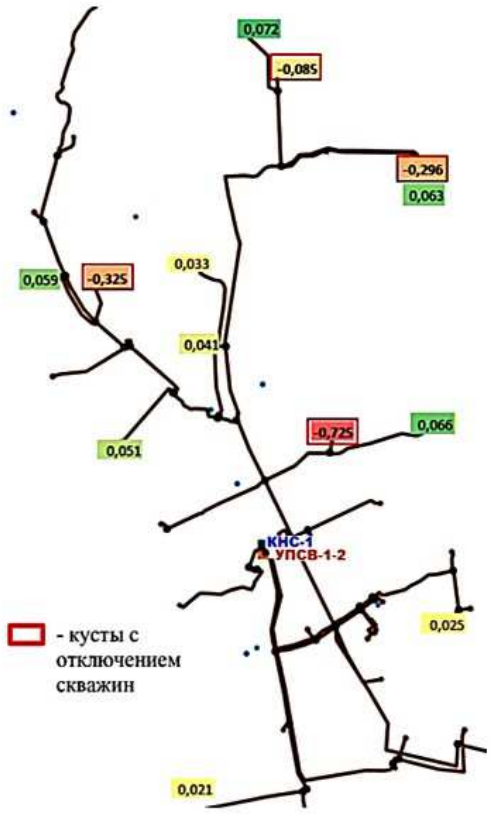


Рисунок 10 – Фактическое относительное изменение дебита жидкости

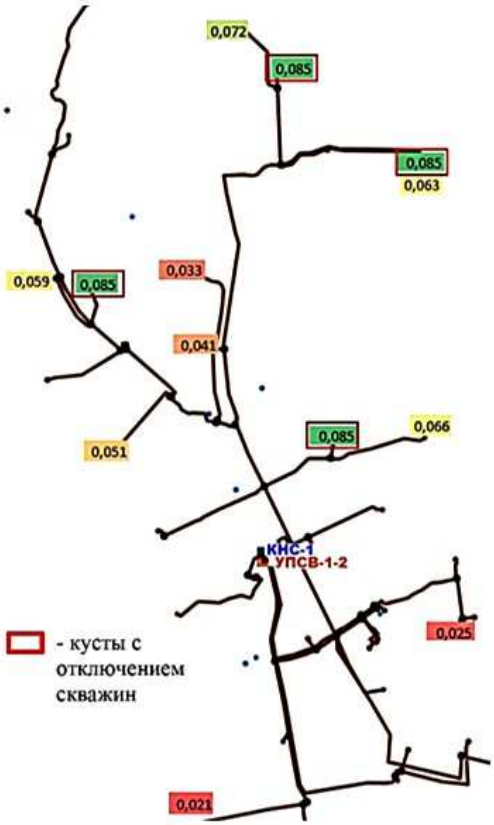


Рисунок 11 – Визуализация влияния отключения скважин в зависимости от удалённости кустов без учёта потерь по отключению

Помимо прироста до дебиту нефти, существенный эффект оптимизации добычи заключается в снижении нагрузки на насосное оборудование, что имеет как технологические, так и экономические преимущества. Изменение режимов работы насосного оборудования касается подземного (УЭЦН) и наземного оборудования в виде снижения линейного давления и нагрузки на кустовые насосные станции из-за уменьшения закачки воды в систему поддержания пластового давления.

Изменение забойного давления находится по формуле:

$$\Delta P_{заб} = \Delta P_{пл} - \frac{\Delta Q_{ж}}{K_{прод} \cdot 10_{\text{атм./МПа}}}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{заб}$ – изменение забойного давления, МПа; $\Delta P_{пл}$ – изменение среднего пластового давления в области контура питания, МПа; $\Delta Q_{ж}$ – изменение дебита жидкости, м^3/сут.; $K_{прод}$ – коэффициент продуктивности, м^3/сут./атм.

Так как пластовое давление после проведения мероприятия существенно не меняется, формула принимает следующий вид:

$$\Delta P_{заб} = -\frac{\Delta Q_{ж}}{K_{прод} \cdot 10_{\text{атм./МПа}}}. \quad (2)$$

Результаты расчёта забойного давления приведены в таблице 7.

Для оценки влияния на линейное давление в расчёте будут использоваться исторические данные скважин при постоянном коэффициенте продуктивности, по которым строятся кривые VLP путём интерполяции точек и нахождения линейного давления при новой точке дебита жидкости и забойного давления. Далее приведён пример графиков VLP скважин куста КП3 (рис. 12–16).

Таблица 7 – Результаты расчёта забойного давления

Куст	Кол-во скважин, ед.	Сумм. $Q_ж$ до мероприятия, м^3/сут.	Сумм. $Q_ж$ после мероприятия, м^3/сут.	d$Q_ж$ сумм.	$K_{прод.}$ м^3/сут./МПа	$P_{заб}$ до мероприятия, МПа	$P_{заб}$ после мероприятия, МПа	d$P_{заб}$
КП1	2	850	234	–616	56,23	12,20	17,68	5,48
КП2	1	15	15,3	0,3	1,34	8,41	8,17	–0,24
КП3	5	102	136,8	34,8	40,41	4,90	4,73	–0,17
КП4	12	1122	1168,6	46,5	25,23	5,34	5,19	–0,15
КП5	6	517	348,8	–168,2	12,67	5,33	7,54	2,21
КП6	1	5	5,1	0,1	1,03	6,44	6,31	–0,13
КП7	1	31	33	2,0	1,93	4,18	3,12	–1,06
КП8	2	283	292,3	9,3	26,32	6,09	5,91	–0,18
КП9	13	1225	1297,6	72,6	30,78	9,16	8,98	–0,18
КП10	5	1326	1213,3	–112,7	76,86	6,94	7,23	0,29
КП11	2	837	897,2	60,2	40,03	8,90	8,15	–0,75
КП12	5	667	469,5	–197,5	20,52	7,32	9,24	1,92
КП13	1	184	195,5	11,5	8,23	8,79	7,39	–1,4
Сумм./ сред.	**56**	**7164**	**6307**	**–857**	**26,27**	**7,02**	**7,47**	**0,46**

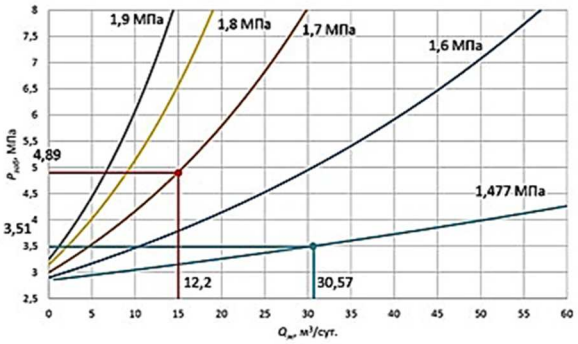


Рисунок 12 – Кривые VLP при различном линейном давлении скважины 1 кустовой площадки КП3

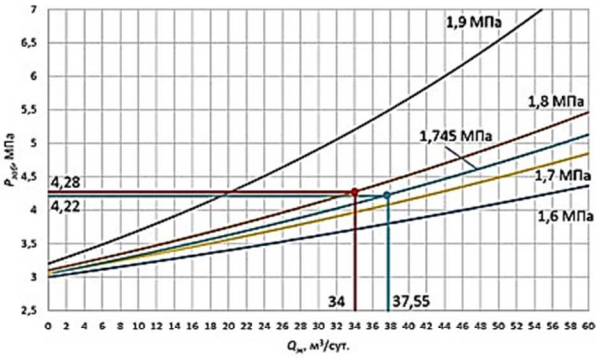


Рисунок 13 – Кривые VLP при различном линейном давлении скважины 2 кустовой площадки КП3

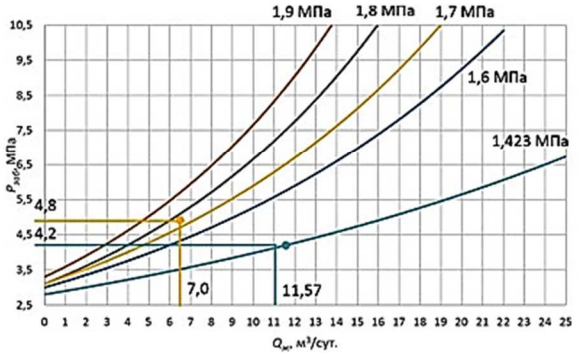


Рисунок 14 – Кривые VLP при различном линейном давлении скважины 3 кустовой площадки КП3

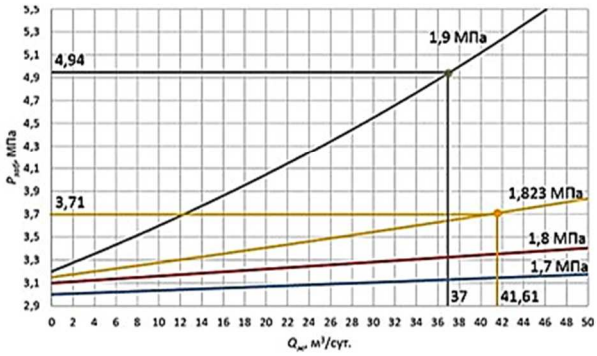


Рисунок 15 – Кривые VLP при различном линейном давлении скважины 4 кустовой площадки КП3

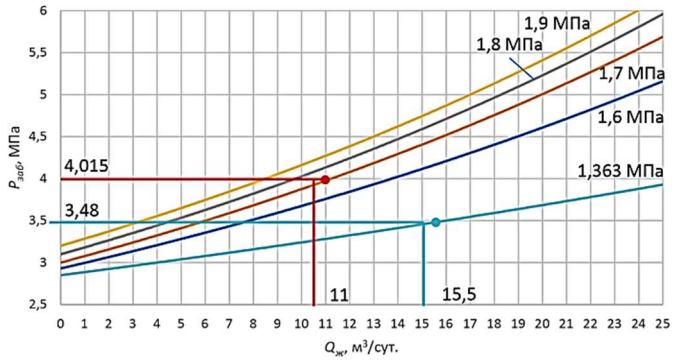


Рисунок 16 – Кривые VLP при различном линейном давлении скважины 5 кустовой площадки КП3

Ниже приведён пример расчёта линейного давления кустовой площадки КП3 с 4 скважинами. По кривым VLP получаем ожидаемое линейное давление каждой скважины одной кустовой площадки. Для расчёта усреднённого давления, фактически обеспечиваемое кустом, находим среднее $P_{лин}$ по скважинам с учётом доли каждой в общем дебите жидкости куста.

$$P_{лин} = \frac{\sum P^i_{лин} \cdot Q^i_{ж}}{\sum Q^i_{ж}}, \quad (3)$$

где $P^i_{лин}$ – линейное давление скважины без учета влияния окружения, МПа; $Q^i_{ж}$ – дебит жидкости скважины, м^3/сут.

$$P_{лин} = \frac{1{,}477 \cdot 30{,}57 + 1{,}745 \cdot 37{,}55 + 1{,}423 \cdot 11{,}57 + 1{,}823 \cdot 41{,}61 + 1{,}363 \cdot 15{,}5}{136{,}8} = 1{,}64 \text{ МПа}.$$

Подобным образом рассчитывается линейное давление по всем кустам и скважинам на ветках нефтесборного коллектора, которые отреагировали на изменение добычи жидкости от отключения скважин-кандидатов (табл. 8).

Таблица 8 – Результаты расчёта линейного давления после мероприятия

Куст	Кол-во скважин, ед.	Сумм. $Q_ж$ до мероприятия, м^3/сут.	Сумм. $Q_ж$ после мероприятия, м^3/сут.	d$Q_ж$ сумм.	$K_{прод}$. м^3/сут./МПа	$P_{лин}$ до мероприятия, МПа	$P_{лин}$ после мероприятия, МПа	d$P_{лин}$
КП1	2	850	234	–616	56,23	1,8	1,45	–0,35
КП2	1	15	15,3	0,3	1,34	1,6	1,58	–0,02
КП3	5	102	136,8	34,8	40,41	1,7	1,64	–0,06
КП4	12	1122	1169	47,0	25,23	1,5	1,43	–0,07
КП5	6	517	348,8	–168,2	12,67	2,0	1,67	–0,33
КП6	1	5	5,1	0,1	1,03	1,9	1,89	–0,01
КП7	1	31	33	2,0	1,93	1,7	1,59	–0,11
КП8	2	283	292,3	9,3	26,32	1,8	1,71	–0,09
КП9	13	1225	1298	73	30,78	2,1	1,81	–0,29
КП10	5	1326	1213	–113	76,86	2,1	1,73	–0,37
КП11	2	837	897,2	60,2	40,03	2,1	1,61	–0,49
КП12	5	667	469,5	–197,5	20,52	2,4	2,18	–0,22
КП13	1	184	195,5	11,5	8,23	2,8	2,49	–0,31
Сумм./ сред.	**56**	**7164**	**6307**	**–857**	**26,27**	**1,96**	**1,75**	**–0,209**

Таким образом, выполнен расчёт изменения дебита жидкости, нефти, забойного и линейного давления. С учётом потерь дебита на отключение 4-х скважин суммарный

прирост составил 25,95 тонн/сут. В масштабах всего месторождения данный эффект не будет существенным, однако и не требует каких-либо затрат на проведение мероприятия. Снижение нагрузки на насосное оборудование также имеет технологический и экономический эффект. По результатам моделирования и расчётам забойное давление изменилось на 1,97 МПа – с 7,23 МПа до мероприятия до 9,20 МПа после в среднем по кустовым площадкам. По скважинам в среднем $P_{заб}$ увеличилось на 0,45 МПа – с 7,02 до 7,47 МПа. Линейное давление, ранее в среднем по отреагировавшим участкам составлявшее 1,96 МПа, упало на 0,21 МПа – до 1,75. На рисунке 17 приведена схема трубопровода с цветовым обозначением давления после мероприятия по оптимизации.

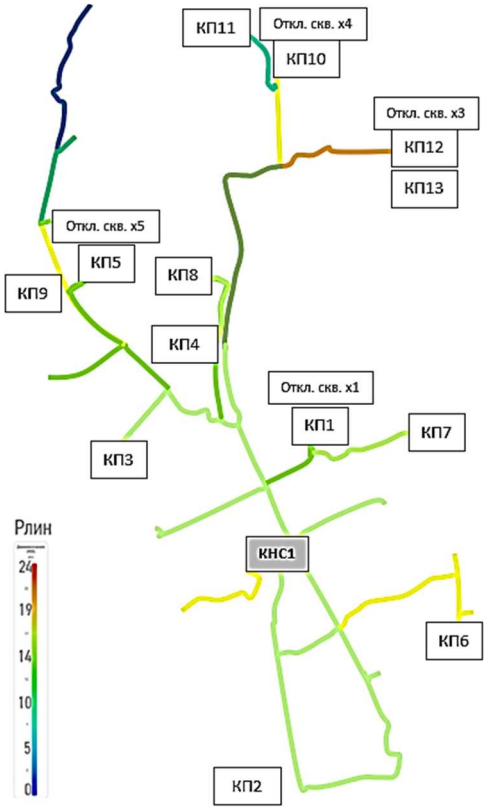


Рисунок 17 – Распределение линейного давления по участкам трубопровода месторождения после оптимизации добывающего фонда

Заключение

В условиях исчерпания легкодоступных запасов нефти и роста обводнённости скважин особую актуальность приобретает рациональное управление эксплуатационным фондом и применение современных подходов к моделированию месторождений. Одним из перспективных направлений является использование гибридного интегрированного моделирования активов, объединяющего гидродинамическое моделирование, моделирование сетей сбора и транспорта продукции, а также экономические параметры. Такой подход позволяет не только точнее прогнозировать поведение месторождения при различных сценариях разработки, но и своевременно принимать управленческие решения, направленные на повышение эффективности добычи и снижение эксплуатационных затрат.

В ходе проведённого исследования подтверждена практическая ценность отключения экономически неэффективных скважин с высокой обводнённостью. Вывод их из эксплуатации позволяет снизить уровень линейного давления в системе, перераспределить нагрузку на более продуктивные скважины и, как следствие, повысить забойное давление на оставшихся в работе объектах. Данный подход демонстрирует положительное влияние на энергопотребление, устойчивость работы системы ППД и общее снижение удельных затрат на тонну добытой нефти. Кроме того, оптимизация

фонда способствует продлению жизненного цикла месторождения за счёт устранения низкодебитных и убыточных объектов, ресурсы которых уже фактически исчерпаны.

Расчёт экономической эффективности предложенных мероприятий показал среднегодовой эффект в размере 93,65 млн рублей, что подтверждает актуальность рассматриваемого метода с точки зрения повышения рентабельности эксплуатации. При этом достигнуто повышение забойного давления в среднем на 0,45 МПа и снижение линейного давления на 0,21 МПа по отреагировавшему фонду скважин, что свидетельствует о благоприятных гидродинамических изменениях в системе. Таким образом, внедрение стратегии оптимизации фонда скважин на основе интегрированного моделирования и анализа технико-экономических показателей может быть рекомендовано как действенный инструмент повышения эффективности разработки зрелых нефтяных месторождений.

Литература

1. Балин Д.В. Оптимизация параметров системы разработки на основе многовариантных гидродинамических расчётов и нейронной прокси-модели // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2025. – № 2(170). – С. 98–108. DOI: 10.31660/0445-0108-2025-2-98-108
2. Интегрированное моделирование как инструмент, повышающий эффективность разработки многопластового нефтегазоконденсатного месторождения / Е.В. Богданов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 12. – С. 52–55. DOI: 10.24887/00282448-2019-12-52-55
3. Бондаренко В.А. Анализ современных представлений о принципах моделирования и расчёта пород-коллекторов / В.А. Бондаренко, А.В. Лаврентьев, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 2. – С. 34–40.
4. Валишин Р.В. Описание методологии расчёта блочный. Инструменты оптимизации добычи и закачки. Управление добычей на текущих мощностях. Гибридная ИМА. v.1.36К / Р.В. Валишин, А.С. Самолов, М.В. Накаева. – 2023.
5. Вахитов Р.Н. Технико-экономические и геологические аспекты вынужденного сокращения добычи нефти / Р.Н. Вахитов, Е.В. Колесник, Р.О. Самсонов // Бурение и нефть. – 2020. – № 9. – С. 47–50.
6. Григулецкий В.Г. Обводнение месторождений – коренной вопрос современности российского нефтегазового дела // Нефть, газ и бизнес. – 2007. – № 5. – С. 19–28.
7. Гибридная интегрированная модель актива – гибкий инструмент для оперативного управления промыслом / О.В. Зоткин [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2023. – № 4. – С. 86–90. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-4-86-90
8. Ивановский В.Н. Ещё раз к вопросу об энергоэффективности электроприводных лопастных насосов / В.Н. Ивановский, С.А. Карелина // Территория Нефтегаз. – 2022. – № 1–2. – С. 34–38.
9. Лаврентьев А.В. Анализ состава и природы осложнений добычи нефти и газа на завершающей стадии разработки месторождений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2015. – № 1. – С. 47–60.
10. Методика определения причины обводнения скважин / В.А. Лушпеев [и др.] // Георесурсы. – 2013. – № 2(52). – С. 44–47.
11. Назипов В.Т. Автоматизации расчётов технологических показателей разработки месторождения при его заводнении с помощью прокси-модели / В.Т. Назипов, А.А. Мугатабарова // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 272–274.
12. Нарыгин Э.И. Опыт проведения многовариантных расчётов с автоматизированной системой построения гидродинамической модели месторождения / Э.И. Нарыгин, А.П. Коваленко, К.Б. Кузив // Экспозиция Нефть Газ. – 2022. – № 5(90). – С. 22–26. DOI: 10.24412/2076-6785-20225-22-26
13. Петрушин Е.О. Промысловые исследования притока к горизонтальным скважинам и методы интенсификации нефтегазодобычи / Е.О. Петрушин, А.С. Арутюнян, Л.Г. Кусова // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ – 2021: доклады XXII Международной молодёжной научной конференции (17–19 марта 2021 года, г. Ухта). – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2021. – С. 476–480.
14. Петрушин Е.О. Анализ эффективности извлечения запасов нефти наклонно-направленными и горизонтальными скважинами на эксплуатационном объекте ЮВ1 крупного нефтегазоконденсатного многопластового месторождения с большим этажом нефтеносности / Е.О. Петрушин, А.С. Арутюнян, А.А. Мельникова // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2025. – № 2(386). – С. 26–34.
15. Петрушин Е.О. Разработка методики по оптимизации исследований скважин с целью контроля за разработкой нефтегазоконденсатного месторождения / Е.О. Петрушин, А.С. Ар-

утюнян // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2025. – № 4 (388). – С. 52–63.
16. Обоснование применимости внедрения нестационарных отборов жидкости в условиях карбонатного коллектора трещинно-порового типа, осложнённого газовой шапкой и активной подошвенной водой / Е.О. Петрушин [и др.] // Инженер-нефтяник. – 2025. – № 2. – С. 24–31.
17. Рахмонкулов М.Т. Прогноз зон с остаточными запасами нефти для ввода ликвидированных скважин в повторную эксплуатацию // Экономика и социум. – 2023. – № 12-1(115). – С. 1330–1333.
18. Савенок О.В. Анализ проблем снижения продуктивности скважин в процессе их эксплуатации на Ай-Пимском месторождении / О.В. Савенок, Л.Г. Кусова // Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья: тезисы докладов Международной научно-практической конференции (15–16 ноября 2022 года, г. Санкт-Петербург). – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – С. 109.
19. Сафиуллина Е.У. Выбор экономически целесообразного и технологически оптимального сценария разработки группы месторождений Денисовской площади / Е.У. Сафиуллина, Л.Г. Кусова // Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья: тезисы докладов Международной научно-практической конференции (15–16 ноября 2022 года, г. Санкт-Петербург). – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – С. 116.
20. Применение оптимизационных алгоритмов для управления добычей: снятие инфраструктурных ограничений / Д.Д. Сидоренко [и др.] // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2025. – Т. 10. – № 1(35). – С. 90–97. DOI: 10.51890/2587-7399-2025-10-1-90-97
21. Тагирова К.Ф. Повышение эффективности добычи нефти на основе координации управления технологическими процессами и объектами // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2008. – Т. 10. – № 2. – С. 48–52.
22. Халидов И.А. Вывод из эксплуатации нефтегазовых объектов: оценка обязательств и влияние на финансовую систему / И.А. Халидов, К.Н. Миловидов // Российский внешнеэкономический вестник. – 2024. – № 8. – С. 74–96. DOI: 10.24412/2072-8042-2024-8 74-96
23. Использование интегрированной модели для повышения эффективности эксплуатации нефтяных месторождений / Э.Р. Харасов [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2022. – № 5(258). – С. 6–13.
24. Шабонас А.Р. Оптимизация работы электроцентробежного насоса для повышения наработки на отказ // Нефтегазовое дело. – 2021. – № 8(632). – С. 30–36. DOI: 10.33285/0207-2351-2021-8(632)-30-36

References

1. Balin D.V. Optimization of field development scheme parameters using multivariant simulation and neural proxy-model // News of higher educational institutions. Oil and gas. – 2025. – № 2 (170). – P. 98–108. DOI: 10.31660/0445-0108-2025-2-98-108
2. Integrated modeling as a tool to increase the development efficiency of the multilayer oil-gas-condensate field / E.V. Bogdanov [et al.] // Oil industry. – 2019. – № 12. – P. 52–55. DOI: 10.24887/00282448-2019-12-52-55
3. Bondarenko V.A. Analysis of the modern beliefs about principle of modeling and calculation of the sorts-collector / V.A. Bondarenko, A.V. Lavrentiev, O.V. Savenok // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2014. – № 2. – P. 34–40.
4. Valishin R.V. Description of the calculation methodology for block 6K. Tools for optimizing production and injection. Production management at current capacities. Hybrid IMA. v.1.3 / R.V. Valishin, A.S. Samolov, M.V. Nakaeva. – 2023.
5. Vakhitov R.N. Technical-economic and geological aspects of forced reduction of oil production / R.N. Vakhitov, E.V. Kolesnik, R.O. Samsonov // Drilling and Oil. – 2020. – No. 9. – P. 47-50.
6. Griguletsky V.G. Flooding of fields – a fundamental issue of the modern Russian oil and gas industry // Oil, gas and business. – 2007. – № 5. – P. 19–28.
7. Hybrid integrated asset model – flexible oilfield management tool / O.V. Zotkin [et al.] // Oil industry. – 2023. – № 4. – P. 86–90. DOI: 10.24887/0028-2448-2023-4-86-90
8. Ivanovskiy V.N. Once again on the energy efficiency of electrically driven vane pumps / V.N. Ivanovskiy, S.A. Karelina // Territory of Neftegaz. – 2022. – № 1–2. – P. 34–38.
9. Lavrentiev A.V. Analysis of the composition and natures of the complications of the mining to oils and gas on terminating stage of the development fields // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2015. – № 1. – P. 47–60.
10. Methods of determining the cause of well bores flooding / V.A. Lushpeev [et al.] // Georesources. – 2013. – № 2(52). – P. 44–47.

11. Nazipov V.T. Automation of an oil field development engineering parameters during its water-flooding calculation with proxy model / V.T. Nazipov, A.A. Mugatabarova // Readings of A.I. Bulatov. – 2022. – Vol. 1. – P. 272–274.
12. Narygin E.I. Experience in conducting multivariate calculations with an automated system for constructing a hydrodynamic model of the field / E.I. Narygin, A.P. Kovalenko, K.B. Kuziv // Oil Gas Exposition. – 2022. – № 5(90). – P. 22–26. DOI: 10.24412/2076-6785-20225-22-26
13. Petrushin E.O. Field studies of inflow to horizontal wells and methods of intensifying oil and gas production / E.O. Petrushin, A.S. Arutyunyan, L.G. Kusova // SEVERGEOECOTECH – 2021: reports of the XXII International youth scientific conference (March 17–19, 2021, Ukhta). – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2021. – P. 476–480.
14. Petrushin E.O. Analysis of the efficiency of oil reserves recovery by directional and horizontal wells at YuV1 production facility of a large oil and gas condensate multi-layer field with a large oil-content level / E.O. Petrushin, A.S. Arutyunyan, A.A. Melnikova // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2025. – № 2(386). – P. 26–34.
15. Petrushin E.O. Development of a method for optimizing wells studies to control the development of an oil and gas condensate field / E.O. Petrushin, A.S. Arutyunyan // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2025. – № 4(388). – P. 52–63.
16. Justification of the applicability of introducing non-stationary fluid withdrawals in the conditions of a carbonate reservoir of the fractured-pore type, complicated by a gas cap and active bottom water / E.O. Petrushin [et al.] // Petroleum Engineer. – 2025. – № 2. – P. 24–31.
17. Rakhmonkulov M.T. Forecast of zones with remaining oil reserves for republishing aliquided wells // Economy and society. – 2023. – № 12-1(115). – P. 1330–1333.
18. Savenok O.V. Analysis of the problems of well productivity decline during their operation at the Ai-Pimskoye field / O.V. Savenok, L.G. Kusova // Breakthrough technologies in exploration, development and production of hydrocarbon raw materials: abstracts of reports of the International scientific and practical conference (November 15–16, 2022, St. Petersburg). – SPb. : St. Petersburg Mining University, 2022. – P. 109.
19. Safiullina E.U. Selection of an economically feasible and technologically optimal scenario for the development of a group of deposits in the Denisovskaya area / E.U. Safiullina, L.G. Kusova // Breakthrough technologies in exploration, development and production of hydrocarbon raw materials: abstracts of reports of the International scientific and practical conference (November 15–16, 2022, St. Petersburg). – SPb. : St. Petersburg Mining University, 2022. – P. 116.
20. Application of optimization algorithms to production management: removing infrastructure constraints / D.D. Sidorenko [et al.] // PRONEFT. Professionally about oil. – 2025. – Vol. 10. – № 1 (35). – P. 90–97. DOI: 10.51890/2587-7399-2025-10-1-90-97
21. Tagirova K.F. Increasing the efficiency of oil production based on the coordination of management of technological processes and objects // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. – 2008. – Vol. 10. – № 2. – P. 48–52.
22. Khalidov I.A. Decommissioning of oil and gas facilities: assessment of liabilities and impact on the financial system / I.A. Khalidov, K.N. Milovidov // Russian Foreign Economic Bulletin. – 2024. – № 8. – P. 74–96. DOI: 10.24412/2072-8042-2024-8 74-96
23. Integrated model using for improving the efficiency of the oil and gas fields operation / E.R. Harasov [et al.] // Oil. Gas. Innovations. – 2022. – No. 5 (258). – P. 6–13.
24. Shabonas A.R. Electric submersible pump operation mode optimization to increase the run-to-failure time // Oil and Gas Business. – 2021. – № 8(632). – P. 30–36. DOI: 10.33285/0207-2351-2021-8(632)-30-36

УДК 622.276

ПРИМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫТЕСНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ ПО ОБЪЕКТУ D_3FMIII+IV НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

♦♦♦♦♦

APPLICATION OF DISPLACEMENT CHARACTERISTICS TO DETERMINE RECOVERABLE OIL RESERVES FOR THE D_3FMIII+IV OIL FIELD OF THE TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE

Петрушин Евгений Олегович
начальник укрупнённого нефтепромысла № 4
ООО «ННК – Северная нефть»
eopetrushin@yahoo.com

Григулецкий Владимир Георгиевич
доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой высшей математики
Кубанский государственный аграрный университет
имени И.Т. Трубилина
gvg-tnc@mail.ru

Аннотация. В статье выполнен обзор методов построения и обработки характеристик вытеснения. Для прогнозирования показателей по объекту D_3fmIII+IV нефтяного месторождения, расположенного в Ненецком автономном округе, выбраны методы Назарова С.Н. - Сипачёва Н.В. (1972), Б.Ф. Сазонова (1972), М.И. Максимова (1959) и А.М. Пирвердяна (1970), т.к. по объекту наблюдается рост обводнённости. Данная группа методов принадлежит к группе зависимостей, характеризующих связь водонефтяного фактора с накопленными отборами пластовых флюидов. В результате при условии достижения обводнённости 98 % по объекту D_3fmIII+IV ожидается накопленная добыча нефти за весь период работы на уровне 8850,7 тыс. тонн в соответствии с методом Назарова С.Н. - Сипачёва Н.В., 8475,1 тыс. тонн в соответствии с методом Б.Ф. Сазонова, 8577,5 тыс. тонн в соответствии с методом М.И. Максимова и 7083,5 тыс. тонн по методу А.М. Пирвердяна.

Ключевые слова: характеристики вытеснения; определение извлекаемых запасов нефти; определение прогнозных значений показателей разработки; прогнозная накопленная добыча нефти; прогнозная накопленная добыча воды; прогнозная накопленная добыча жидкости; результаты обработки характеристик вытеснения.

Petrushin Evgeniy Olegovich
Head of the enlarged oil field № 4
of «NNK – Severnaya neft»
Limited Liability Company
eopetrushin@yahoo.com

Griguletsky Vladimir Georgievich
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Head of the Department
of Higher Mathematics,
Kuban State Agrarian University
named after I.T. Trubilin
gvg-tnc@mail.ru

Annotation. The article provides an overview of methods for constructing and processing displacement characteristics. To predict the indicators for the D_3fmIII+IV object of the oil field located in the Nenets Autonomous Okrug the methods of Nazarov S.N. - Sipachev N.V. (1972), B.F. Sazonov (1972), M.I. Maksimov (1959) and A.M. Pirverdyan (1970), because the object is experiencing an increase in water cut. This group of methods generally belongs to the group of commercial dependencies characterizing the relationship represented by the water-oil factor with the accumulated convenience of reservoir fluid selections. As a result, provided that the water cut reaches 98 % at the D_3fmIII+IV facility, the cumulative oil production for the entire period of operation is expected at the level of 8850.7 thousand tons in accordance with the Nazarov's S.N. – Sipachev's N.V. method, 8475.1 thousand tons in accordance with the Sazonov's B.F. method, 8577.5 thousand tons according to the M.I. Maksimov's method and 7083.5 thousand tons according to the A.M. Pirverdyan's method.

Keywords: displacement characteristics; determination of recoverable oil reserves; determination of projected development indicator values; projected cumulative oil production; projected cumulative water production; projected cumulative liquid production; results of processing displacement characteristics.

Применение характеристик вытеснения

Характеристики вытеснения подразделяются на две большие группы: кривые обводнения и кривые падения. Кривые обводнения являются зависимостью между накопленными отборами нефти, воды и жидкости или зависимости между накопленными отборами и обводнённостью продукции. Кривые обводнения характеризуют про-

цесс обводнения скважин, участка, месторождения и зависимости от накопленной добычи жидкости. Кривые падения – это зависимости между текущей и накопленной добычей нефти от фактора времени. Кривые падения характеризуются изменением добычи нефти во времени.

Старейшими промыслово-статистическими методами являются методы М.И. Максимова, И.Г. Пермякова, А.М. Пирвердяна. Промыслово-статистические методы обладают достаточно высокими погрешностями при определении на ранних стадиях, но они весьма широко используются в различных исследованиях. Рекомендуются в различных руководящих документах в силу простоты.

В силу того, что характеристики вытеснения описывают процессы, протекающие на месторождении со статистической точки зрения, и, следовательно, в силу своих свойств данные методы позволяют осуществлять определение прогнозных значений показателей разработки, таких как:

1) прогноз предельных значений накопленной добычи нефти, когда водонефтяной фактор стремится к бесконечно большому значению (иными словами, можно определить максимально возможные извлекаемые запасы нефти);

2) задаваясь значением балансовых запасов, возможно осуществить нахождение максимально возможного значения коэффициента нефтеизвлечения;

3) прогноз текущих значений накопленной добычи нефти, воды, водонефтяного фактора, задаваясь значением обводнённости продукции. Так, задаваясь значением обводнённости добываемой жидкости $f_в$ = 98 %, получим прогнозное значение реально возможных извлекаемых запасов нефти;

4) задавая значения балансовых запасов, допустимо реализовать нахождение прогнозного значения реально достигаемого коэффициента нефтеизвлечения (КИН).

Кривые вытеснения по методу Назарова С.Н. - Сипачёва Н.В.

Данная группа методов принадлежит к группе зависимостей, характеризующих связь водонефтяного фактора с накопленными отборами пластовых флюидов ($V_н$, $V_в$, $V_ж$).

Различные авторы показывают, что на определённых этапах развития фильтрационного процесса, вызываемого (индуцированного) на объектах разработки, существует возможность описания и прогнозирования дальнейшего развития фильтрационного процесса с помощью представленных моделей.

Данные модели, относящиеся к рассматриваемой группе методов (характеристик вытеснения) представлены в виде основных характеристик вытеснения, заявленных авторами, и в виде характеристик, несколько преобразованных и заявленных другими авторами, которые считают, что в их модификации данные характеристики более адекватны (табл. 1).

При помощи модифицированных характеристик вытеснения параметрические коэффициенты a и b определяются в различных координатах и соответственно результаты аппроксимации различны для одних и тех же данных, но все остальные вычисления производятся одинаково.

Таблица 1 – Основные характеристики вытеснения в 1-ой группе и их аналоги

Основные характеристики вытеснения	Год	Авторы	Аналоги	Год	Авторы
$\frac{V_ж}{V_н} = a \cdot V_в + b$	1972	Назаров С.Н. Сипачёв Н.В.	$\frac{V_в}{V_н} = a \cdot V_в + b$	–	–
$\frac{V_в}{V_н} = a \cdot V_н + b$	1972	Французский нефтяной институт	$\frac{V_ж}{V_н} = a \cdot V_н + b$	–	–
$\frac{V_ж}{V_н} = a \cdot V_ж + b$	1980	Сипачёв Н.В. Пасевич Л.Г.	$\frac{V_в}{V_н} = a \cdot V_ж + b$	1985	Гайсин Д.К. Тимашев Э.М.

Методы данной группы основаны на наличии тесной связи между накопленными отборами нефти, воды и жидкости, выявленной на основе анализа интегральных кривых отборов по ряду залежей.

Методы Назарова С.Н. – Сипачёва Н.В. (1972) и Сипачёва Н.В. - Пасевича Л.Г. (1980) описывают прямую зависимость роста водонефтяного фактора от роста добычи воды с ростом обводнённости добываемой продукции. Чем выше накопленный водонефтяной фактор и стабильнее, и равномернее ведётся разработка объекта, тем актуальнее применение данных методов.

Рассмотрим метод Назарова С.Н. – Сипачёва Н.В., характеристика которого выглядит следующим образом:

$$\frac{V_{ж}}{V_{н}} = a \cdot V_{в} + b\,, \tag{1}$$

где $V_{ж}$ – накопленный отбор жидкости; $V_{н}$ – накопленный отбор нефти; $V_{в}$ – накопленный отбор воды; a и b – коэффициенты линейной аппроксимации.

На основе представленной зависимости строится график фактических накопленных отборов жидкости от накопленных отборов нефти $V_{ж} = f(V_{н})$, по которому определяются коэффициенты a и b.

Извлекаемые запасы нефти для заданного значения нефтенасыщенности $f_{н}$ будут определяться из выражения:

$$V_{н} = \frac{1}{a} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{b \cdot f_{н} - f_{н}}{1 - f_{н}}}\right). \tag{2}$$

Прогнозную накопленную добычу жидкости, которая соответствует значению извлекаемых запасов нефти, можно определить как

$$V_{ж} = \frac{b \cdot V_{н} - a \cdot V_{н}^{2}}{1 - a \cdot V_{н}}\,. \tag{3}$$

Прогнозную накопленную добычу воды, которая соответствует значению активных извлекаемых запасов нефти, можно определить как:

$$V_{в} = \frac{(b-1) \cdot V_{н}}{1 - a \cdot V_{н}}\,. \tag{4}$$

Кривые вытеснения по методу Максимова М.И. и Сазонова Б.Ф.

Данная группа методов хорошо описывает большинство исследуемых объектов. Методы Максимова М.И. (1959) и Сазонова Б.Ф. (1972) очень слабо подвержены влиянию на результаты прогноза различного рода коррекций и изменений в системе разработки. Данные методы возможно применять на более ранних стадиях разработки месторождений при достижении значений отборов нефти от извлекаемых запасов 0,4-0,5.

Однако существуют объекты, описание которых с помощью данных моделей не вполне адекватно. Это относится к объектам, находящимся на поздней стадии разработки при активном проведении работ по коррекции работы месторождения, например, по изоляции водопритоков, бурении боковых стволов, внедрении методов увеличения нефтеотдачи. Также это касается месторождений при характерном изменении режима работы на поздних стадиях разработки.

М.И. Максимовым путём изучения процесса вытеснения нефти водой из модели пласта, представляющего собой трубу, заполненную песком, установлена эмпирическая зависимость накопленной добычи воды от накопленной добычи нефти. Далее по результатам анализа установленной зависимости предложен метод, основанный на наличии тесной связи между накопленной добычей нефти и воды, особенно чётко проявляющейся в конечной стадии разработки нефтяных залежей. По данному методу зависимость $V_{в} = f(V_{н})$ описывается уравнением показательной функции вида:

$$V_{в} = \beta \cdot \alpha^{V_{н}}\,, \tag{5}$$

где α и β – эмпирические коэффициенты.

Данное уравнение зависимости $V_в = f(V_н)$ при переходе к линейному виду представляется зависимостью:

$$\ln V_в = a \cdot V_н + b\,, \tag{6}$$

где $a = \ln \alpha$, $b = \ln \beta$ – эмпирические коэффициенты.

В соответствии с данным методом строится зависимость в полулогарифмических координатах $\mathrm{Y} = \ln V_в$, $\mathrm{X} = \ln V_н$. По построенной зависимости определяется линейный участок, по которому необходимо определить эмпирические коэффициенты *a* и *b*. Для выбранных значений при помощи метода наименьших квадратов определяются коэффициенты линейной аппроксимации *a* и *b*. Автором метода утверждается, что на прямолинейность конечного участка данной характеристики вытеснения не оказывает существенного влияния ни применение на исследуемых объектах форсированного отбора жидкости, ни осуществление закачки воды в пласт. Следовательно, данный метод позволяет осуществлять прогнозы дальнейшей добычи пластовых жидкостей из нефтяных пластов в условиях вытеснения нефти водой.

Рассмотрим метод Максимова М.И. и его возможности более подробно. Извлекаемые запасы нефти для заданного значения $f_н$ будут определяться из выражения:

$$V_н = \frac{1}{a} \cdot \ln\left(1 - \sqrt{\frac{1 - f_н}{f_н \cdot a \cdot e^b}}\right). \tag{7}$$

Прогнозную накопленную добычу воды, которая соответствует значению активных извлекаемых запасов нефти, можно определить как:

$$V_в = e^{a \cdot V_н + b}\,. \tag{8}$$

Прогнозную накопленную добычу жидкости, которая соответствует значению активных извлекаемых запасов нефти, можно определить как:

$$V_{ж} = V_н + e^{a \cdot V_н + b}\,. \tag{9}$$

Метод, предложенный Б.Ф. Сазоновым в 1972 году, основан на предположении наличия тесной связи между накопленной добычей нефти и жидкости, особенно чётко проявляющейся в конечной стадии разработки нефтяных залежей. По данному методу зависимость $V_в = f(V_н)$ описывается уравнением показательной функции вида:

$$V_{ж} = \beta \cdot \alpha^{V_н}\,. \tag{10}$$

Данное уравнение зависимости $V_в = f(V_н)$ при переходе к линейному виду представлено зависимостью:

$$\ln V_{ж} = a \cdot V_н + b\,. \tag{11}$$

Строится зависимость в полулогарифмических координатах $\mathrm{Y} = \ln V_{ж}$, $\mathrm{X} = V_н$. По построенной зависимости определяется интервал, по которому необходимо определить эмпирические коэффициенты a и b. Полученная зависимость стремится к линейному виду на конечном участке, и для определения аппроксимационных коэффициентов выбираются значения, лежащие на конечном участке. Для выбранных значений при помощи метода наименьших квадратов определяются коэффициенты линейной аппроксимации *a* и *b*.

Извлекаемые запасы нефти для заданного значения $f_н$ будут определяться из выражения:

$$V_н = \frac{1}{a} \cdot \ln\left(\frac{1}{f_н \cdot a \cdot e^b}\right). \tag{12}$$

Прогнозную накопленную добычу жидкости, которая соответствует значению активных извлекаемых запасов нефти, можно определить как:

$$V_{ж} = e^{a \cdot V_{н} + b}. \quad (13)$$

Прогнозную накопленную добычу воды, которая соответствует значению активных извлекаемых запасов нефти, можно определить как:

$$V_{в} = e^{a \cdot V_{н} + b} - V_{н}. \quad (14)$$

Методы Максимова М.И. и Сазонова Б.Ф. являются родственными методами. В силу этого области их применения практически совпадают, однако в ряде случаев метод Сазонова Б.Ф. менее подвержен влиянию изменений в системе разработки рассматриваемых объектов.

Методы Максимова М.И. и Сазонова Б.Ф. не асимптотичны, т.е. данные кривые вытеснения не имеют свойства асимптотического приближения к прямой, характеризующей максимально возможные извлекаемые запасы нефти.

Соответственно при помощи данных методов нет возможности определить максимально извлекаемые запасы нефти при бесконечно долгой фильтрации, однако существует возможность нахождения извлекаемых запасов нефти на заданное нефтесодержание или обводнённость продукции скважин, обычно принимаемых 0,02–0,05 доли ед. и 0,95–0,98 доли ед.

При определении значений извлекаемых запасов нефти на заданную обводнённость продукции скважин возможно определение прогнозных отборов воды и жидкости. При помощи данных моделей в явном виде не существует возможности определения извлекаемых запасов нефти, задаваясь значением водонефтяного фактора.

Кривые вытеснения по методу Пирвердяна А.М.

Ряд авторов показывает, что при определённой степени допущений между динамикой накопленных отборов нефти $V_н$ и динамикой накопленных отборов жидкости $V_ж$ имеет место степенная зависимость вида:

$$V_{н} = f \cdot V_{ж} - n. \quad (15)$$

Такое предположение положено в основу целого ряда характеристик вытеснения, основные из которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные и модифицированные характеристики вытеснения

Основные характеристики вытеснения	Год	Автор	Модифицированные характеристики вытеснения
$V_{н} = a + \frac{b}{\sqrt{V_{ж}}}$	1970	Пирвердян А.М.	$V_{н} \cdot \sqrt{V_{ж}} = a \cdot \sqrt{V_{ж}} + b$
$V_{н} = a + \frac{b}{V_{ж}}$	1974	Камбаров Г.С.	$V_{н} \cdot V_{ж} = a \cdot V_{ж} + b$
$V_{н} = a + \frac{b}{V_{ж}^{\lambda}}$	1976	Казаков А.А.	$V_{н} \cdot V_{ж}^{\lambda} = a \cdot V_{ж}^{\lambda} + b$
$V_{н} = a + b \cdot V_{ж}$	–	метод постоянного нефтесодержания	–

При выводе расчётных формул автором метода принято допущение о прямой пропорциональности суммарного расхода жидкости пропластка и его проницаемости. Основная и модифицированная кривые вытеснения характеризуют одну и ту же зависимость, однако при осуществлении аппроксимации данных выражений могут быть получены различные результаты. Это объясняется тем, что операция аппроксимации выявляет не столько прямые закономерности, сколько статистические.

Рассмотрим модель вытеснения Пирвердяна А.М. более подробно. Извлекаемые запасы нефти для заданного предельного значения обводнённости $f_в$ будут определяться из выражения:

$$V_{н} = a - \sqrt[3]{2 \cdot (-b)^2 \cdot (1 - f_{в})}. \quad (16)$$

Прогнозную накопленную добычу жидкости определяем по формуле:

$$V_{ж} = \left(\frac{b}{V_{н} - a} \right)^2 \quad . \tag{17}$$

Прогнозную накопленную добычу воды, которая соответствует значению $V_н$, можно определить как:

$$V_{в} = \left(\frac{b}{V_{н} - a} \right)^2 - V_{н} . \tag{18}$$

Применение характеристик вытеснения по объекту D_3fmIII+IV для определения извлекаемых запасов нефти

Объект D_3fmIII+IV является основным для рассматриваемого нефтяного месторождения и вступил во вторую стадию разработки, поэтому оценку извлекаемых запасов нефти при помощи характеристик вытеснения проведём на нём.

Так как объект характеризуется высоким значением обводнённости, то для прогнозирования извлекаемых запасов воспользуемся методами Назарова - Сипачёва, Сазонова, Максимова и Пирвердяна. Для этого перестроим график показателей работы по объектам в новых координатах в соответствии с каждым из методов (рис. 1–4). Для всех графиков R^2 больше 0,5, что говорит о достоверности подобранных трендовых линий.

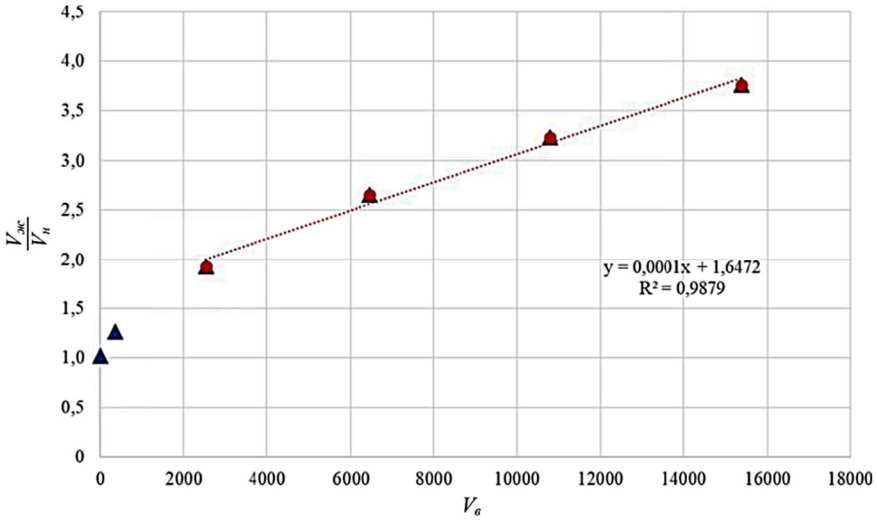


Рисунок 1 – Результат обработки по методу Назарова - Сипачёва

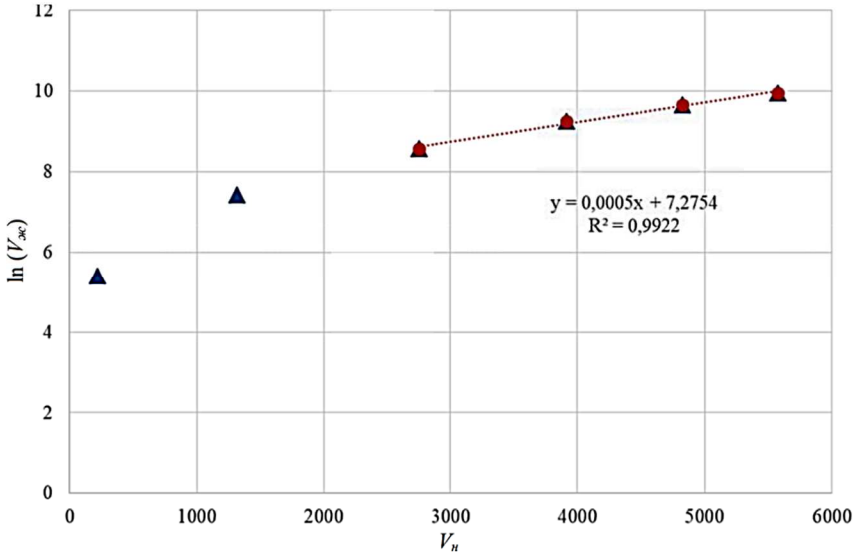


Рисунок 2 – Результат обработки по методу Сазонова

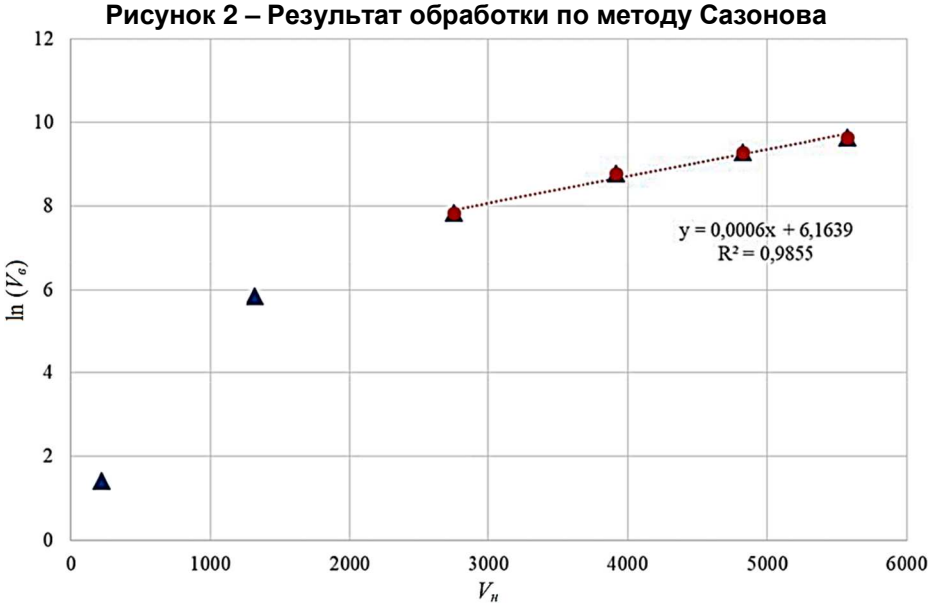


Рисунок 3 – Результат обработки по методу Максимова

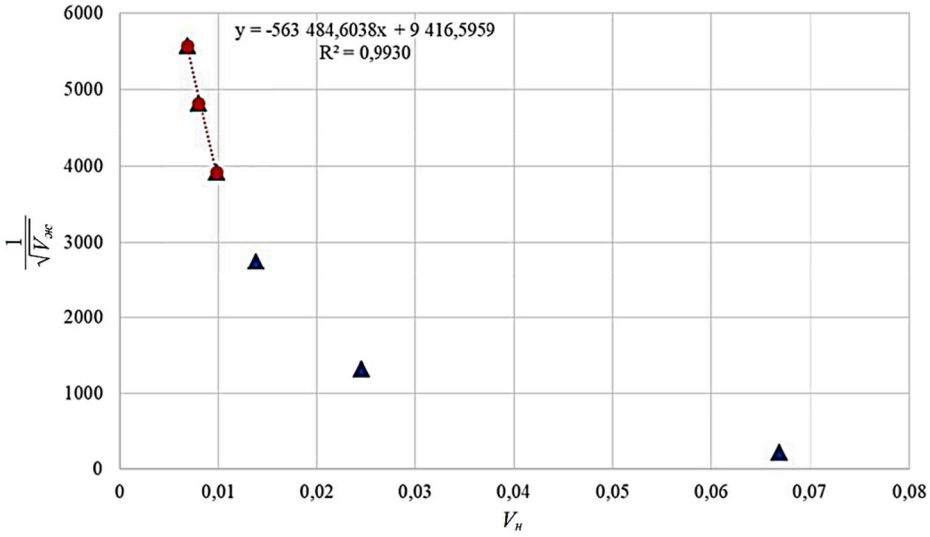


Рисунок 4 – Результат обработки по методу Пирвердяна

Сняв с графиков коэффициенты *a* и *b*, рассчитаем по методам Назарова - Сипачёва, Сазонова, Максимова и Пирвердяна (формулы 2–18) прогнозные значения по накопленным параметрам для каждой скважины, предполагая, что конечная обводнённость составит 98 % (табл. 3, рис. 5).

Таблица 3 – Результаты обработки характеристик вытеснения

Параметр	Метод Назарова - Сипачёва	Метод Сазонова	Метод Максимова	Метод Пирвердяна
a	0,0001	0,0005	0,0006	9416,6
b	1,6472	7,2754	6,1639	–563485,6
Прогнозная накопленная добыча нефти, млн тонн	8,851	8,475	8,578	7,084
Прогнозная накопленная добыча воды, млн тонн	49,842	91,525	81,667	51,245
Прогнозная накопленная добыча жидкости, млн тонн	58,693	100,000	90,244	58,329

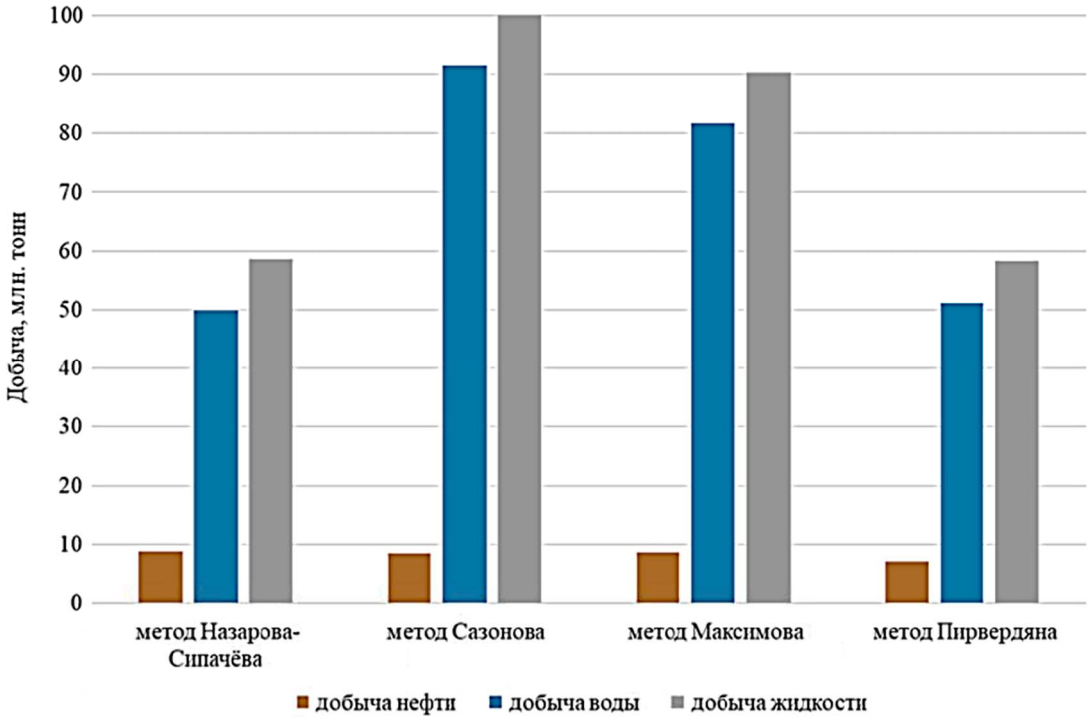


Рисунок 5 – Сравнение применяемых методов

В результате при условии достижения обводнённости 98 % по объекту D3fmIII+IV ожидается накопленная добыча нефти за весь период разработки на уровне 8,851 млн тонн по методу Назарова – Сипачёва, 8,475 млн тонн по методу Сазонова, 8,578 млн тонн по методу Максимова и 7,084 млн. тонн по методу Пирвердяна.

Как видно из рисунка 5, метод Назарова - Сипачёва, метод Сазонова и метод Максимова имеют схожие результаты.

Выводы и рекомендации

В работе представлены краткие теоретические сведения о применении характеристик вытеснения, рассмотрены 4 методики: Назарова - Сипачёва, Сазонова, Максимова и Пирвердяна. По представленным методикам для объекта D_3fmIII+IV спрогнозированы накопленная добыча нефти, накопленная добыча воды и накопленная добыча жидкости.

При достижении обводнённости 98 % накопленная добыча нефти может составить от 7,084 млн до 8,851 млн тонн.

С получением новых показателей разработки объекта рекомендуется провести перерасчёт прогноза для повышения точности.

Литература

1. Гула Е.В. Методика интерпретации скважинных имиджей на примере карбонатных отложений Северо-Хоседаюского месторождения / Е.В. Гула, А.В. Черницкий; Под ред. А.В. Фомкина, С.А. Жданова // Исследование технологий повышения эффективности разработки нефтяных месторождений: сборник научных трудов. – М. : Всероссийский нефтегазовый научно-исследовательский институт, 2018. – С. 113–130.
2. Гусейнова Н.И. Современные представления об объекте, задачах и методах диагностирования пласта при воздействии на него с целью повышения нефтеотдачи // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 2. – С. 151–155.
3. Захарченко Е.И. Применение марковских моделей к анализу разработки нефтегазовых месторождений и оценке дебитов скважин / Е.И. Захарченко, Ю.И. Захарченко // Булатовские чтения : в 2 т. – 2018. – Т. 2. – Ч. 1. – С. 170–172.
4. Иктисанов В.А. Оценка технологической эффективности методов интенсификации добычи нефти и увеличение нефтеотдачи при помощи анализа динамики добычи / В.А. Иктисанов, Р.З. Сахабутдинов // Нефтяное хозяйство. – 2019. – № 5. – С. 72–76. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-5-72-76

5. Ладенко А.А. Анализ динамики показателей разработки и условий эксплуатации скважин на одном из газоконденсатных месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции / А.А. Ладенко, Е.О. Петрушин // Инженер-нефтяник. – 2024. – № 1. – С. 8–21.
6. Ладенко А.А. Повышение эффективности разработки с использованием скважин с многозабойным окончанием на одном из газонефтяных месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2024. – № 5(377). – С. 55–64.
7. Медведский Р.И. Апробация методики прогноза выработки запасов нефти на основе обобщённой характеристики вытеснения / Р.И. Медведский, А.А. Севастьянов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2002. – № 1(31). – С. 37–40.
8. Нешков А.И. Анализ проведения солянокислотной обработки скважин Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения / А.И. Нешков, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2021. – № 2. – С. 172–185.
9. Нешков А.И. Анализ текущего состояния разработки Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения / А.И. Нешков, О.В. Савенок, Л.Г. Кусова // Технические и технологические системы: материалы XIII Международной научной конференции (23–25 ноября 2022 года, г. Краснодар). – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2022. – С. 346–352.
10. Петрушин Е.О. Анализ текущего состояния разработки и эффективности применяемых геолого-технических мероприятий на Южно-Сотчемьюском нефтяном месторождении // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 1. – С. 162–174.
11. Петрушин Е.О. Применение характеристик вытеснения для расчёта прогнозных технологических показателей разработки залежи нефти в карбонатных отложениях задонского горизонта верхнего девона нефтяного месторождения при различных вариантах // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 2. – С. 131–147.
12. Петрушин Е.О. Разработка методики по оптимизации исследований скважин с целью контроля за разработкой нефтегазоконденсатного месторождения / Е.О. Петрушин, А.С. Арутюнян // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2025. – № 4 (388). – С. 52–63.
13. Петрушин Е.О. Обзор существующих причин обводнения нефтедобывающих скважин и методов борьбы с избыточными водопритоками / Е.О. Петрушин, В.Г. Григулецкий // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2025. – № 1. – С. 188–210.
14. Петрушин Е.О. Анализ эффективности применения методов повышения нефтеотдачи пластов на нефтяном месторождении со сложным геологическим строением / Е.О. Петрушин, В.Г. Григулецкий // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 1. – С. 213–224.
15. Савенок О.В. Анализ причин снижения нефтеотдачи на Западно-Хоседаюском месторождении и рекомендации для внедрения геолого-технических мероприятий / О.В. Савенок, Е.У. Сафиуллина, Л.Г. Кусова // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 290–298.
16. Савенок О.В. Анализ технико-экономической эффективности вариантов разработки Мичаюского месторождения / О.В. Савенок, Е.У. Сафиуллина, Л.Г. Кусова // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 299–310.
17. Использование фильтрационной модели карбонатного коллектора для повышения показателей разработки Северо-Хоседаюского нефтяного месторождения / Г.В. Сансиев [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 8. – С. 27–29.
18. Фаттахов И.Г. Расчёт эффективности применения солянокислотной обработки по характеристикам вытеснения / И.Г. Фаттахов, Д.В. Новосёлова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-6. – С. 1186–1190.
19. Хайитов О.Г. Обоснование конечной нефтеотдачи пластов методом многофакторного регрессионного анализа // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 1. – С. 189–192.
20. Шапков Е.Н. Прогнозирование показателей разработки Полевого нефтяного месторождения на основе анализа методов обобщённых характеристик вытеснения / Е.Н. Шапков, О.В. Савенок // Наука и техника в газовой промышленности. – 2021. – № 1(85). – С. 22–48.

References

1. Gula E.V. Methodology for interpreting well images using the example of carbonate deposits of the North-Khosedayuskoye field / E.V. Gula, A.V. Chernitsky; Edited by A.V. Fomkin, S.A. Zhdanov // Study of technologies for improving the efficiency of oil field development: collection of scientific papers. – M. : All-Russian Oil and Gas Research Institute, 2018. – P. 113–130.
2. Huseynova N.I. Modern ideas about the object, tasks and diagnostic methods of a reservoir during simulation in order to increase oil recovery // Readings of A.I. Bulatov. – 2020. – Vol. 2. – P. 151–155.

3. Zakharchenko E.I. Application of Markov models to the analysis of development oil and gas fields and assessment of outputs of wells / E.I. Zakharchenko, Yu.I. Zakharchenko // Readings of A.I. Bulatov : in 2 parts. – Vol. 2. – Part 1. – P. 170–172.
4. Iktissanov V.A. Evaluation of effectiveness of EOR and bottomhole treatment technologies using rate transient analysis / V.A. Iktissanov, R.Z. Sakhabutdinov // Oil Industry. – 2019. – № 5. – P. 72–76. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-5-72-76
5. Ladenko A.A. Analysis of the dynamics of development indicators and operating conditions of wells in one of the gas condensate fields of the Timan-Pechora oil and gas province / A.A. Ladenko, E.O. Petrushin // Petroleum engineer. – 2024. – № 1. – P. 8–21.
6. Ladenko A.A. The deposits development efficiency increase by using multilateral wells at one of the gasoil fields of Timan-Pechorsky oil and gas province // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2024. – № 5(377). – P. 55–64.
7. Medvedsky R.I. Testing the methodology for forecasting oil reserve development based on the generalized displacement characteristics / R.I. Medvedsky, A.A. Sevastyanov // News of Higher Educational Institutions. Oil and Gas. – 2002. – № 1(31). – P. 37–40.
8. Neshkov A.I. Analysis of carrying out hydrochloric acid treatment of wells of the North-Khosedayuskoye oil field / A.I. Neshkov, O.V. Savenok // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2021. – № 2. – P. 172–185.
9. Neshkov A.I. Analysis of the current state of development of the North-Khosedayuskoye oil field / A.I. Neshkov, O.V. Savenok, L.G. Kusova // Technical and technological systems: materials of the XIII International scientific conference (November 23–25, 2022, Krasnodar). – Krasnodar : «Publishing House – South», 2022. – P. 346–352.
10. Petrushin E.O. Analysis of the current state of development and the efficiency of the applied geological and technical measures on the Yuzhno-Sotchemyuskoe oil field // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2024. – № 1. – P. 162–174.
11. Petrushin E.O. Application of displacement characteristics to calculate predictive technological indicators of oil reservoir development in carbonate deposits of the Zadonsk horizon of the upper devonian oil field under various options // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2024. – № 2. – P. 131–147.
12. Petrushin E.O. Development of a method for optimizing wells studies to control the development of an oil and gas condensate field / E.O. Petrushin, A.S. Arutyunyan // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2025. – № 4(388). – P. 52–63.
13. Petrushin E.O. Review of the existing causes of watering of oil-producing wells and methods of combatting excess water inflows / E.O. Petrushin, V.G. Griguletsky // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2025. – № 1. – P. 188–210.
14. Petrushin E.O. Analysis of the efficiency of applying methods of increasing oil recovery at an oil field with a complex geological structure / E.O. Petrushin, V.G. Griguletsky // Readings of A.I. Bulatov. – 2025. – Vol. 1. – P. 213–224.
15. Savenok O.V. Analysis of the reasons for the decline in oil recovery on the Zapadno-Khosedayuskoye field and recommendations for the implementation of geological and technical measures / O.V. Savenok, E.U. Safiullina, L.G. Kusova // Readings of A.I. Bulatov. – 2022. – Vol. 1. – P. 290–298.
16. Savenok O.V. Analysis of the technical and economic efficiency of options for the development of the Michayuskoye field / O.V. Savenok, E.U. Safiullina, L.G. Kusova // Readings of A.I. Bulatov. – 2022. – Vol. 1. – P. 299–310.
17. Use of carbonate reservoir filtration model to increase the development parameter of the North-Khosedayuskoye oil field / G.V. Sansiyev [et al.] // Oil Industry. – 2013. – № 8. – P. 27–29.
18. Fattakhov I.G. Calculation of the efficiency of hydrochloric acid treatment on the characteristics of extrusion / I.G. Fattakhov, D.V. Novoselova // Fundamental research. – 2014. – № 12-6. – P. 1186–1190.
19. Hayitov O.G. Final oil recovery justification multivariate regression analysis // Readings of A.I. Bulatov. – 2020. – Vol. 1. – P. 189–192.
20. Shapkov E.N. Forecasting the development indicators of the Polevoye oil field based on the analysis of generalized displacement characteristics methods / E.N. Shapkov, O.V. Savenok // Science and technology in the gas industry. – 2021. – № 1(85). – P. 22–48.

УДК 622.276

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ МЕЗОЗОЙСКОЙ ЗАЛЕЖИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ Ю. КОРЧАГИНА И ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА

♦♦♦♦♦

STUDY OF THE CURRENT STATE OF OIL RECOVERY OF THE MESOZOIC RESERVOIR OF THE YU. KORCHAGIN FIELD AND GEOLOGICAL AND TECHNICAL MEASURES TO MAINTAIN OIL AND GAS PRODUCTION

Степанов Р.И.
аспирант кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений,
Институт нефти и газа, СФУ
rusya.stepanov.2017@bk.ru

Аннотация. Продуктивные пласты мезозоя приурочены к юрско-меловым продуктивным отложениям. В составе которых выделяются средне и верхнеюрские залежи, а также нижне и верхнемеловые. Состав исследуемых залежей преимущественно терригенный порового типа, представленный песчаниками, мергелями, алевролитами и глинистыми породами. К рассматриваемым залежам приурочена основная доля запасов месторождения. Для их разработки требуется применение современных способов воздействия на призабойную зону, для поддержания уровней добычи углеводородов.

Ключевые слова: Юрско-меловые отложения, терригенный коллектор, залежь, нефтеотдача, месторождение им. Ю. Корчагина, геолого-технические мероприятия.

Stepanov R.I.
Postgraduate Student
of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields,
Institute of Oil and Gas, SFU
rusya.stepanov.2017@bk.ru

Annotation. Productive Mesozoic strata are confined to Jurassic-Cretaceous productive deposits. In their composition, Middle and Upper Jurassic deposits, as well as Lower and Upper Cretaceous ones, are distinguished. The composition of the studied deposits is predominantly terrigenous porous type, represented by sandstones, marls, siltstones and clay rocks. The bulk of the field reserves is confined to the considered deposits. Their development requires the use of modern methods of influencing the bottomhole zone to maintain hydrocarbon production levels.

Keywords: Jurassic-Cretaceous deposits, terrigenous reservoir, deposit, oil recovery, Yu. Korchagin field, geological and technical measures.

Юрские отложения подразделяются на верхний и нижний отдел. Средний отдел представлен байосским, батским и келовейским ярусом. Они сложены терригенными породами, с наличием слоев песчано-алевролитовых и глинистых пород. Региональной покрышкой служат алевритисто-глинистые пачки, залегающие в нижней части оксфордского яруса. Верхний отдел представлен оксфордскими кимериджскими и волжскими отложениями, с наличием слабо выраженного несогласия. В составе он имеет включения известковистых глин, мергелей и частично карбонатных пород, представленных известняково-доломитистыми разностями. Меловые отложения представлены нижним и верхним отделом [1]. Нижний отдел сложен терригенными породами, с чередованием песчаников, алевролитов, известняков и глинистых прослоев разной толщины. Также в составе имеются песчаники и алевролиты. Нефтегазоносная залежь, выявленная в неокоме приурочена к песчаникам готеривско-барремского возраста, с переслаиванием глин и алевролитов. Нижнемеловые отложения представлены неокомовским готеривском, барремском, аптском и альбским ярусом. В составе имеются мелкозернистые песчаники, с преобладанием алевролитов. Верхнемеловые отложения представлены сеноманским, туронским + коньякским ярусом, кампанским и маастрихтсим ярусом. Отдел представлен пачками глинисто-известковистых пород, с наличием слабо выраженного несогласия. Залежи мелового периода приурочены к неокомовскому возрасту.

Промышленная нефтегазоносность была выявлена в мезозойско-кайнозойском комплексе пород. В пределах продуктивного мезозоя выявлены газоконденсатные залежи в альбском и аптском ярусе нижнего мела средеюрского возраста, нефтегазоконденсатные в неокомовском надъярусе нижнего мела и в волжском ярусе верхней юры.

Мезозойские залежи пластово-сводовые, порового типа коллектора, с наличием многочисленных разрывных нарушений. Фильтрационно-емкостные свойства характеризуются следующими значениями: Толщина залежей по материалам ГИС составляет 2,8 м, эффективная газонасыщенная толщина 3,9 м, коэффициенты пористости по данным исследования керна составляет 0,32 д.ед, коэффициент газонасыщенности в среднем составляет 0,37 д.ед, коэффициент песчанистости составляет 0,94 д.ед.

Основной разрабатываемой залежью на месторождении им Ю. Корчагина является неокомовская, которая приурочена к мезозойскому возрасту. Она введена в полномасштабную разработку в 2011 году [2]. Разбуривание осуществляется применением скважин с горизонтальным окончанием стволов. При разработке применяются противопесочные фильтры. В пределах залежи неокомовского возраста пробурено 9 скважин, из которых 7 добывающих, 2 нагнетательных. Скважины эксплуатируются преимущественно фонтанным способом. В настоящее время идет активное внедрение механизированной добычи, с применением электроцентробежных насосов. Залежь разрабатывается смешанным режимом за счет возникновения энергии газовой шапки, упруговодонапорного режима и частичного поддержания плас-тового давления. Пластовое давление поддерживается закачкой добываемого газа как растворенного, так прорывного в газовую шапку. Однако в процессе эксплуатации специалисты нефтяники сталкиваются со сложностями в добыче нефти и газа, среди которых следует выделить:

– Сложное геологическое строение месторождения, наличие в составе продуктивного резервуара поровой составляющей. Неоднородность геологического строения;

– Наличие прорывов газа газовой шапки, уверенно выделяемым по материалам ПГИС и ГДИ, что способствует росту общего газового фактора залежи;

– Неконтролируемый рост обводненности добываемой продукции. Причиной тому является тесная гидродинамическая связь между нефтенасыщенной и водоносной областями. По данным ПГИ установлено, что отсутствуют в интервале залегания пласта подошвенные воды. В пределах исследуемой залежи непроницаемые прослои выделяются со слабыми экранирующими свойствами и могут иметь зоны повышенной проводимости, которые связаны с наличием разуплотнения пород и трещинной составляющей. В целом по рассматриваемой залежи наблюдается снижения дебитов добываемой продукции, что связано с ростом интенсивного обводнения добываемой продукции и повышения газового фактора. Для разработки месторождения им Ю. Корчагина, требуется применение современных геолого-технических мероприятий, для увеличения проницаемости призабойной зоны, снижения обводненности продукции и повышения работы добывающего и нагнетательного фонда скважин.

Применение мероприятий по интенсификации добычи неокомовской залежи

Залежь, исследуемая в работе, находится в разработке более 10 лет. В настоящее время наблюдается интенсивное снижение величины пластового давления. Разработка залежи с обширной подгазовой зоной, предусматривает наличие подстилающих подошвенных вод и притоков пластовой воды. Для решения данной задачи и минимизации рисков проводится строительство боковых стволов и бурение горизонтальных скважин, что будет препятствовать прорыву газа в газовую шапку и подтягивание пластовой воды к забою скважин.

Применение щадящих технологий вторичного вскрытия продуктивных пластов [3]. Как известно при проведении прострелочно-взрывных работ наблюдаются негативные последствия применения как стандартной кумулятивной перфорации скважин, торпедной перфорации, а также пулевой перфорации. Методики, которые в настоящее время являются малоэффективными, по причине нарушения качества цементирования обсадных и эксплуатационных колонн, образованию заколонных перетоков, что ведет к росту обводнения и поступлению нежелательных вод в ствол скважины. Методы стреляющей перфорации не всегда позволяют получить достаточно качественные каналы перфорации, для сообщения пласта со скважиной. Тем самым происходит улучшение

гидродинамической связи системы пласт-скважина. Для решения данной задачи на месторождении им. Ю. Корчагина проводятся работы по вторичному вскрытию пласта применением гидромеханической щелевой и гидропескоструйной перфорации, что позволяет минимизировать негативное влияние на цементирование колонн, препятствовать образованию перетоков и получать достаточно чистые каналы перфорации, без поступления нежелательной продукции в поры призабойной зоны пласта.

Применение стационарной системы освоения скважин. Поскольку при операции вызова притока из продуктивного пласта кроме снижения давления на забой скважины, необходимо проводить очистку от грязи, песка гидратных пробок и продуктов бурового раствора, с целью максимального снижения фильтрационных сопротивлений в призабойной зоне. Для восстановления проницаемости призабойной зоны требуется применение методов увеличения нефтеотдачи, которые основаны на кислотном воздействии на продуктивный пласт, а именно физико-химические методы (соляно-кислотная обработка, соляно-кислотная ванна, термокислотная обработка, кислотный гидроразрыв пласта, кислотное туннелирование) [4]. Это позволяет увеличивать дебит добывающих скважин и приемистость нагнетательных скважин, что позволяет выполнять поставленные планы по добыче нефти и газа. Выбор применяемого способа обработки призабойной зоны зависит от литолого-минералогического строения продуктивного резервуара, технического состояния ПЗП и характера насыщения залежи.

Поскольку геологический разрез месторождения является сложным и неоднородным, для улучшения гидродинамической связи системы пласт-скважина применяются современные методы геофизических, гидродинамических и трассерных исследований, для оценки состава и интенсивности притока в скважине, что позволяет оперативно вести контроль разработки столь уникального по геологическому строению месторождения. Также современные методики скважинных исследований применяются для оценки технического состояния внутрискважинного оборудования, оценки качества цементирования обсадных и эксплуатационных колонн, выравнивания профиля приемистости профиля притока, обнаружении заколонных перетоков [5]. Для борьбы с прорывом газа к забою добывающих скважин, применяется метод регулирования отборов – перевод скважин на режим с меньшим штуцером или же временное отключение скважин.

Таким образом в представленной работе автором было охарактеризовано текущее состояние разработки месторождения им Ю. Корчагина. Установлено, что основными факторами, которые осложняют разработку месторождения является прорыв газа в газовую шапку, рост обводненности продукции, что негативным образом сказывается на параметрах разработки. Для контроля разработки должны применяться современные комплексы исследований скважин и способов интенсификации добычи, для разработки сложных и неоднородных по геологическому строению залежей.

Литература

1. Машков, Б.А. Закономерности размещения залежей углеводородов в Прикаспийской впадине / Б.А. Машков, Д.В. Арцыбасова, В.А. Шевяков // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2024. – № 4. – С. 5–12.
2. Технология мониторинга интервалов прорыва газа и воды с помощью хроматодесорбционных систем: результаты проведения ОПР на месторождении им. Ю.А. Корчагина / С.Ю. Штунь [и др.] // Нефть Газ Новации. – № 4. – С. 58–64.
3. Мусин М.М. Разработка нефтяных месторождений : учеб. пособие / М.М. Мусин, А.А. Липаев, Р.С. Хисамов; Под ред. проф. А.А. Липаева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 328 с.
4. Филин В.В. Разработка нефтяных и газовых месторождений : учеб. пособие. – Тюмень : ТюмГНГУ. 2012. – 206 с.
5. Фанчи Д.Р. Интегрированный подход к моделированию фильтрационных потоков. – М.; Ижевск : Ижевский институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2010. –256 с.

References

1. Mashkov B.A. Regularities of Hydrocarbon Deposits Location in the Caspian Depression/B.A. Mashkov, D.V. Artsybasova, V.A. Shevyakov // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. – 2024. – № 4. – P. 5–12.
2. Technology of Monitoring Gas and Water Breakthrough Intervals Using Chromatographic Desorption Systems: Results of the Pilot Work at the Yu.A. Korchagin Field / S.Yu. Shtun [et al.] // Oil Gas Innovations. – № 4. – P. 58–64.
3. Musin M.M. Oil field development: a tutorial / M.M. Musin, A.A. Lipaev, R.S. Khisamov; Ed. by prof. A.A. Lipaev. – 3rd ed., revised and enlarged. – M.; Vologda : Infra-Engineering, 2024. – 328 p.
4. Filin V.V. Oil and gas field development : tutorial. – Tyumen : TyumGNGU. 2012. – 206 p.
5. Fanchi D.R. Integrated approach to modeling filtration flows. – M.; Izhevsk : Izhevsk Institute of Computer Research, Research Center «Regular and Chaotic Dynamics», 2010. – 256 p.

УДК 528

АЭРОФОТОСНИМОК И ОРТОФОТОСНИМОК. СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ И РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ НИМИ

♦♦♦♦♦

AERIAL PHOTOGRAPH AND ORTHOPHOTOGRAPH. SPHERES OF APPLICATION AND DIFFERENCES BETWEEN THEM

Степанова Оксана Андреевна
Кубанский государственный технологический университет
os298258@gmail.com

Вартаваньян Арам Арамович
Кубанский государственный технологический университет
aram.vartavanyan@mail.ru

Магомедов Шамиль Мухтарович
Кубанский государственный технологический университет
magomedovsh4m@yandex.ru

Тихонов Тимофей Андреевич
лаборант-исследователь,
Кубанский государственный технологический университет
timka2015@yandex.ru

Олейникова Лилия Альбертовна
старший преподаватель кафедры,
Кубанский государственный технологический университет
oleynikova.li@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются понятия «аэрофотосъемка» и «ортофотосъемка», способы применения, ключевые моменты в использовании полученных снимков. Основное внимание уделяется их развитию в различных сферах применения и разнице между ними. Исходя из этого, предполагается расширение возможностей их использования.

Ключевые слова: ортофотосъемка, ортофотоплан, масштаб, мониторинг, кадастровая деятельность, геодезия.

Stepanova Oksana Andreevna
Kuban State Technological University
os298258@gmail.com

Vartavanyan Aram Aramovich
Kuban State Technological University
aram.vartavanyan@mail.ru

Magomedov Shamil Mukhtarovich
Kuban State Technological University
magomedovsh4m@yandex.ru

Tikhonov Timofey Andreevich
Research Assistant,
Kuban State Technological University
timka2015@yandex.ru

Gribkova Irina Sergeevna
Senior Lecturer of the Department,
Kuban State Technological University
oleynikova.li@mail.ru

Annotation. The article discusses the concepts of «aerial photography» and «orthophotography», methods of application, key points in the use of the obtained pictures. The main focus is on their development in various fields of application and the differences between them. Based on this, it is expected that their use will be expanded.

Keywords: orthophoto, orthophoto plan, scale, monitoring, cadastral activities, geodesy.

В настоящее время геодезия продвинулась намного вперед в измерении объектов и земельных участков [1]. Для этого используются различные современные приборы, например: тахеометры, теодолиты, фотограмметрические камеры [2]. Способов представления планов поверхности земли на электронных носителях и картах, становится в разы больше за счет открытий в научной сфере [3]. Большинство приборов, таких, как аэрофотоаппараты и сканеры, для анализа текущего состояния территории с использованием снимков помогают экономить время, деньги и силы, осуществлять мониторинг объектов и ускоряют процесс проведения работ [4, 5].

В данной статье рассмотрены несколько методов для получения качественных результатов исследований. Они включают в себя аэрофотоснимки и ортофотоснимки.

Аэрофотоснимок – это изображение местности, полученное с помощью аэрофотосъемки, сделанное с вертолёта или другого летательного аппарата, непосредственно над земной поверхностью.

В России геодезисты начали применять аэрофотосъёмку в мае 1886 года. Первый снимок сделан в Петербурге поручиком А.Н. Кованько, с воздушного шара на высоте около 800 м [6].

Способы аэрофотосъёмки.

Плановая или перспективная аэрофотосъемка делается при съемке определенной местности, для этого оптическая ось объектива аэрофотоаппарата должна за-

нимать вертикальное или наклонное положение. Однако, это не единственные способы аэрофотосъемки, также применяют, панорамную съемку объектов, которая используется при фотографировании на цилиндрическую поверхность вращающимся объектом [7].

Здесь же возможно выполнение маршрутных или площадных способов аэросъемок, характеризующихся одиночными аэрофотоснимками и помощью в воспроизведении фотографирования по определенному направлению или по площади.

Благодаря своей способности снимать значительные площади одновременно, аэрофотосъемка позволяет получить представление полной картины местности, оценке состояния земель в различных масштабах и выявления их изменений.

Из плюсов использования данной технологии, еще можно отметить такие, как: разнообразие перспектив, которое открывает возможности для установления различных планов на ландшафты, предметы эксплуатации и обеспечение точной детализации полученных изображений, что помогает увидеть на них самые мелкие детали и особенности рельефа, свойственные территориям.

Аэрофотосъемка улучшает качество проведения работ во многих сферах, например:

– сельском хозяйстве – мониторинг состояния посевов и почв, оценка урожайности, контроль за ирригацией и удобрениями;

– геодезии – проводятся изыскания, помогающие определить местоположение будущего объекта с учетом особенностей рельефа, составляются ортофотопланы;

– строительной отрасли – позволяет осуществлять контроль за качеством работ, необходимом при проектировании объектов капитального строительства [8];

– картография и топогорафия – обновление топографических данных;

– градостроительство и архитектура – создаются топографические карты и планы, определяется расположение объектов и инфраструктуры;

– экология и природопользование – изучение изменений в природной среде и выявление шаблонов в распределении ресурсов.

С помощью аэрофотосъемки специалисты получают базовые измерения и исходные данные, которые необходимы для подготовки проектной документации.

Также данные, полученные в ходе аэрофотосъемки, предоставляются для получения ортофотопланов в разных форматах, предшествует камеральному дешифрированию, и создаются цифровые топографические планы, взятые за основу проведения кадастровых работ [9].

Аэрофотоснимки достаточно похожи в работе с ортофоснимками. Они кажутся с трудом различимыми, с чем согласятся далеко не все специалисты.

Ортофотоснимок – это топографический фотоснимок, полученный в результате внесенных корректировок. Обычно на ортофотоснимке изображается поверхность Земли, исправленная с учетом всех деформаций топографического рельефа и искажений камеры.

Съемка объектов этим способом выполняется с различного оборудования:

– Съемка с квадрокоптера – позволяет получить высокоточные снимки с малого расстояния и имеют такое преимущество, как точная привязка к определенной системе координат на местности;

– Съемка с самолета – дает возможность снять изображение обширной территории, при этом угол отклонения будет не выше одного градуса;

– Съемка со спутника – данные со спутников можно получить достаточно быстро, не дожидаясь, когда он пройдет над определенной территорией. Однако, хоть снимков получится несколько и с хорошей цветокоррекцией, они получатся совершенно бесшовными, не имеющими границ выбранного участка [10].

Данные, полученные с ортофотоснимков проходят несколько этапов обработки. Эти этапы включают в себя:

– выравнивание снимков;

– построение ортофотопланов;

– корректировка яркости и контрастности снимка.

Отличие между аэрофотосъемкой и ортофотосъемкой едва заметно, но при детальном изучении становятся достаточно очевидным.

В первую очередь аэрофотосъемка дает перспективные изображения, а ортофотосъемка помогает в создании ортофотопланов, корректирующих искажения земельных участков. Аэрофотосъемка подходит для съемки больших территорий, но ее данные менее детализированы на небольших участках местности. Аэрофотоснимок может быть искажен из-за угла съемки и рельефа. Ортофотоснимок, в свою очередь, корректирует все искажения, дает детальную картинку местности – на таком снимке каждая точка соответствует своему действительному расположению на земле, что делает его более точным и детализированным для использования в различных сферах.

Главным различием является точность и возможности применения. Ортофотоснимки применяются для более корректных измерений и анализа, аэрофотоснимки же используют для общего представления местности.

Так же отмечают перспективы использования аэрофотосъемки и ортофотосъемки, в которых наблюдаются очевидные различия.

Аэрофотосъемка тесно связана с:

– потребностью в мониторинге сельского хозяйства для оценки урожайности;
– использованием для изучения ландшафта и экосистем в экологии;
– планированием и инспекцией объектов в строительстве.

Ортофотосъемка находит свою значимость в таких направлениях, как:

– создание карт и проектов территориального планирования;
– анализ пространственных данных;
– мониторинг изменений в инфраструктуре.

Таким образом, специалисты продолжают расширять возможности аэрофотосъемки и ортофотосъемки, что значительно облегчает выполнение некоторых задач в различных сферах применения.

Литература

1. Шолохов А.В. Определение параметров ориентации плоских элементов конструкций по результатам измерений прямоугольных пространственных координат точек / А.В. Шолохов, А.Ю. Махаев, О.С. Никипоронок // Журнал «Геодезия и Картография». – 2025. – № 5. – С. 2–8.
2. Геодезические приборы и технологии при строительстве автомобильных дорог / И.С. Грибкова [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 128–132.
3. Корнейчук А.И. Территориальный план развития как виртуальная реальность / А.И. Корнейчук, В.И. Семенов // Журнал «Геодезия и Картография». – 2017. – №10. – С. 40–49.
4. Кравченко Э.В. Мониторинг состояния городской среды для целей размещения и строительства объектов недвижимости / Э.В. Кравченко, З.Н. Сташ // В сборнике: Девелопмент и инновации в строительстве. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. – 2020. – № 6. – С. 774–781.
5. Гордеев В.А. Исследование точности определения горизонтальных смещений при геодезическом мониторинге зданий и сооружений / В.А. Гордеев, Г.Г. Шевченко // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2022. – № 4. – С. 21–31.
6. Кравцова В.И. Картографирование ландшафтно-морфологической структуры восточного Бугазского участка Анапской пересыпи по материалам цифровой аэрофотосъемки / В.И. Кравцова, Е.Р. Чалова // Журнал «Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка». – М. : Изд-во Моск. ун-та геодезии и картографии, 2018. – № 3. – С. 303–31.
7. Бабашкин Н.М. Состояние и перспективы развития топографической аэросъёмки / Н.М. Бабашкин, С.С. Нехин // Журнал «Геодезия и Картография». – 2015. – № Спецвыпуск. – С. 107–110.
8. Анализ современного состояния улично-дорожной сети на примере города Краснодар / А.В. Осенняя [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 2. – С. 66–69.
9. Гура Д.А. Создание 3D кадастра объекта недвижимости для постановки на кадастровый учёт на примере железнодорожного вокзала Адлерского района г. Сочи / Д.А. Гура, Т.Э. Алкачев // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 11. –С. 362–369. – 222 с.
10. Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2015. – № 11. – С. 362–369; Мониторинг изменений местности по разновременным аэрокосмическим изображениям с применением технологий глубокого обучения нейронных сетей / В.Г. Иванов [и др.] // Журнал «Геодезия и Картография». – 2025. – № 5. – С. 39–46.

References

1. Sholokhov A.V. Determination of orientation parameters of flat structural elements based on measurements of rectangular spatial coordinates of points / A.V. Sholokhov, A.Yu. Makhaev, O.S. Nikiporonok // In the journal Geodesy and Cartography. – 2025. – № 5. – P. 2–8.
2. Geodesic devices and technologies in the construction of highways / I.S. Gribkova [et al.] // Science. Technic.Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2016. – № 2. – P. 128–132.
3. Korneychuk A.I. Territorial development plan as a virtual reality / A.I. Korneychuk, V.I. Semenov // Journal «Geodesy and Cartography». – 2017. – № 10. – P. 40–49.
4. Kravchenko E.V. Monitoring the state of the urban environment for the purposes of housing and construction of real estate / E.V. Kravchenko, Z.N. Stash // In the collection: Development and innovations in construction. Collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference. – 2020. – № 6. – P. 774–781.
5. Gordeev V.A. Investigation of the accuracy of determining horizontal displacements during geodetic monitoring of buildings and structures / V.A. Gordeev, G.G. Shevchenko // The electronic network political journal «Scientific works of KubSTU». – 2022. – № 4. – P. 21–31.
6. Kravtsova V.I. Mapping the landscape and morphological structure of the eastern Bugaz site of the Anapa embankment based on digital aerial photography / V.I. Kravtsova, E.R. Chalova // Journal Izvestia of Higher Educational Institutions. Geodesy and Aerial Photography. – M. : Moscow Publishing House. University of Geodesy and Cartography, 2018. – № 3. – P. 303–31.
7. Babashkin N.M. The state and prospects of topographic aerial photography development / N.M. Babashkin, S.S. Nekhin // In the journal Geodesy and Cartography. – 2015. – № Special issue. – P. 107–110.
8. Analysis of the current state of the road network on the example of the city of Krasnodar / A.V. Osennaya [et al.] // Science. Technic.Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 2. – P. 66–69.
9. Gura D.A. Creation of a 3D cadastre of a real estate object for cadastral registration on the example of the railway station of the Adler district of Sochi / D.A. Gura, T.E. Alkachev // Electronic network political journal «Scientific works of KubSTU». – 2015. – № 11. – P. 362–369. – 222 p.
10. Electronic network political journal «Scientific works of KubSTU». – 2015. – № 11. – P. 362–369; Monitoring of terrain changes based on multi-time aerospace images using deep learning technologies and neural networks / V.G. Ivanov [et al.] // In the journal Geodesy and Cartography. – 2025. – № 5. – P. 39–46.

УДК 622.24.063

К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВЯЗКОСТИ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ В СКВАЖИННЫХ УСЛОВИЯХ

♦♦♦♦♦

ON THE QUESTION OF PREDICTING THE VISCOSITY OF DRILLING FLUID IN BOREHOLE CONDITIONS

Тихонов Евгений Владимирович
технический директор отдела буровых растворов
ООО «БУРСЕРВИС»
evgeny.tikhonovv@yandex.ru

Аннотация. В статье предложен расчётный метод прогнозирования вязкости раствора в скважинных условиях, который имеет исключительное значение для проектирования и применения оптимальных составов и свойств буровых растворов при бурении высокотемпературных, сильно искривлённых и горизонтальных скважин, а также растворов для качественного вскрытия продуктивных пластов.

Ключевые слова: реологические показатели буровых растворов; фильтрационные показатели буровых растворов; проектирование технологии приготовления буровых растворов; управление свойствами буровых растворов; влияние температуры на пластическую вязкость; метод прогнозирования вязкости раствора в скважинных условиях.

Tikhonov Evgeny Vladimirovich
Technical Director
of the Drilling Fluids Department
of «BURSERVICE» LLC
evgeny.tikhonovv@yandex.ru

Annotation. The article proposes a calculation method for predicting the viscosity of a solution under downhole conditions, which is of exceptional importance for the design and application of optimal compositions and properties of drilling fluids when drilling high-temperature, highly deviated and horizontal wells, as well as solutions for high-quality opening of productive formations.

Keywords: rheological properties of drilling fluids; filtration properties of drilling fluids; design of drilling fluid preparation technology; managing drilling fluid properties; effect of temperature on plastic viscosity; method for predicting fluid viscosity under downhole conditions.

Реологические и фильтрационные показатели буровых растворов в скважинных условиях значительно отличаются от показателей, измеренных при температуре окружающей среды. Поэтому при проектировании технологии приготовления буровых растворов с заданными показателями свойств и управления ими в процессе бурения скважин должны учитываться изменения реологических и фильтрационных показателей буровых растворов, происходящие в скважине под воздействием температуры и давления.

Изучению влияния температуры и давления на реологические и фильтрационные показатели посвящено достаточно много теоретических и экспериментальных исследований, однако до настоящего времени этот процесс полностью не изучен, в результате чего отсутствуют закономерности, позволяющие прогнозировать изменение этих показателей в условиях скважины.

Подбор составов буровых растворов с учётом забойных температур и давлений осуществляется, в основном, лабораторным путём с использованием дорогостоящих и сложных приборов и установок, на что затрачиваются значительные средства. Отсутствие в промысловых лабораториях приборов для определения реологических и фильтрационных показателей в скважинных условиях приводит к тому, что разработка составов буровых растворов и управление их свойствами осуществляется без учёта температурных изменений в скважине, что зачастую приводит к авариям и осложнениям ствола скважины, снижению качества вскрытия продуктивных пластов.

Совершенствование технологии промывки должно идти по пути создания математических зависимостей (моделей), позволяющих прогнозировать изменение реологических и фильтрационных показателей в условиях скважины.

Ниже приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке количественной зависимости для прогнозирования пластической вязкости буровых растворов на водной основе при температуре в условиях скважины по результатам определения этого параметра при температуре окружающей среды.

Количественную зависимость для прогнозирования пластической вязкости при температуре в условиях скважины можно получить из анализа известной математической модели пластической вязкости буровых растворов на водной основе (1). Из математической модели пластической вязкости следует, что если известна пластическая

вязкость $\eta_{ос}$ при температуре окружающей среды $T_{ос}$, то пластическую вязкость в скважинных условиях при температуре $T_{скв}$ можно определить по формуле:

$$\eta_{скв} = \frac{\eta_{ос}}{\exp B \cdot \left(\frac{1}{T_{ос}} - \frac{1}{T_{скв}} \right)}, \quad (1)$$

где $\eta_{скв}$ – пластическая вязкость бурового раствора в скважинных условиях при температуре $T_{скв}$, мПа · с; $\eta_{ос}$ – пластическая вязкость бурового раствора при температуре окружающей среды $T_{ос}$, мПа · с; $T_{ос}$ и $T_{скв}$ – абсолютная температура окружающей среды и в условиях скважины, °К; В – величина, являющаяся константой для исследуемого раствора, определяется по формуле:

$$B = K \cdot \rho_{бр} \cdot \left(C_к + \sum C_p \cdot K_p \cdot M \right), \quad (2)$$

где K – обобщённая константа, включающая константы энергии активации вязкого течения бурового раствора и газовой постоянной; $\rho_{бр}$ – плотность бурового раствора, г/см^3; $C_к$ – объёмное содержание коллоидной глинистой составляющей, %; $\sum C_p \cdot K_p$ – содержание органического коллоида; M – молекулярная масса реагента-стабилизатора, применяемого для обработки бурового раствора.

Из формул (1) и (2) следует, что с повышением температуры пластическая вязкость бурового раствора всегда снижается, но интенсивность её снижения для каждого раствора различна и определяется величиной показателя В.

Имея информацию о температуре в скважине $T_{скв}$, а также составе бурового раствора ($\rho_{бр}$, $C_к$, $\sum C_p \cdot K_p$, M), можно прогнозировать вязкость раствора в скважинных условиях по вязкости, измеренной при температуре окружающей среды.

На рисунке 1 приведены данные изменения пластической вязкости бурового раствора от температуры, рассчитанные по формуле (1) (график 1), в сопоставлении с известными экспериментальными данными, полученными зарубежными исследователями (график 2).

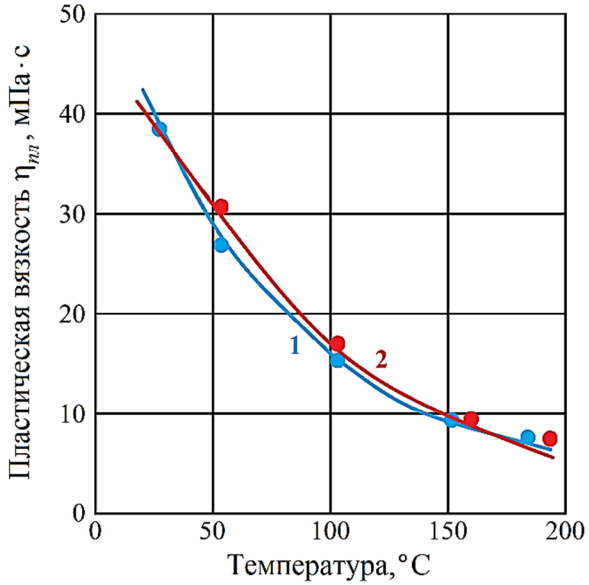


Рисунок 1 – Влияние температуры на пластическую вязкость суспензии натриевого монтмориллонита:
1 – график, рассчитанный по формуле (1);
2 – экспериментальный график

Из приведённых данных видно, что результаты расчёта по разработанной формуле адекватны экспериментальным данным, что подтверждает правомерность пред-

ложенного расчётного метода для прогнозирования вязкости раствора в скважинных условиях по вязкости, измеренной при температуре окружающей среды.

Предложенный расчётный метод прогнозирования вязкости раствора в скважинных условиях имеет исключительное значение для проектирования и применения оптимальных составов и свойств буровых растворов при бурении высокотемпературных, сильно искривлённых и горизонтальных скважин, а также растворов для качественного вскрытия продуктивных пластов.

Литература

1. Прогнозирование удельной вязкости буровых растворов на основе стиромаля с помощью математической модели / Д.Х. Акчурина [и др.] // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014. – № 4. – С. 368–380. DOI: 10.17122/ogbus-2014-4-368-380
2. Батыров М.И. Построение регрессионной модели для определения факторов, влияющих на свойства и технологические параметры бурового раствора / М.И. Батыров, С.И. Руденко, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 297–315.
3. Поварова Л.В. Перспективы использования буровых растворов на основе биополимерных систем / Л.В. Поварова, В.С. Мунтян, А.С. Скиба // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 3. – С. 289–292.
4. Поварова Л.В. Обоснование выбора бурового раствора для вскрытия продуктивных пластов / Л.В. Поварова, М.И. Батыров // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 3. – С. 215–236.
5. Савенок О.В. О возможности использования реагентов-понизителей вязкости буровых растворов и пластификаторов тампонажных растворов для приготовления вязкоупругих составов // Проблемы геологии и освоения недр: труды Четвёртого Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых учёных им. М.А. Усова, посвящённого 100-летию со дня открытия ТПУ и 300-летию горно-геологической службы России (03–07 апреля 2000 года, г. Томск). – Томск : Томский политехнический университет, 2000. – С. 416.
6. Тихонов Е.В. Анализ проблем бурения скважин и вскрытия нефтегазовых пластов в осложнённых условиях // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 206–222.
7. Тихонов Е.В. Основные направления снижения стоимости буровых работ и капитального ремонта скважин / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова; Под ред. Р.В. Агиней // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ – 2025: материалы XXVI Международной молодёжной научной конференции (27–28 марта 2025 года, г. Ухта) : в 2 ч. – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2025. – Ч. 2. – С. 151–156.
8. Тихонов Е.В. Критерии оценки качества и требования к свойствам буровых растворов, обеспечивающих надёжную подготовку ствола скважины к креплению // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 2. – С. 125–130.
9. Тихонов Е.В. Очистка буровых растворов и управление их свойствами при заканчивании скважин // Булатовские чтения. – 2025. – Т. 2. – С. 131–136.
10. Тихонов Е.В. Анализ изменения плотности нагнетаемой в скважину аэрированной жидкости / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова // Инженер-нефтяник. – 2025. – № 2. – С. 50–52.

References

1. Prediction of specific viscosity of drilling fluids based stiromal using a mathematical model / D.Kh. Akchurina [et al.] // Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». – 2014. – № 4. – P. 368–380. DOI: 10.17122/ogbus-2014-4-368-380
2. Batyrov M.I. The building a regression model to determine factors affecting the properties and technological parameters of the drilling fluid / M.I. Batyrov, S.I. Rudenko, O.V. Savenok // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1. – P. 297–315.
3. Povarova L.V. Prospects for the use of drilling fluids based on biopolymer systems / L.V. Povarova, V.S. Muntian, A.S. Skiba // Readings of A.I. Bulatov. – 2020. – Vol. 3. – P. 289–292.
4. Povarova L.V. Justification of the choice of drilling fluid for opening of productive formations / L.V. Povarova, M.I. Batyrov // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2020. – № 3. – P. 215–236.
5. Savenok O.V. About possibility of the use reagent-lower to viscosity bore solution and plasticizers cement solution for preparation viscoelastic composition // Problems of geology and subsoil development: Proceedings of the Fourth International scientific symposium of students, postgradu-

ates and young scientists named after M.A. Usov, dedicated to the 100th Anniversary of the Opening of Tomsk Polytechnic University and the 300th Anniversary of the Mining and Geological Service of Russia (April 3–7, 2000, Tomsk). – Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2000. – P. 416.
6. Tikhonov E.V. Analysis of the problems of drilling wells and tapping oil and gas formations in difficult conditions // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2023. – № 4. – P. 206–222.
7. Tikhonov E.V. Main directions of reducing the cost of drilling operations and well workovers / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova; Edited by R.V. Aginey // SEVERGEOECOTECH – 2025: Proceedings of the XXVI International youth scientific conference (March 27–28, 2025, Ukhta) : in 2 parts. – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2025. – Part 2. – P. 151–156.
8. Tikhonov E.V. Quality assessment criteria and requirements to the properties of drilling fluid that ensure reliable preparation of the well bore for fixing // Readings of A.I. Bulatov. – 2025. – Vol. 2. – P. 125–130.
9. Tikhonov E.V. Cleaning and managing drilling fluid properties during well completion // Readings of A.I. Bulatov. – 2025. – Vol. 2. – P. 131–136.
10. Tikhonov E.V. Analysis of the change in the density of aerated liquid injected into a well / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova // Petroleum engineer. – 2025. – № 2. – P. 50–52.

УДК 622.244.443

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВСКРЫТИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИОННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

♦♦♦♦♦

ON THE QUESTION OF IMPROVING THE QUALITY OF PRODUCTIVE FORMATION DISCOVERY BY USING DRILLING MUDS BASED ON POLYANIONIC CELLULOSE

Тихонов Евгений Владимирович
технический директор отдела буровых растворов
ООО «БУРСЕРВИС»
evgeny.tikhonovv@yandex.ru

Аннотация. Буровые растворы, применяемые при бурении и заканчивании скважин, ухудшают проницаемость пласта в призабойной зоне в основном за счёт двух факторов: отрицательного влияния фильтрата на проницаемость пласта; кольматации поровых каналов твёрдыми частицами. Поэтому основной тенденцией в промывке скважин при вскрытии продуктивных пластов является использование не содержащих глинистой фазы полимерных буровых растворов на основе полимеров, не оказывающих негативного влияния на продуктивный пласт. В статье приведены сравнительные данные по исследованию ПАЦ и КМЦ. Показано влияние ингибирующей добавки (KCl) на коэффициент восстановления проницаемости кернов пород-коллекторов месторождений Западной Сибири, а также влияние проницаемости пласта на коэффициент восстановления проницаемости для различных типов буровых растворов.

Ключевые слова: отрицательное влияние фильтрата на проницаемость пласта; кольматация поровых каналов твёрдыми частицами; полимерная основа для буровых растворов; система бурового раствора FLO-PRO; буровой раствор на основе полианионной целлюлозы; сравнительные данные по исследованию ПАЦ и КМЦ; коэффициент восстановления проницаемости кернов.

Tikhonov Evgeny Vladimirovich
Technical Director
of the Drilling Fluids Department
of «BURSERVICE» LLC
evgeny.tikhonovv@yandex.ru

Annotation. Drilling fluids used in drilling and completing wells worsen the permeability of the formation in the bottomhole zone mainly due to two factors: the negative effect of filtrate on the permeability of the formation; clogging of pore channels with solid particles. Therefore, the main trend in well flushing when opening productive formations is the use of clay-free polymer drilling fluids based on polymers that do not have a negative effect on the productive formation. The article presents comparative data on the study of polyanionic cellulose and carboxymethylcellulose. The effect of the inhibitory additive (KCl) on the permeability recovery factor of reservoir rock cores in Western Siberia is shown, as well as the effect of formation permeability on the permeability recovery factor for different types of drilling fluids.

Keywords: negative impact of filtrate on formation permeability; colmatation of pore channels with solid particles; polymer base for drilling fluids; FLO-PRO drilling fluid system; drilling fluid based on polyanionic cellulose; comparative data on the study of polyanionic cellulose and carboxymethylcellulose; core permeability recovery coefficient.

За последние годы существенно возросла актуальность проблемы сохранения потенциальной продуктивности скважин, в том числе и в связи с вовлечением в разработку месторождений со сложнопостроенными залежами и низкопроницаемыми продуктивными пластами, к качеству вскрытия которых предъявляются более высокие требования.

В этом случае выбор надлежащих буровых растворов может быть определяющим фактором в достижении эффективного заканчивания скважины. Растворы для первичного вскрытия должны обеспечивать оптимальную защиту (сохранение) продуктивности пласта и обеспечивать свойства, подходящие для эффективного, скоростного бурения.

Исследования, проведённые на кернах, позволили установить, что загрязнение коллектора является результатом образования в нём зоны повышенной водонасыщенности, проникновения в поровое пространство пласта глинистых частиц из бурового раствора, кольматации ими поровых каналов и гидратации глин, содержащихся в коллекторе.

Буровые растворы, применяемые при бурении и заканчивании скважин, ухудшают проницаемость пласта в призабойной зоне в основном за счёт двух факторов:

1) отрицательного влияния фильтрата на проницаемость пласта;

2) кольматации поровых каналов твёрдыми частицами. Поэтому основной тенденцией в промывке скважин при вскрытии продуктивных пластов является использование не содержащих глинистой фазы полимерных буровых растворов на основе полимеров, не оказывающих негативного влияния на продуктивный пласт.

Считается, что лучшей полимерной основой для буровых растворов являются реагенты полисахаридной природы – производные целлюлозы и крахмала, которые в силу своих структурных особенностей в сочетании с биополимерами или другими материалами подобного типа способны создавать водные полимерные растворы, не содержащие глинистой твёрдой фазы, с широким диапазоном эксплуатационных свойств.

В качестве примера такой системы можно рассмотреть систему бурового раствора FLO-PRO, не содержащую глинистой фазы. Система FLO-PRO максимально защищает призабойную зону пласта. Опыт применения её показывает, что она позволяет увеличить производительность скважин в 2–3 раза по сравнению с обычными глинистыми растворами.

В последнее время из числа водорастворимых эфиров целлюлозы всё большее и большее применение в бурении находит новое производное целлюлозы – полианионная целлюлоза (ПАЦ).

По своему строению ПАЦ можно отнести к типу высокозамещённой КМЦ (по карбоксиметильным группам). ПАЦ, в отличие от КМЦ, имеет в своём составе большее количество карбоксильных групп (более 100 в ПАЦ при 75–85 в КМЦ). В этой связи ПАЦ по сравнению с КМЦ приобретает новые возможности по эффективности снижения водоотдачи, загущения растворов, устойчивости к солям и инкапсулирующему действию, по отношению к глинистым породам (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительные данные по исследованию ПАЦ и КМЦ

Состав раствора, %						Показатели свойств						
бентонит	ПАЦ HV	ПАЦ LV	КМЦ 85/600	КМЦ 85/400	$CaCl_2$	ρ, г/см^3	УВ, с	$СНС_{1/10}$, дПа	$\eta_{пл}$, мПа · с	τ_0, дПа	pH	Ф, см^3
4	–	–	–	–	–	1,03	33	51/60	6,5	53	9,7	12,5
4	0,5	–	–	–	–	1,03	н/з	210/330	43	402	9,4	3,6
4	0,5	–	–	–	0,1	1,03	н/з	294/360	49	366	9,1	4,4
4	0,5	–	–	–	0,2	1,03	н/з	211/369	37	229	8,5	4,5
4	–	1,0	–	–	–	1,03	96	9/30	36	120	9,4	5,8
4	–	1,0	–	–	0,1	1,03	87	6/27	30	114	8,8	6,8
4	–	1,0	–	–	0,2	1,03	78	9/24	30	84	8,4	7,0
4	–	–	2,0	–	–	1,03	360	66/105	52	258	9,5	4,6
4	–	–	2,0	–	0,1	1,03	213	24/66	50	213	9,1	5,0
4	–	–	2,0	–	0,2	1,03	195	24/64	54	180	8,6	5,5
4	–	–	–	3,0	–	1,03	90	9/27	33	117	9,2	5,5
4	–	–	–	3,0	0,1	1,03	84	9/29	32	90	9,0	5,4
4	–	–	–	3,0	0,2	1,03	66	9/21	30	78	8,6	5,5

Реагент ПАЦ, имеющий много полезных функций, прежде всего, используется в сочетании с другими полисахаридными реагентами (биополимерами, модифицированным крахмалом), как гель – основа безглинистых буровых растворов. Такие растворы позволяют обеспечивать низкую скорость фильтрации в пласт, что значительно снижает радиус обводнения, предупреждение набухания и диспергирования глинистого материала пласта; исключение выпадения нерастворимых продуктов взаимодействия буровых флюидов и пластовых вод, а также быстрое и полное восстановление исходной проницаемости при вызове притока из скважины. Поэтому весьма актуальной является оценка влияния буровых растворов на основе полианионной целлюлозы (ПАЦ) на восстановление проницаемости пород-коллекторов и продуктивность скважины по результатам экспериментальных и промысловых испытаний.

Перед выбором состава раствора проанализированы результаты исследования минералогического состава кернового материала породы-коллектора (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты исследования по определению минералогического состава породы-коллектора Харампурского нефтегазоконденсатного месторождения (Западная Сибирь)

Состав и характеристика кернов	Образцы кернов		
	I	II	III
Кварц, %	38	39	38
Полевые шпаты, %	23	20	24
Скальная часть %	12	18	21
Пирит, %	1	–	2
Глина, %	11	6	4
Пористость, %	15	17	11
Размер зёрен, мм	0,3	0,3	0,2
Размер пор, мкм	60	60	50

Представленные образцы кернов имели следующие особенности:

1) полевые шпаты, в основном, представлены иллитом и каолинитом;

2) скелет породы представляет собой хлоритовые глины и мелкодисперсные частицы кварца;

3) в поровом пространстве в плёночной форме присутствуют каолинитовые отложения.

Это позволило обоснованно выбрать ингибирующий тип бурового раствора и концентрацию ингибирующей добавки. Наличие глинистых отложений в скелете и поровом пространстве образцов керна является веской причиной для применения буровых растворов, ингибированных ионами калия.

Затем проведены эксперименты по определению коэффициента восстановления проницаемости коллекторов с различных месторождений Западной Сибири после воздействия на них бурового раствора на основе полианионной целлюлозы (Polypac R или UL) и системы раствора FLO-PRO. Результаты этих исследований (табл. 3) полностью подтвердили настоятельную необходимость использования растворов, ингибированных ионами калия. В случае их применения коэффициент восстановления проницаемости увеличивается для безглинистых систем (FLO-PRO) на 22–28 %, а для глинистых растворов на основе Polypac R – на 4–5 %.

Таблица 3 – Влияние ингибирующей добавки (KCl) на коэффициент восстановления проницаемости кернов пород-коллекторов месторождений Западной Сибири

Месторождение	Тип раствора	Добавка KCl, %	Проницаемость, мкм$^2 \cdot 10^{-3}$		β, %
			$K_{нач}$	$K_{восст}$	
Ново-Покурское	FLO-PRO*	3	1,01	0,96	95,0
	FLO-PRO*	–	1,13	0,75	66,4
	PolyPac**	3	0,75	0,69	92,0
	PolyPac**	–	0,88	0,77	87,5
Фёдоровское	промысловый полимерглинистый раствор	–	386,80	260,50	67,3
	FLO-PRO	3	469,50	381,50	81,2
	FLO-PRO	5	107,00	95,00	89,6

* Состав раствора FLO-PRO:
Flo-Vis – 5,5 кг/м^3
Flo-Trol – 7,0 кг/м^3
KCl – 30,0 кг/м^3
KOH – 1,0 кг/м^3
$CaCO_3$ – 70,0 кг/м^3

** Состав раствора PolyPac:
PolyPac R – 5,0 кг/м^3
M-I Gel – 50,0 кг/м^3
KCl – 30,0 кг/м^3
KOH – 1,0 кг/м^3
$CaCO_3$ – 70,0 кг/м^3

Кроме того, эти результаты показывают, что раствор на основе полианионной целлюлозы обеспечивает достижение коэффициента восстановления проницаемости, близкого к получаемому при использовании системы FLO-PRO.

Обобщение результатов исследований по оценке влияния безглинистых растворов (система FLO-PRO) и полимерглинистых растворов на основе полианионной целлюлозы – ПАЦ (Polypac R), ингибированных ионами калия (3 % в расчёте на KCl), на восстановление проницаемости пород-коллекторов с различных месторождений Западной Сибири (Харампурское нефтегазоконденсатное месторождение, Фестивальное газонефтяное месторождение, Ново-Покурское нефтяное месторождение, Фёдоровское нефтегазоконденсатное месторождение) показало (рис. 1), что в низкопроницаемых коллекторах (проницаемость менее 40 · 10^{-3} мкм^2) безглинистая система FLO-PRO даёт более предпочтительные результаты, чем система на основе ПАЦ.

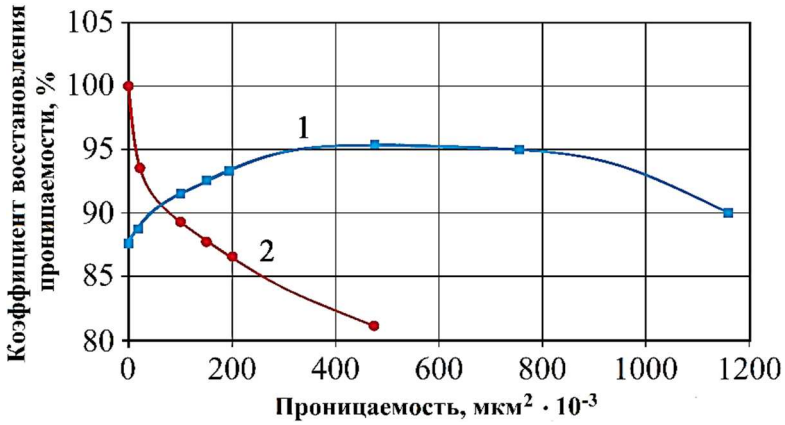


Рисунок 1 – Влияние проницаемости пласта на коэффициент восстановления проницаемости для различных типов буровых растворов:
1 – глинистый раствор, стабилизированный PAC* (5 кг/м^3);
2 – безглинистый биополимерный раствор.

* реагент PAC предназначен для контроля фильтрации бурового раствора на водной основе с широким диапазоном минерализации от пресной до соленасыщенной без существенного увеличения вязкости и сдвигового напряжения.

Однако, начиная с проницаемости 50 · 10^{-3} мкм^2 и выше, более предпочтительные результаты даёт глинистый раствор на основе ПАЦ (Polypac R). Это обусловлено тем, что с увеличением проницаемости увеличивается глубина проникновения высоковязкого тиксотропного раствора в пласт и возрастает усилие, необходимое для его вытеснения из пласта. Фильтрация же глинистого раствора постоянная при любых проницаемостях и определяется только проницаемостью корки.

Результаты этих исследований свидетельствует о том, что применение растворов на основе полисахаридов, в частности, полианионной целлюлозы (ПАЦ) с низкой фильтрацией и высоким, там, где это необходимо, ингибирующим действием, обеспечивает достижение продуктивности скважин, близкой к потенциальной.

Промышленная апробация ПАЦ (Polypac R) проведена на Северо-Харампурском газонефтяном месторождении при бурении скважины № 196 (куст № 69-а). Раствор не ингибировался ионами калия. В результате получен дебит скважины 62,7 тонн/сут. при среднем дебите скважин на этом участке 40-45 тонн/сут.

Таким образом, использование ПАЦ позволяет повысить качество вскрытия продуктивного горизонта.

Литература

1. Батыров М.И. Построение регрессионной модели для определения факторов, влияющих на свойства и технологические параметры бурового раствора / М.И. Батыров, С.И. Руденко, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 1. – С. 297–315.

2. Глазко В.И. Использование раствора FLO-PRO NT для первичного вскрытия продуктивного пласта наклонно-направленной с горизонтальным окончанием нефтяной добывающей скважины // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: материалы VIII Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и учёных (27 апреля 2018 года, г. Нижневартовск) : в 2 томах. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2018. – Т. 2. – С. 39–41.
3. Григулецкий В.Г. Динамические и тепловые поля при турбулентном течении бурового раствора в кольцевом пространстве труб / В.Г. Григулецкий, Ю.П. Савельев // Нефть, газ и бизнес. – 2016. – № 10. – С. 3–21.
4. Полианионная целлюлоза как лучший стабилизатор буровых растворов на водной основе / С.В. Карлович [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2014. – № 3(182). – С. 60–64.
5. Кряжев В.Н. КМЦ и ПАЦ – экологически безопасные реагенты для буровых растворов / В.Н. Кряжев, О.В. Гальцева, С.И. Смирнов // Нефть. Газ. Новации. – 2017. – № 6. – С. 28–33.
6. Липатов Е.Ю. Исследования влияния буровых промывочных жидкостей на продуктивные пласты юрских отложений / Е.Ю. Липатов, Н.Р. Кривова, Х.Н. Курбанов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2021. – № 1(337). – С. 42–48. DOI: 10.33285/0130-3872-2021-1(337)-42-48
7. Новая цифровая модель фильтрации бурового раствора при первичном вскрытии низкопроницаемых отложений / В.В. Минибаев [и др.] // Бурение и нефть. – 2023. – № S2. – С. 6–15.
8. Петров Н.А. Исследования безглинистой промывочной системы FLO-PRO для бурения горизонтального ствола скважин / Н.А. Петров, И.Н. Давыдова // Нефтегазовое дело. – 2011. – Т. 9. – № 3. – С. 21–28.
9. Поварова Л.В. Обоснование выбора бурового раствора для вскрытия продуктивных пластов / Л.В. Поварова, М.И. Батыров // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 3. – С. 215–236.
10. Тихонов Е.В. Анализ проблем бурения скважин и вскрытия нефтегазовых пластов в осложнённых условиях // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 4. – С. 206–222.
11. Тихонов Е.В. Подбор рецептур бурового раствора для устранения и предотвращения осложнений при бурении скважин в условиях вечной мерзлоты // Булатовские чтения. – 2024. – Т. 1. – С. 314–320.
12. Тихонов Е.В. Основные направления снижения стоимости буровых работ и капитального ремонта скважин / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова; Под ред. Р.В. Агиней // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ – 2025: материалы XXVI Международной молодёжной научной конференции (27–28 марта 2025 года, г. Ухта) : в 2 ч. – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2025. – Ч. 2. – С. 151–156.
13. Тихонов Е.В. Анализ изменения плотности нагнетаемой в скважину аэрированной жидкости / Е.В. Тихонов, Л.Г. Кусова // Инженер-нефтяник. – 2025. – № 2. – С. 50–52.
14. Цуканова А.Н. Сравнительный анализ эффективности применения анионных полиэлектролитов в компонентном составе буровых растворов для регулирования реологических и фильтрационных характеристик на примере ПАЦ и КМЦ / А.Н. Цуканова, В.Ю. Близнюков // REFERATOTECH: материалы III Международной научно-практической конференции (15 ноября 2022 года, г. Краснодар). – Краснодар: Издательство «Новация», 2022. – С. 559–563.
15. Куксов В.А. Исследование и разработка полимерных безглинистых растворов для бурения и заканчивания наклонно-направленных и горизонтальных скважин : дис. … на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Краснодар : ОАО НПО «Бурение», 2001. – 135 с.

References

1. Batyrov M.I. The building a regression model to determine factors affecting the properties and technological parameters of the drilling fluid / M.I. Batyrov, S.I. Rudenko, O.V. Savenok // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2019. – № 1. – P. 297–315.
2. Glazko V.I. Use of FLO-PRO NT solution for primary opening of productive formation of inclined oil production well with horizontal end // Experience, current problems and prospects of development of oil and gas complex: materials of VIII International scientific and practical conference of students, postgraduates and scientists (April 27, 2018, Nizhnevartovsk) : in 2 vol. – Tyumen : Tyumen Industrial University, 2018. – Vol. 2. – P. 39–41.
3. Griguletsky V.G. Dynamic and thermal fields in turbulent flow of drilling mud in the annular space of pipes / V.G. Griguletsky, Yu.P. Savelyev // Oil, Gas and Business. – 2016. – № 10. – P. 3–21.
4. Poly-anionic cellulose as the best water based drill mud stabilizer / S.V. Karlovich [et al.] // Oil. Gas. Innovations. – 2014. – № 3(182). – P. 60–64.

5. Kryazhev V.N. Carboxymethylcellulose and polyanionic cellulose – environmentally friendly reagents for drilling fluids / V.N. Kryazhev, O.V. Galtseva, S.I. Smirnov // Oil. Gas. Innovations. – 2017. – № 6. – P. 28–33.
6. Lipatov E.Yu. Research of the influence of drilling washing fluids on productive formations of the Jurassic deposits / E.Yu. Lipatov, N.R. Krivova, Kh.N. Kurbanov // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2021. – № 1(337). – P. 42–48. DOI: 10.33285/0130-3872-2021-1(337)-42-48
7. New digital model of rig filtration solution at primary opening low permeable sediments / V.V. Minibayev [et al] // Drilling and oil. – 2023. – № S2. – P. 6–15.
8. Petrov N.A. Studies bore solution of the system FLO-PRO for boring the horizontal stem of the bore holes / N.A. Petrov, I.N. Davydova // Oil and Gas Business. – 2011. – Vol. 9. – № 3. – P. 21–28.
9. Povarova L.V. Justification of the choice of drilling fluid for opening of productive formations / L.V. Povarova, M.I. Batyrov // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2020. – № 3. – P. 215–236.
10. Tikhonov E.V. Analysis of the problems of drilling wells and tapping oil and gas formations in difficult conditions // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2023. – № 4. – P. 206-222.
11. Tikhonov E.V. Selection of drilling fluid formulations to eliminate and prevent complications when drilling wells in permafrost conditions // Readings of A.I. Bulatov. – 2024. – Vol. 1. – P. 314–320.
12. Tikhonov E.V. Main directions of reducing the cost of drilling operations and well workovers / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova; Edited by R.V. Aginey // SEVERGEOECOTECH – 2025: Proceedings of the XXVI International youth scientific conference (March 27–28, 2025, Ukhta) : in 2 parts. – Ukhta : Ukhta State Technical University, 2025. – Part 2. – P. 151–156.
13. Tikhonov E.V. Analysis of the change in the density of aerated liquid injected into a well / E.V. Tikhonov, L.G. Kusova // Petroleum engineer. – 2025. – № 2. – P. 50–52.
14. Tsukanova A.N. Comparative analysis of the efficiency of application of anionic polyelectrolytes in the component composition of drilling fluids to control rheological and filtration characteristics, on the example of polyanionic cellulose and carboxymethylcellulose / A.N. Tsukanova, V.Yu. Bliznyukov // REFERATOTECH: Proceedings of the III International scientific and practical conference (November 15, 2022, Krasnodar). – Krasnodar : «Novation» Publishing House, 2022. – P. 559–563.
15. Kuksov V.A. Research and development of polymer clay-free solutions for drilling and completing directional and horizontal wells: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. – Krasnodar : OJSC scientific and production association «Burenie», 2001. – 135 p.

Порядок публикации статьи

- Статья, предоставляемая для публикации в журнале, должна быть ранее неопубликованной, актуальной, обладать новизной, **тщательно вычитана**.
- Статья должна соответствовать **Правилам оформления**.
- Содержание статьи должно соответствовать тематикам рубрик журнала.
- В стоимость публикации входит один печатный экземпляр журнала, публикация в сетевой версии журнала (на сайте http://id-yug.com), почтовая доставка, сопровождение в системе РИНЦ.

Редакционный совет в течение 3–5 дней рассматривает предоставленную статью. В случае положительного решения о публикации редакция направляет Вам договор (оферта), счет (квитанцию) на оплату.

В случае необходимости редакция может затребовать предоставление заключения внутрифирменных служб экспортного контроля по материалам статьи.

Предоставляемая статья должна содержать следующие компоненты:

– Код УДК;
– Сведения об авторах (*рус./англ.*):
  а) фамилия, имя, отчество (полностью);
  б) ученая степень;
  в) ученое звание;
  г) должность, место работы (без сокращений);
  д) контактный телефон;
  е) контактный E-mail автора.
– Название статьи (*рус./англ.*);
– Аннотация (*рус./англ.*);
– Ключевые слова (*рус./англ.*);
– Основной текст статьи на русском языке (*рекомендуется не менее 3-х страниц*);
– Список литературы (*рус./англ.*).

Текст статьи должен быть набран в текстовом редакторе Word 1997–2007, шрифт Times New Roman, кегль – 14, межстрочный интервал – 1, абзацный отступ 1,25 см., все поля – 2,5 см, страницы не нумеровать, для выделений использовать *курсив*, **жирный шрифт, *а также их сочетание*.**

Таблицы набираются в текстовом редакторе Word 1997–2007, шрифт Times New Roman, кегль – 12. Таблицы нумеруются и подписываются. В тексте статьи указываются ссылки на таблицы.

Иллюстрации (рисунки, графики, диаграммы, фотографии) должны быть встроены в текст в виде картинок, в оттенках серого, разрешением 300 dpi. Иллюстрации нумеруются (нумерация сквозная арабскими цифрами) и подписываются. В тексте статьи указываются ссылки на иллюстрации.

Формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Все формулы должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами. Номера формул оформляются в круглых скобках.

Сноски оформляются постранично.

Ссылки на литературу оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 и ГОСТ 7.82-2001. Ссылки оформляются в порядке упоминания или цитирования в тексте в квадратных скобках арабскими цифрами.

Более подробную информацию можно получить на сайте www.id-yug.com

График выхода журнала и приема статей на 2025 г.

№ журнала	Прием статей до:	Выход журнала:
1	31 марта	14 апреля
2	30 июня	14 июля
3	29 сентября	13 октября
4	22 декабря	29 декабря

Общероссийская общественная организация
«Российская инженерная академия»

All-russian public organization
«Russian Engineering Academy»

НАУЧНЫЙ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ЖУРНАЛ

НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ

(политехнический вестник)

2025, № 3

SCIENTIFIC MULTIDISCIPLINARY MAGAZINE

SCIENCE. ENGINEERING. TECHNOLOGY

(polytechnical bulletin)

2025, № 3

https://id-yug.com/

Редактор – О.Я. Фоменко

Оригинал-макет – М.Н. Гусева

Дизайн обложки – О.Я. Фоменко

Сдано в набор 30.09.2025.
Подписано в печать 10.10.2025.
Дата выхода в свет 13.10.2025.
Формат 60 x $84^{1}/_{8}$.
Бумага офсетная.
Печать riso.
Уч.-изд. л. 9,00
Тираж 500 экз.

Цена договорная

Отпечатано в ООО «Издательский Дом – Юг»
Россия, 350072, г. Краснодар,
ул. Зиповская 9, литер «Г», оф. 41/3

Заказ № 2622

Тел.: +7(918) 41-50-571
e-mail: id-yug@ id-yug.com
Сайт: https://id-yug.com

Editor – O.Ya. Fomenko

Dummy – M.N. Guseva

Design of a cover – O.Ya. Fomenko

It is handed over in a set 30.09.2024.
It is sent for the press 10.10.2025.
Release date 13.10.2025.
Format 60 x $84^{1}/_{8}$.
Offset paper.
Riso press.
Ed.-prod. l. 9,00
Circulation is 500 pieces.

Price negotiable

It is printed in JSC «Izdatelsky Dom – Yug»
Russia, 350072, Krasnodar,
Zipovskaya St., 9, letters «G», office 41/3

Order № 2622

Ph.: +7(918) 41-50-571
e-mail: id-yug@ id-yug.com
Site: https://id-yug.com